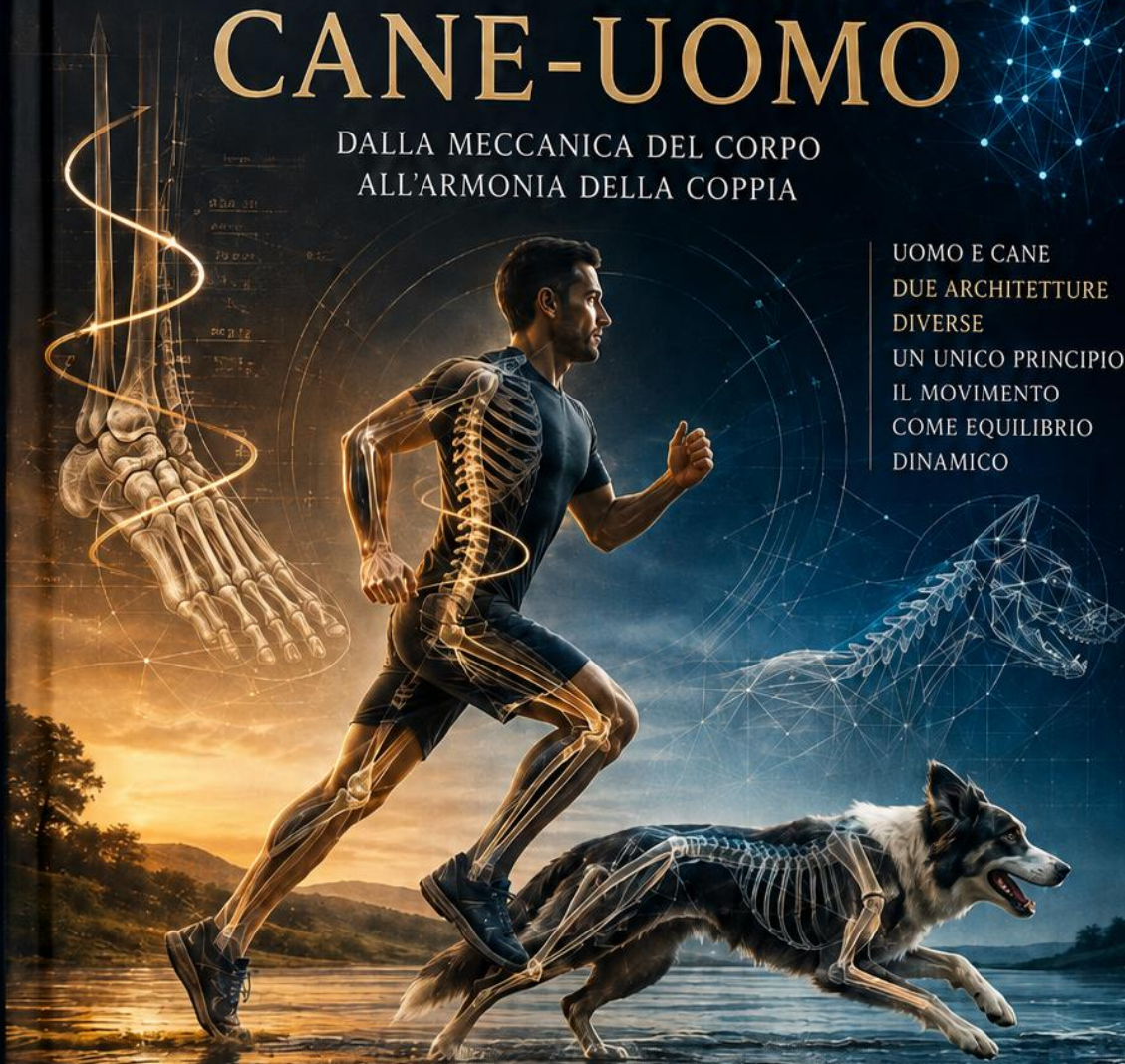


BIOMECCANICA DEL MOVIMENTO E DELLA RELAZIONE CANE-UOMO

BIOMECCANICA DEL MOVIMENTO E DELLA RELAZIONE CANE-UOMO

DALLA MECCANICA DEL CORPO
ALL'ARMONIA DELLA COPPIA

UOMO E CANE
DUE ARCHITETTURE
DIVERSE
UN UNICO PRINCIPIO:
IL MOVIMENTO
COME EQUILIBRIO
DINAMICO



— Giovanni Chetta —



ELICA
E TENSEGRITÀ



CONTROLLO
EQUILIBRIO
E PROPRIOCEZIONE



FASCIA
E SISTEMA
MIOFASIALE



ADATTAMENTO
E CARICO
MECCANICO



RELAZIONE
E ACCOPIAMENTO
PERCETTIVO-MOTORIO

UN PERCORSO SCIENTIFICO E PRATICO
PER COMPRENDERE, ALLENARE E VIVERE IL MOVIMENTO





Le Guide Love Your Life

BIOMECCANICA COMPARATA CANE- UOMO

Dal sistema miofasciale allo Spine Engine, dalla locomozione al controllo posturale

Giovanni Chetta

Settembre 2026

Sommario

Introduzione	3
Guida alla lettura	4
PARTE I — COMPRENDERE IL MOVIMENTO.....	5
Capitolo 1 — Biomeccanica e cinematica.....	5
Capitolo 2 — L'animale motorio.....	11
Capitolo 3 — Due soluzioni evolutive alla gravità	17
PARTE II — IL CORPO COME RETE	24
Capitolo 4 — Matrice extracellulare e tessuto connettivo	24
Capitolo 5 — La fascia	31
Capitolo 6 — Fascia, sistema nervoso e proprioccezione	39
Capitolo 7 — Miofibroblasti e pretensione fasciale	48
Capitolo 8 — La tensegrità biologica	56
PARTE III — IL MOTORE DELLA LOCOMOZIONE	67
Capitolo 9 — Lo Spine Engine.....	67
Capitolo 10 — La fascia toracolombare	75
Capitolo 11 — Il movimento tridimensionale diventa 4D	85
PARTE IV — CANE E UOMO A CONFRONTO	94
Capitolo 12 — Il circuito oscillatorio 4D dell'uomo.....	94
Capitolo 13 — Il circuito oscillatorio 4D del cane.....	105
Capitolo 14 — Bacino e scapola: due cingoli, due strategie biomeccaniche	118
Capitolo 15 — Arti posteriori e anteriori del cane	128
Capitolo 16 — Piede umano e zampa canina.....	139
Capitolo 17 — L'elica come principio biomeccanico.....	150



PARTE V — POSTURA, EQUILIBRIO E ANDATURE.....	162
Capitolo 18 — Il sistema dell’equilibrio.....	162
Capitolo 19 — La postura come movimento.....	173
Capitolo 20 — Le andature del cane	184
Capitolo 21 — Cerniere, snodi e rotazioni.....	194
Capitolo 22 — Collo, testa e controllo dello sguardo.....	206
PARTE VI — FORZE, TESSUTI E ADATTAMENTO	215
Capitolo 23 — Gravità e reazione del terreno.....	215
Capitolo 24 — L’osso si adatta al movimento	222
Capitolo 25 — Meccanotrasduzione e piezoelettricità	225
Capitolo 26 — Psoas, diaframma e sistema viscerale	227
PARTE VII — QUANDO IL SISTEMA PERDE EFFICIENZA	231
Capitolo 27 — Degenerazione miofasciale.....	231
Capitolo 28 — Immobilità, ipocarico e sovraccarico	233
Capitolo 29 — Dolore e movimento.....	235
PARTE VIII — RECUPERARE LA FUNZIONE.....	237
Capitolo 30 — Allenare il movimento e non soltanto i muscoli.....	237
Capitolo 31 — Stretching e mobilità	239
Capitolo 32 — Il lavoro in acqua.....	241
Capitolo 33 — Dalla biomeccanica all’abilità	243
PARTE IX — IL SISTEMA CANE-UOMO	244
Capitolo 34 — Due corpi che si muovono insieme.....	244
Capitolo 35 — Il conduttore modifica il movimento del cane	246
Capitolo 36 — Heelwork come sistema biomeccanico accoppiato	248
Capitolo 37 — Movimento, relazione e comunicazione	250
CONCLUSIONE — Due architetture, un medesimo principio	252
Bibliografia.....	255
L'Autore	257
Copyright e note legali.....	258



Introduzione

Il cane e l'uomo condividono lo stesso campo gravitazionale ma hanno sviluppato due architetture locomotorie profondamente differenti. L'uomo ha organizzato la propria locomozione intorno alla bipedia mentre il cane ha conservato una struttura quadrupede altamente specializzata. La differenza non riguarda soltanto il numero degli arti impiegati: modifica la disposizione del rachide, il ruolo dei cingoli, la distribuzione delle forze, il controllo dell'equilibrio e le modalità con cui il corpo interagisce con il terreno.

La biomeccanica comparata consente di osservare queste differenze senza perdere di vista i principi comuni. Entrambi gli organismi devono sostenere il proprio peso, controllare la gravità, trasformare la forza muscolare in movimento, assorbire le reazioni provenienti dal terreno e mantenere stabilità e adattabilità.

Il movimento non appartiene soltanto ai muscoli e alle articolazioni. Matrice extracellulare, tessuto connettivo, fascia, sistema nervoso, recettori sensoriali, organi interni e metabolismo partecipano alla costruzione del gesto motorio. Il corpo è un sistema integrato nel quale ogni componente modifica le altre e, a sua volta, ne viene modificata.

Questa guida utilizza tale prospettiva per confrontare il cane e l'uomo. Il percorso parte dai principi della biomeccanica e della cinematica e prosegue attraverso la matrice extracellulare, il sistema fasciale, la proprioccezione e la tensegrità. L'analisi arriva poi allo Spine Engine, alla fascia toracolombare, ai cingoli, agli arti e al rapporto con il terreno.

Nel cane è particolarmente rilevante la differenza tra il cingolo posteriore e quello anteriore. Il bacino possiede un collegamento osseo con il rachide e partecipa direttamente alla trasmissione delle forze propulsive mentre la scapola non possiede un'articolazione ossea diretta con il torace e rimane sospesa attraverso strutture muscolo-fasciali. Questa caratteristica consente alla cintura scapolare di scorrere, assorbire il carico e modulare le rotazioni. Gli arti posteriori svolgono una funzione prevalentemente propulsiva mentre gli arti anteriori contribuiscono soprattutto al sostegno, alla frenata e all'assorbimento.

Nell'uomo il piede ha invece un ruolo particolare perché costituisce l'interfaccia terminale di una struttura bipede. Le sue caratteristiche consentono di adattare l'appoggio, assorbire il carico e restituire energia durante la progressione.

Il rachide svolge in entrambe le specie una funzione che supera quella di semplice struttura di sostegno. Il modello dello Spine Engine interpreta il movimento spinale come una componente centrale della locomozione. La guida svilupperà questo modello e lo confronterà tra uomo e cane, distinguendo sempre i dati biomeccanici consolidati dalle interpretazioni teoriche.

Il movimento verrà inoltre considerato come fenomeno tridimensionale che si sviluppa nel tempo. Questa prospettiva conduce al concetto di circuito oscillatorio 4D, nel quale rotazioni, oscillazioni e reazioni del terreno formano un ciclo continuo. Nel circuito umano vengono integrati fascia, rachide toracolombare, bacino, arto inferiore e piede mentre nel cane il circuito comprende arti posteriori, rachide, cintura scapolare e arti anteriori.

La biomeccanica comparata diventa così uno strumento per comprendere non soltanto come si muovono cane e uomo ma anche come il movimento organizza il corpo, come i tessuti si adattano alle forze e come una perdita di coordinazione possa modificare nel tempo l'intero sistema.

L'obiettivo finale della guida consiste nel passare da una visione frammentata del movimento a una visione sistemica. Il muscolo non agisce da solo, l'articolazione non lavora isolatamente e il piede o la zampa non sono semplicemente l'ultimo segmento dell'arto: ogni gesto appartiene all'intero organismo.



Guida alla lettura

La guida segue un percorso progressivo. I primi capitoli introducono i principi necessari per comprendere il movimento mentre le parti successive utilizzano questi concetti per confrontare direttamente cane e uomo.

La **Parte I** presenta biomeccanica, cinematica, gravità, equilibrio e principali criteri di analisi del movimento.

La **Parte II** approfondisce la matrice extracellulare, il tessuto connettivo, la fascia, la propriocezione e la tensegrità. Questi argomenti costituiscono la base necessaria per comprendere come le forze possano propagarsi attraverso l'organismo.

La **Parte III** analizza il motore della locomozione e introduce lo Spine Engine, la fascia toracolombare e il movimento oscillatorio.

La **Parte IV** sviluppa il confronto diretto tra cane e uomo attraverso il circuito oscillatorio 4D, il bacino, la cintura scapolare, gli arti e l'interazione con il terreno.

La **Parte V** affronta postura, equilibrio, controllo motorio e differenti andature.

La **Parte VI** analizza l'adattamento dei tessuti alle forze e comprende gravità, legge di Wolff, meccanotrasduzione, piezoelettricità, psoas e diaframma.

La **Parte VII** descrive ciò che può accadere quando il sistema perde efficienza e affronta retrazioni, degenerazione miofasciale, ipocarico, sovraccarico e dolore.

La **Parte VIII** considera il recupero della funzione attraverso movimento, coordinazione, equilibrio, propriocezione, stretching e lavoro in acqua.

La **Parte IX** estende infine il modello biomeccanico alla relazione cane-conduttore e analizza il sistema motorio accoppiato che si crea durante il lavoro condiviso.

Ogni capitolo termina con tre strumenti di sintesi.

Il **Take home message** riassume il concetto centrale che il lettore dovrebbe ricordare dopo la lettura.

Il box **"Fermati un attimo"** propone una riflessione che collega il contenuto del capitolo alla visione generale della guida.

I **Messaggi chiave** raccolgono in forma sintetica i principali punti tecnici del capitolo.

Questa struttura permette al lettore di affrontare il testo con differenti livelli di approfondimento. Una prima lettura può seguire il filo narrativo principale mentre una seconda lettura può utilizzare i box conclusivi per fissare i concetti biomeccanici essenziali.



PARTE I — COMPRENDERE IL MOVIMENTO

Capitolo 1 — Biomeccanica e cinematica

Il corpo come sistema in movimento

La biomeccanica studia il comportamento dei sistemi biologici attraverso i principi della meccanica. Il corpo umano e il corpo del cane rappresentano sistemi biologici complessi nei quali ossa, articolazioni, muscoli, fasce, organi e sistema nervoso interagiscono continuamente con le forze interne ed esterne.

Il movimento non deriva dalla semplice contrazione di uno o più muscoli. Ogni gesto nasce infatti dall'interazione tra produzione delle forze, trasmissione delle tensioni, mobilità articolare, elasticità dei tessuti, controllo nervoso e risposta dell'ambiente. Anche il terreno partecipa al movimento perché il corpo esercita una forza sul suolo e il suolo restituisce una forza di reazione.

La biomeccanica cerca quindi di comprendere come il corpo produca, distribuisca, assorba e restituisca le forze. Questo approccio permette di analizzare la locomozione senza separare artificialmente le singole strutture che partecipano al gesto.

L'uomo e il cane utilizzano soluzioni anatomiche differenti per rispondere agli stessi problemi fondamentali: entrambi devono sostenere il proprio peso, contrastare la gravità, mantenere l'equilibrio, produrre movimento e adattarsi costantemente alle irregolarità dell'ambiente.

La biomeccanica comparata consente di osservare queste due strategie e consente di comprendere meglio sia le differenze sia i principi comuni che regolano il movimento dei due organismi.

Biomeccanica e cinematica

La biomeccanica comprende differenti livelli di analisi. La cinematica descrive il movimento mentre la dinamica studia le cause che lo producono.

La cinematica analizza quindi la posizione dei segmenti corporei, gli spostamenti, le traiettorie, le velocità e le accelerazioni. Una descrizione cinematica può stabilire a esempio quanto ruota il bacino durante il passo oppure quale traiettoria segue una zampa durante una determinata andatura.

La dinamica considera invece le forze che producono o modificano quel movimento. La forza muscolare, la gravità, la reazione del terreno, le tensioni fasciali e le forze inerziali appartengono al dominio dell'analisi dinamica.

Una stessa configurazione cinematica può derivare da strategie dinamiche differenti. Due soggetti possono compiere un movimento apparentemente simile ma possono distribuire in modo diverso le forze tra muscoli, articolazioni e tessuti connettivi.

La distinzione tra cinematica e dinamica è fondamentale perché l'osservazione esterna del gesto non racconta necessariamente tutto ciò che accade all'interno dell'organismo.

Il movimento avviene nello spazio e nel tempo

Ogni movimento possiede una dimensione spaziale e una dimensione temporale.



La dimensione spaziale descrive dove si trova il corpo e come cambiano le relazioni tra i suoi segmenti. La dimensione temporale descrive invece quando avviene ogni fase del movimento e con quale successione essa si presenta.

Queste due dimensioni sono inseparabili nella locomozione. Il corpo non assume semplicemente una serie di posizioni nello spazio perché esso attraversa in modo continuo tali posizioni secondo una determinata velocità, una determinata accelerazione e una precisa sequenza temporale.

Un passo umano è un processo continuo e non una semplice successione di fotografie. Anche il passo del cane è un processo coordinato nel quale gli arti, il rachide, il bacino, la cintura scapolare e la testa modificano continuamente la propria posizione reciproca.

Il fattore temporale acquista un'importanza ancora maggiore quando si analizzano i fenomeni oscillatori. La locomozione presenta infatti ritmi, fasi, alternanze e cicli che si ripetono pur senza essere mai perfettamente identici.

Questa considerazione permetterà successivamente di introdurre il concetto di circuito oscillatorio 4D, nel quale le tre dimensioni dello spazio si combinano con la dimensione temporale.

La gravità rappresenta una condizione permanente

La vita terrestre si sviluppa all'interno del campo gravitazionale. La gravità esercita quindi una forza continua sull'organismo e condiziona profondamente l'architettura del corpo.

Il sistema muscoloscheletrico non deve soltanto produrre movimento perché deve contemporaneamente controllare gli effetti della gravità. Le ossa devono sostenere carichi compressivi e torsionali, le articolazioni devono trasferire forze tra segmenti differenti e il sistema miofasciale deve distribuire tensioni lungo l'intera struttura corporea.

La gravità rappresenta inoltre uno stimolo biologico. Le strutture ossee e connettivali modificano nel tempo la propria organizzazione in relazione ai carichi che ricevono. L'organismo risponde quindi alle forze meccaniche attraverso processi di adattamento strutturale e funzionale.

L'uomo affronta la gravità attraverso una struttura prevalentemente verticale e bipede mentre il cane utilizza una struttura quadrupede con il tronco disposto prevalentemente in direzione orizzontale. Questa differenza modifica profondamente la distribuzione dei carichi e la funzione dei diversi distretti corporei.

La diversa relazione con la gravità costituisce uno dei principali punti di partenza della biomeccanica comparata cane-uomo.

Equilibrio statico ed equilibrio dinamico

Il termine equilibrio può suggerire l'idea di immobilità ma un organismo vivente non raggiunge mai una condizione di immobilità assoluta.

Anche quando un soggetto sembra fermo, il sistema posturale produce continue microcorrezioni. Il corpo modifica costantemente la tensione muscolare, la distribuzione del carico e la posizione dei segmenti per mantenere il centro di massa entro limiti compatibili con la stabilità.

La cosiddetta postura statica costituisce una condizione dinamica caratterizzata da oscillazioni molto piccole.



Durante la locomozione queste oscillazioni aumentano e assumono una struttura organizzata. Il corpo sposta intenzionalmente il proprio centro di massa e utilizza successioni coordinate di perdita e recupero dell'equilibrio.

Il cammino umano costituisce un esempio evidente di questo principio. Ogni passo trasferisce il peso da un arto all'altro mentre il corpo avanza nello spazio.

Il cane utilizza una strategia differente perché possiede quattro arti e può modificare continuamente la propria base di appoggio secondo l'andatura utilizzata. Il passo, il trotto e il galoppo presentano quindi differenti successioni di appoggi e differenti strategie di gestione dell'equilibrio.

La statica e la dinamica non rappresentano pertanto due fenomeni completamente separati. La statica può essere considerata un caso particolare della dinamica nel quale l'ampiezza delle oscillazioni è ridotta.

Il corpo non funziona come una macchina composta da pezzi indipendenti

La biomeccanica classica ha spesso utilizzato modelli nei quali il corpo viene rappresentato come un sistema di leve articolate. Questi modelli sono utili perché permettono di calcolare momenti, bracci di leva e forze articolari.

Il corpo biologico presenta tuttavia caratteristiche che superano il semplice modello meccanico delle leve.

I muscoli non agiscono isolatamente perché essi sono avvolti e collegati dal tessuto connettivo. Le fasce trasmettono tensioni tra regioni differenti e le articolazioni ricevono forze che derivano da interazioni che coinvolgono l'intero organismo.

Il sistema nervoso modifica costantemente il reclutamento muscolare sulla base delle informazioni provenienti dai recettori sensoriali. La struttura stessa dei tessuti cambia inoltre in risposta ai carichi ripetuti.

Il corpo deve essere interpretato come una rete adattativa nella quale struttura, funzione e controllo sono strettamente interdipendenti.

Questa prospettiva diventa particolarmente importante quando si confrontano cane e uomo. Le differenze anatomiche non riguardano soltanto il numero degli arti utilizzati per la locomozione perché esse modificano l'intera organizzazione delle catene di trasmissione delle forze.

Forze interne e forze esterne

Le forze che agiscono sul corpo possono essere distinte convenzionalmente in forze esterne e forze interne.

Le principali forze esterne comprendono:

- la gravità;
- la reazione del terreno;
- l'attrito;
- le resistenze prodotte dall'acqua o dall'aria;
- eventuali carichi applicati dall'esterno.

Le forze interne derivano invece principalmente dall'attività muscolare, dalla tensione dei tendini, dalla deformazione delle fasce, dalle strutture capsulo-legamentose e dalle pressioni che si sviluppano all'interno dell'organismo.



Questa distinzione è utile sul piano didattico ma il movimento reale nasce dalla continua interazione tra i due gruppi di forze.

Quando il piede umano esercita pressione sul terreno, il terreno restituisce una forza che attraversa il piede, l'arto inferiore, il bacino e il tronco. Quando una zampa del cane entra in appoggio, una forza di reazione percorre l'arto e viene redistribuita attraverso il sistema muscolo-fasciale e articolare.

L'organismo non subisce quindi passivamente la forza proveniente dal terreno perché esso modifica in modo continuo rigidità, orientamento articolare e tensione dei tessuti per controllarne la propagazione.

Il terreno fa parte del sistema locomotorio

Nessuna locomozione terrestre può essere compresa considerando soltanto ciò che accade all'interno del corpo.

Il terreno rappresenta infatti l'interfaccia attraverso la quale l'organismo può trasformare le proprie forze interne in spostamento. Un arto che spinge posteriormente contro il suolo riceve una reazione orientata in senso opposto e questa reazione contribuisce alla progressione del corpo.

Il piede umano costituisce un'interfaccia particolarmente complessa tra organismo e terreno. La sua architettura permette contemporaneamente adattamento, stabilizzazione, ammortizzazione e propulsione.

La zampa del cane utilizza invece una strategia differente perché l'animale presenta una locomozione digitaligrada e distribuisce le funzioni di interazione con il terreno attraverso quattro arti.

Le caratteristiche del terreno modificano inoltre la strategia motoria. Una superficie dura, una superficie cedevole, una salita, una discesa oppure un terreno irregolare modificano la quantità e la direzione delle forze che attraversano il corpo.

Il sistema locomotorio deve adattarsi continuamente alle condizioni esterne.

Il movimento nasce dall'interazione tra materia, energia e informazione

Ogni gesto richiede una struttura materiale. Ossa, muscoli, fasce, tendini e articolazioni costituiscono il substrato fisico attraverso il quale il movimento può essere prodotto.

Ogni gesto richiede inoltre energia. Il metabolismo cellulare fornisce l'energia necessaria alla contrazione muscolare, al mantenimento dei gradienti ionici e al funzionamento del sistema nervoso.

Ogni gesto richiede infine informazione. Il sistema nervoso deve conoscere continuamente la posizione dei segmenti corporei, la quantità di tensione presente nei tessuti, la relazione con il terreno e le modificazioni che avvengono nell'ambiente.

Materia, energia e informazione interagiscono quindi in ogni istante della locomozione.

Questa impostazione permette di superare una concezione puramente muscolare del movimento. Il muscolo produce forza ma quella forza deve essere orientata, trasmessa, modulata e coordinata all'interno di un sistema molto più ampio.

Perché confrontare il cane e l'uomo

Il confronto tra cane e uomo permette di osservare due differenti soluzioni biomeccaniche sviluppate all'interno dello stesso campo gravitazionale.



L'uomo utilizza prevalentemente due arti per la locomozione e mantiene il tronco in posizione verticale. Questa configurazione libera gli arti superiori dalla funzione locomotoria primaria e assegna al piede, al bacino e al rachide un ruolo particolare nel controllo del movimento.

Il cane distribuisce invece la locomozione su quattro arti e mantiene il rachide prevalentemente in posizione orizzontale. Il bacino e la cintura scapolare presentano inoltre modalità di collegamento al tronco profondamente differenti.

Il bacino possiede una connessione ossea con il rachide attraverso il sacro e può trasferire direttamente forze e rotazioni provenienti dagli arti posteriori. La cintura scapolare del cane non possiede invece un collegamento osseo diretto con il torace perché la scapola rimane sospesa attraverso strutture muscolari e fasciali.

Questa differenza modifica la funzione biomeccanica dei due cingoli. Gli arti posteriori svolgono un ruolo particolarmente importante nella produzione della spinta mentre gli arti anteriori partecipano in misura rilevante al sostegno, alla frenata e all'assorbimento del carico.

La comprensione di queste differenze permette di evitare un errore frequente: il cane non può essere interpretato semplicemente come un uomo che cammina su quattro arti.

Le due specie condividono numerosi principi biomeccanici ma li applicano attraverso architetture differenti.

Una biomeccanica dell'intero organismo

La locomozione nasce da una rete molto ampia di interazioni.

Il sistema nervoso organizza il movimento e modifica costantemente i programmi motori sulla base delle informazioni sensoriali. Il sistema muscolare produce forza mentre il sistema fasciale trasmette tensioni tra regioni differenti. Le articolazioni consentono movimento e trasferimento delle forze mentre le ossa garantiscono resistenza alla compressione e costituiscono leve strutturali.

Il terreno restituisce le forze che il corpo esercita su di esso e queste forze risalgono attraverso la struttura corporea. La gravità agisce in modo continuo sull'intero sistema mentre il controllo posturale modifica in ogni istante la risposta dell'organismo.

La biomeccanica comparata cane-uomo deve analizzare il movimento come fenomeno globale.

Questo libro seguirà questa impostazione. Il confronto non partirà dai singoli muscoli isolati ma partirà dalle relazioni tra struttura, forza, informazione e movimento.

L'analisi procederà dalla matrice extracellulare e dalla fascia verso la tensegrità, il rachide, lo Spine Engine, i cingoli, gli arti e l'interazione con il terreno. Il percorso permetterà infine di ricostruire il circuito completo attraverso il quale cane e uomo trasformano oscillazioni, rotazioni e forze in locomozione.

Il problema biomeccanico fondamentale è infatti comune alle due specie: **il corpo deve trasformare continuamente la forza in movimento mantenendo contemporaneamente stabilità, adattabilità ed efficienza.**

Take home message

La biomeccanica non studia semplicemente quali muscoli si contraggono durante un movimento. Essa studia come l'intero organismo produce, trasmette, assorbe e controlla le forze mentre interagisce con la gravità e con il terreno.



Il cane e l'uomo utilizzano architetture differenti ma affrontano lo stesso problema fondamentale: devono trasformare continuamente le forze in movimento senza perdere stabilità, adattabilità ed efficienza.

Fermati un attimo

Quando osserviamo un cane che cammina oppure una persona che compie un passo, vediamo soprattutto gli arti che si muovono.

Il movimento reale è però molto più ampio.

Il terreno restituisce forze al corpo, il rachide oscilla, il bacino ruota, i tessuti fasciali distribuiscono tensioni e il sistema nervoso corregge continuamente il gesto.

La domanda corretta non è quindi soltanto **“quale muscolo sta lavorando?”**.

La domanda più utile diventa: **“come sta organizzando il proprio movimento l'intero sistema?”**

Messaggi chiave

- La biomeccanica studia le forze e il movimento nei sistemi biologici.
- La cinematica descrive il movimento nello spazio e nel tempo mentre la dinamica analizza le forze che lo producono.
- La locomozione deriva dall'interazione tra sistema nervoso, muscoli, fascia, ossa, articolazioni e terreno.
- La gravità è una condizione permanente alla quale il corpo deve adattarsi.
- La postura apparentemente statica contiene continue oscillazioni e correzioni.
- L'uomo utilizza una strategia bipede mentre il cane utilizza una strategia quadrupede.
- Il confronto cane-uomo deve considerare l'intero sistema e non soltanto i singoli segmenti anatomici.
- Il terreno è una componente attiva della locomozione perché restituisce al corpo le forze generate durante l'appoggio.



Capitolo 2 — L'animale motorio

Il movimento precede molte forme di conoscenza

Il movimento è una delle prime modalità attraverso le quali un organismo entra in relazione con l'ambiente. Nelle prime fasi dello sviluppo, l'azione precede spesso la piena consapevolezza dell'azione stessa. Il sistema nervoso costruisce progressivamente una rappresentazione del corpo attraverso l'esperienza motoria, le informazioni sensoriali e le conseguenze prodotte dal movimento.

Questa relazione può essere sintetizzata attraverso una sequenza fondamentale:

azione → percezione → rappresentazione → apprendimento

Il movimento non è soltanto l'esecuzione finale di un comando nervoso perché esso partecipa direttamente alla costruzione delle informazioni che il sistema nervoso utilizzerà per organizzare i movimenti successivi.

Ogni gesto modifica le informazioni provenienti da muscoli, articolazioni, cute, fascia, apparato vestibolare e sistema visivo. Il sistema nervoso integra questi segnali e aggiorna costantemente la propria rappresentazione della posizione e del movimento dei segmenti corporei.

Il corpo impara quindi anche attraverso il movimento.

Il sistema nervoso è profondamente motorio

Una parte molto ampia del sistema nervoso partecipa direttamente o indirettamente alla pianificazione, all'esecuzione e al controllo del movimento. Le strutture motorie corticali rappresentano soltanto una parte di una rete molto più vasta che comprende cervelletto, gangli della base, tronco encefalico, midollo spinale e numerosi sistemi sensoriali.

Il movimento volontario non deriva da un singolo centro di comando.

Il sistema nervoso centrale formula un obiettivo motorio ma numerosi circuiti periferici e spinali regolano in modo continuo la sua esecuzione. Il controllo motorio utilizza infatti una combinazione di programmi anticipatori, feedback sensoriali e riflessi.

Questa organizzazione permette al corpo di adattare il movimento a condizioni che cambiano continuamente.

Una persona che cammina su un terreno irregolare non programma coscientemente ogni contrazione muscolare. Il sistema nervoso modifica invece automaticamente la risposta sulla base delle informazioni provenienti dal piede, dalle articolazioni, dal sistema vestibolare e dal sistema visivo.

Il cane utilizza lo stesso principio generale ma applica il controllo motorio a una struttura quadrupede nella quale quattro arti, rachide, bacino e cintura scapolare devono essere coordinati in successioni temporali differenti.

Azione, sensazione e rappresentazione corporea

La rappresentazione corporea non può essere considerata una fotografia immutabile del corpo. Il sistema nervoso aggiorna continuamente questa rappresentazione sulla base delle informazioni provenienti dal movimento.



La propriocezione informa il sistema nervoso sulla posizione relativa dei segmenti corporei. L'esterocezione informa invece sulle caratteristiche dell'ambiente esterno mentre il sistema vestibolare fornisce informazioni sull'accelerazione e sull'orientamento della testa nello spazio.

Anche la fascia contribuisce alla percezione del corpo grazie alla propria ricca innervazione sensoriale.

Il sistema nervoso integra quindi segnali provenienti da differenti sorgenti e costruisce una rappresentazione dinamica del corpo.

Questa rappresentazione permette all'organismo di anticipare gli effetti di un movimento e di correggerlo mentre esso viene eseguito.

Il movimento modifica la percezione mentre la percezione modifica a sua volta il movimento.

Il cane è un animale profondamente locomotorio

Il cane possiede una struttura corporea fortemente orientata alla locomozione. Le caratteristiche anatomiche del rachide, degli arti, del bacino e della cintura scapolare permettono all'animale di camminare, trottare, correre, accelerare, frenare e cambiare rapidamente direzione.

Il movimento rappresenta per il cane una necessità fondamentale e il corpo canino si è sviluppato in funzione di una locomozione quadrupede efficiente all'interno del campo gravitazionale.

La locomozione non rappresenta però soltanto un mezzo per spostarsi.

Il movimento permette al cane di esplorare l'ambiente, raccogliere informazioni olfattive, modificare la distanza dagli altri individui, comunicare intenzioni, controllare il territorio e adattarsi alle variazioni dell'ambiente.

La locomozione possiede anche una funzione sensoriale e comportamentale.

Il cane conosce il proprio ambiente muovendosi al suo interno.

Il movimento modifica continuamente l'informazione sensoriale

Ogni spostamento modifica ciò che l'organismo percepisce.

Quando il cane cambia direzione, esso modifica contemporaneamente la posizione della testa, l'orientamento dello sguardo, la distribuzione del peso sugli arti e le informazioni olfattive che raggiungono il naso.

Quando l'uomo cammina, ogni passo modifica invece la pressione plantare, la posizione del bacino, l'orientamento del tronco e le informazioni vestibolari.

Il movimento produce costantemente nuovi dati sensoriali.

Il sistema nervoso utilizza questi dati per regolare il movimento successivo.

Questa relazione determina un circuito continuo:

movimento → informazione sensoriale → elaborazione → nuovo movimento

Il controllo motorio è un processo ciclico e non una sequenza lineare.



Il ruolo del tatto

Il tatto rappresenta uno dei sistemi sensoriali più precocemente sviluppati durante l'embriogenesi e costituisce una fonte fondamentale di informazioni sul rapporto tra corpo e ambiente.

Questo principio trova riscontro nel fatto che la sensibilità tattile compare molto precocemente rispetto ad altri sistemi sensoriali.

Il contatto con una superficie permette di rilevare pressione, vibrazione, temperatura, consistenza e movimento relativo.

Nel cane il contatto delle zampe con il terreno fornisce informazioni indispensabili per la regolazione del carico e dell'equilibrio.

Nell'uomo la superficie plantare svolge una funzione analoga ma la distribuzione bipede del peso rende il piede un'interfaccia particolarmente importante tra corpo e terreno.

Il tatto è un elemento fondamentale della biomeccanica perché la qualità dell'appoggio modifica immediatamente la risposta motoria.

Propriocezione e controllo del corpo

La propriocezione permette al sistema nervoso di conoscere la posizione relativa delle articolazioni e il grado di tensione presente nei muscoli e nei tessuti connettivi.

Fusi neuromuscolari, organi tendinei del Golgi, recettori articolari e meccanorecettori fasciali contribuiscono a questa funzione.

Il sistema nervoso utilizza tali informazioni per modulare tono muscolare, coordinazione ed equilibrio.

La propriocezione è particolarmente rilevante durante i movimenti rapidi perché il sistema nervoso deve adattare il gesto in tempi estremamente brevi.

Un cane che cambia improvvisamente direzione durante la corsa modifica l'appoggio degli arti, la posizione del rachide e la distribuzione delle tensioni senza un controllo cosciente di ogni singolo movimento.

L'efficienza del gesto dipende quindi dalla qualità dell'informazione sensoriale e dalla capacità del sistema nervoso di utilizzarla.

Feedback e feedforward

Il controllo motorio utilizza due strategie complementari.

Il feedback corregge il movimento sulla base delle informazioni che arrivano dopo l'inizio del gesto.

Il feedforward permette invece al sistema nervoso di anticipare alcune conseguenze del movimento sulla base dell'esperienza precedente.

Quando una persona solleva un oggetto già conosciuto, il sistema nervoso prepara anticipatamente una determinata quantità di forza.

Quando un cane affronta un salto noto, esso modifica in anticipo velocità, lunghezza del passo e posizione del corpo.

Il movimento efficiente nasce dall'integrazione di entrambe le strategie.

Il feedback corregge gli errori mentre il feedforward riduce la necessità di correggerli.



Movimento e apprendimento

Il movimento ripetuto modifica gradualmente il sistema nervoso.

L'apprendimento motorio consente infatti di rendere un gesto più preciso, più economico e più automatico.

Durante le prime fasi dell'apprendimento, il sistema nervoso utilizza una grande quantità di attenzione e produce numerose correzioni.

Con la pratica, il gesto diventa nel tempo più stabile e richiede un controllo cosciente minore.

Questo principio vale sia per l'uomo sia per il cane.

Un esercizio nuovo richiede inizialmente una grande quantità di informazioni sensoriali e numerose correzioni. Con l'esperienza, il sistema nervoso crea invece una strategia motoria più efficiente.

L'allenamento non modifica soltanto la forza muscolare perché esso modifica anche la qualità del controllo nervoso.

Il movimento costruisce capacità motorie

Forza e resistenza rappresentano soltanto due componenti della prestazione motoria.

Coordinazione, equilibrio e propriocezione permettono di utilizzare la forza disponibile in modo efficace.

Allenare soltanto forza e resistenza non basta perché occorre sviluppare anche coordinazione motoria, equilibrio e propriocezione.

Un organismo molto forte ma scarsamente coordinato può utilizzare male le proprie risorse.

Un organismo ben coordinato può invece produrre movimenti efficaci con un dispendio energetico minore.

La qualità del movimento dipende dalla relazione tra capacità fisiche e capacità di controllo.

Variabilità motoria e adattamento

Il movimento biologico non presenta una ripetizione perfettamente identica.

Ogni passo differisce leggermente dal precedente perché il sistema nervoso modifica in modo continuo la strategia motoria sulla base dell'ambiente e delle condizioni interne.

Una certa variabilità costituisce una caratteristica fisiologica.

Un sistema eccessivamente rigido possiede infatti una minore capacità di adattamento.

La variabilità permette invece di distribuire le sollecitazioni tra strutture differenti e consente al sistema di trovare soluzioni alternative quando cambiano le condizioni.

Questo principio acquista particolare rilievo nel cane perché la locomozione avviene spesso su superfici irregolari e con rapidi cambiamenti di velocità e direzione.

Anche nell'uomo la perdita di variabilità motoria può accompagnare condizioni di rigidità, dolore o riduzione del controllo motorio.

Movimento e ambiente

Il movimento dipende sempre dal contesto.



La stessa struttura corporea produce gesti differenti su terreno duro, terreno morbido, salita, discesa, acqua oppure superficie instabile.

L'ambiente modifica continuamente le richieste biomeccaniche.

Il sistema nervoso deve adattare ampiezza articolare, rigidità muscolare e distribuzione del carico.

Il movimento rappresenta il risultato dell'interazione tra organismo e ambiente.

Questa relazione è particolarmente rilevante nel cane domestico perché l'ambiente moderno può essere molto differente da quello nel quale si sono sviluppate le caratteristiche locomotorie della specie.

Pavimenti lisci, riduzione del movimento spontaneo, spazi ristretti e attività motorie ripetitive possono ridurre la varietà degli stimoli sensoriali e motori.

La cosiddetta "vita artificiale", sia nell'uomo sia nel cane, riduce le condizioni naturali di movimento e può favorire la comparsa di disfunzioni.

Movimento e cognizione

Il movimento e la cognizione non rappresentano due sistemi completamente separati.

L'esperienza motoria contribuisce infatti alla costruzione di rappresentazioni spaziali, capacità anticipatorie e strategie comportamentali.

L'organismo impara continuamente a prevedere le conseguenze delle proprie azioni.

Il cane utilizza queste capacità durante la locomozione, il gioco, l'esplorazione e la relazione con l'uomo.

L'uomo utilizza gli stessi principi generali all'interno di un sistema cognitivo più complesso ma continua a dipendere dalle informazioni prodotte dal corpo.

Il movimento è una componente fondamentale dell'interazione tra corpo e mente.

Il sistema motorio come sistema integrato

Il movimento non appartiene a un singolo organo.

Il sistema nervoso produce e modifica i programmi motori, i muscoli generano tensione, la fascia distribuisce le forze, le articolazioni consentono il movimento e i recettori forniscono informazioni.

Il terreno modifica costantemente la risposta mentre la gravità agisce sull'intero sistema.

Il movimento è il risultato emergente dell'interazione tra tutte queste componenti.

Questa prospettiva guiderà i capitoli successivi.

La comprensione della matrice extracellulare, della fascia, dei meccanorecettori e della tensegrità permetterà di comprendere come l'informazione meccanica possa propagarsi attraverso l'intero organismo.

Take home message

Il movimento non è soltanto la conseguenza di un comando nervoso perché esso costituisce anche una fonte continua di informazione.

Cane e uomo costruiscono il proprio controllo motorio attraverso l'interazione tra azione, percezione e adattamento.



Un movimento efficace richiede quindi non soltanto forza ma anche qualità dell'informazione sensoriale, coordinazione, equilibrio, propriocezione e capacità di adattamento.

Fermati un attimo

Quando osserviamo un cane che affronta un terreno irregolare, possiamo avere l'impressione che esso semplicemente "metta bene le zampe".

In realtà il sistema nervoso sta integrando contemporaneamente informazioni provenienti dal terreno, dalle articolazioni, dai muscoli, dalla fascia, dagli occhi e dall'apparato vestibolare.

Ogni passo modifica le informazioni disponibili e ogni nuova informazione modifica il passo successivo.

Il movimento non costituisce soltanto una risposta.

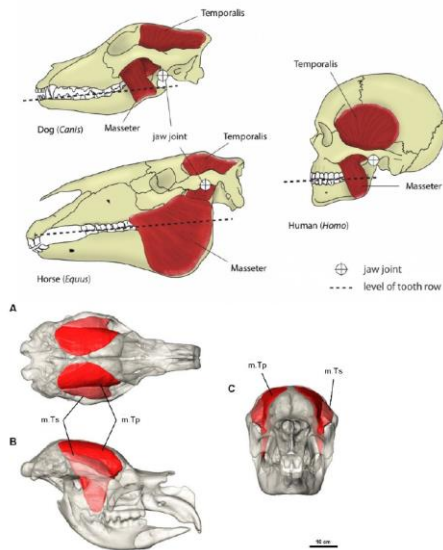
Il movimento rappresenta anche una domanda continua che il corpo pone all'ambiente.

Messaggi chiave

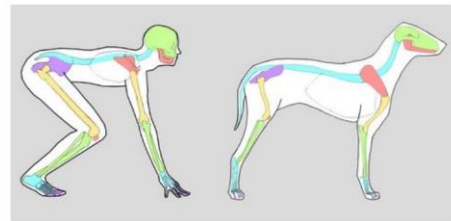
- Il movimento partecipa alla costruzione della rappresentazione corporea.
- Il sistema nervoso controlla il gesto attraverso programmi motori, feedback e feedforward.
- Il movimento modifica in modo continuo l'informazione sensoriale disponibile.
- La propriocezione permette di conoscere posizione e tensione dei segmenti corporei.
- Il tatto è una fonte fondamentale di informazioni sull'interazione con il terreno.
- Il cane possiede una struttura fortemente specializzata per la locomozione quadrupede.
- Forza e resistenza non sono sufficienti senza coordinazione, equilibrio e propriocezione.
- Una certa variabilità motoria favorisce l'adattamento.
- L'ambiente modifica continuamente la strategia biomeccanica.
- Movimento e cognizione appartengono a un sistema integrato.

Capitolo 3 — Due soluzioni evolutive alla gravità

Evoluzione Cane vs Uomo



- Il passaggio evolutivo da quadrupede a bipede consentì l'ulteriore sviluppo cerebrale



www.giovannichetta.it

Figura — Due diverse soluzioni evolutive alla gravità: uomo bipede e cane quadrupede.

Un problema comune, due strategie differenti

Il cane e l'uomo vivono nello stesso campo gravitazionale ma hanno sviluppato due modalità profondamente differenti per sostenere il corpo e produrre locomozione.

Il cane utilizza una strategia quadrupede nella quale il tronco si dispone prevalentemente in senso orizzontale e il peso corporeo viene distribuito su quattro arti.

L'uomo utilizza invece una strategia bipede nella quale il tronco assume una disposizione prevalentemente verticale e il peso corporeo viene trasferito soprattutto attraverso gli arti inferiori.

Questa differenza modifica l'intera organizzazione biomeccanica del corpo.

Il numero degli arti utilizzati nell'appoggio cambia infatti la dimensione della base di sostegno, la posizione del centro di massa, la distribuzione delle forze, la funzione del rachide e il ruolo dei cingoli.

Quadrupedia e bipedia rappresentano quindi due soluzioni differenti allo stesso problema: **muoversi efficacemente all'interno della gravità mantenendo equilibrio, stabilità e capacità di adattamento.**

Il corpo quadrupede del cane

Il cane possiede un'organizzazione corporea fortemente adattata alla locomozione quadrupede.

Il tronco rimane prevalentemente disposto in senso orizzontale mentre gli arti anteriori e posteriori sostengono il corpo e partecipano alla progressione.



Questa organizzazione consente di distribuire il peso corporeo su una base di appoggio relativamente ampia e consente di modificare rapidamente la posizione del centro di massa attraverso la coordinazione dei quattro arti.

Il cane può inoltre utilizzare differenti andature. Il passo, il trotto e il galoppo modificano la successione degli appoggi, la durata delle fasi di sostegno e la quantità di energia elastica che viene accumulata e restituita dal sistema muscolo-fasciale.

La struttura quadrupede non deve essere interpretata come una semplice condizione di maggiore stabilità.

Il cane può trasformare rapidamente una configurazione stabile in una configurazione altamente dinamica perché il sistema locomotorio modifica continuamente numero, sequenza e posizione degli appoggi.

Il corpo bipede dell'uomo

La bipedia modifica radicalmente la relazione tra corpo e gravità.

L'uomo concentra infatti il sostegno principale su due arti mentre il tronco si organizza prevalentemente lungo un asse verticale.

Questa configurazione riduce la base di appoggio rispetto alla quadrupedia e richiede un controllo molto preciso del centro di massa.

Il sistema posturale deve produrre continue correzioni per mantenere l'equilibrio.

Durante la locomozione, il corpo trasferisce alternativamente il peso da un arto all'altro. Ogni passo comporta uno spostamento controllato del centro di massa e una temporanea riduzione della base di appoggio.

La bipedia richiede pertanto una coordinazione estremamente raffinata tra piede, arto inferiore, bacino, rachide e sistemi sensoriali.

La base di appoggio

La base di appoggio rappresenta l'area delimitata dai punti attraverso i quali il corpo entra in contatto con il terreno.

Una base di appoggio più ampia facilita generalmente la stabilità mentre una base più ridotta richiede un controllo più preciso del centro di massa.

Nel cane la base di appoggio può comprendere quattro, tre, due oppure occasionalmente un solo arto in relazione alla fase dell'andatura.

Nell'uomo la base di appoggio varia principalmente tra doppio appoggio e appoggio monopodalico durante il cammino.

La stabilità non dipende tuttavia soltanto dall'ampiezza geometrica della base.

Il sistema nervoso deve controllare costantemente la posizione del centro di massa, la velocità del movimento e la direzione delle forze.

Un cane che corre può mantenere il controllo anche durante fasi nelle quali nessun arto tocca il terreno. Un essere umano può invece mantenere l'equilibrio durante l'appoggio monopodalico grazie a un preciso controllo neuromuscolare.

La stabilità è una proprietà dinamica.



Centro di massa e controllo della gravità

Ogni corpo possiede un centro di massa che rappresenta idealmente il punto nel quale può essere considerata concentrata la massa complessiva.

La posizione del centro di massa cambia in modo continuo durante il movimento perché i segmenti corporei modificano la propria disposizione reciproca.

Nel cane lo spostamento della testa, del rachide, degli arti o della coda modifica la distribuzione complessiva delle masse.

Nell'uomo il movimento degli arti superiori, del tronco e del bacino produce effetti analoghi.

Il sistema nervoso deve quindi anticipare o correggere tali modificazioni per mantenere il controllo del corpo.

La locomozione può essere interpretata anche come un continuo spostamento controllato del centro di massa.

Il corpo perde intenzionalmente una parte della propria stabilità e utilizza questa perdita per avanzare.

Stabilità e mobilità non sono opposti

La stabilità viene spesso interpretata come assenza di movimento mentre la mobilità viene considerata come il suo contrario.

Il sistema biologico utilizza invece stabilità e mobilità contemporaneamente.

Una struttura troppo rigida può risultare stabile in condizioni semplici ma può adattarsi male a perturbazioni improvvise.

Una struttura eccessivamente mobile può invece perdere la capacità di controllare le forze.

L'efficienza biomeccanica richiede una stabilità dinamica.

Il cane deve essere sufficientemente stabile per sostenere il corpo ma deve anche poter modificare rapidamente direzione, velocità e ampiezza del movimento.

L'uomo deve mantenere l'equilibrio verticale ma deve anche permettere al bacino, al rachide e agli arti di oscillare durante il cammino.

La stabilità fisiologica non deriva dalla rigidità.

La stabilità deriva dalla capacità di adattarsi alle perturbazioni senza perdere il controllo del sistema.

Il rachide nelle due strategie locomotorie

Il rachide occupa una posizione centrale sia nella quadrupedia sia nella bipedia ma la sua relazione con la gravità cambia profondamente.

Nel cane il rachide si dispone prevalentemente lungo un asse orizzontale e collega funzionalmente il cingolo pelvico con la regione toracica e scapolare.

Le oscillazioni del rachide contribuiscono alla trasmissione delle forze tra la parte posteriore e quella anteriore del corpo.

Nell'uomo il rachide deve invece sostenere una struttura verticale e controllare continuamente gli effetti della gravità lungo il proprio asse.



Le curve fisiologiche, il bacino e la muscolatura del tronco contribuiscono alla gestione di questi carichi.

Il rachide umano non rappresenta tuttavia una semplice colonna statica.

Durante la locomozione esso partecipa infatti a rotazioni, inclinazioni e oscillazioni che contribuiscono alla progressione.

Questa funzione dinamica diventerà particolarmente importante quando verrà introdotto il modello dello Spine Engine.

Il bacino come nodo biomeccanico

Il bacino è un nodo fondamentale in entrambe le specie.

Nell'uomo il bacino trasferisce le forze tra rachide e arti inferiori e partecipa alla regolazione delle rotazioni durante il cammino.

Nel cane il bacino svolge una funzione particolarmente importante nella trasmissione delle forze generate dagli arti posteriori.

La connessione ossea tra sacro e bacino permette una trasmissione relativamente diretta delle forze verso il rachide.

La funzione propulsiva degli arti posteriori coinvolge in modo rilevante anche il rachide lombosacrale.

Il bacino non deve essere considerato soltanto come una struttura di collegamento anatomico.

Esso rappresenta un vero centro di trasferimento e modulazione delle forze.

La cintura scapolare: una differenza decisiva

La cintura scapolare rappresenta uno dei punti nei quali la biomeccanica del cane si distingue maggiormente da quella dell'uomo.

Nel cane la scapola non possiede un'articolazione ossea diretta con il torace.

La cintura scapolare rimane quindi sospesa attraverso muscoli e fasce.

Questa organizzazione permette alla scapola di scorrere sul torace e consente una maggiore capacità di assorbimento e modulazione delle forze.

La cintura scapolare anteriore funziona come una struttura capace di scorrimento, assorbimento, stabilizzazione e modulazione delle rotazioni.

Nel cane gli arti anteriori partecipano in modo rilevante al sostegno e alla frenata mentre gli arti posteriori svolgono un ruolo più marcatamente propulsivo.

Questa differenza tra cingolo pelvico e cintura scapolare rappresenta uno dei principi più importanti della biomeccanica canina.

L'uomo libera gli arti superiori dalla locomozione

La bipedia modifica profondamente il ruolo degli arti superiori.

Gli arti superiori non partecipano normalmente al sostegno diretto del peso corporeo durante la locomozione e possono svolgere funzioni manipolative molto più complesse.

Durante il cammino essi conservano tuttavia una funzione biomeccanica.



L'oscillazione degli arti superiori contribuisce infatti alla compensazione delle rotazioni prodotte dal bacino e dal tronco.

La locomozione bipede non elimina quindi il coinvolgimento degli arti superiori.

Essa ne modifica profondamente la funzione.

L'importanza delle rotazioni

Il movimento efficace non avviene soltanto attraverso flessioni ed estensioni.

Le rotazioni svolgono un ruolo fondamentale nella locomozione.

Nell'uomo il bacino ruota durante il cammino mentre il torace tende a produrre una controrotazione.

Questa organizzazione contribuisce alla stabilizzazione del corpo e alla gestione del momento angolare.

Nel cane le rotazioni coinvolgono bacino, rachide, cintura scapolare e arti.

I modelli di Dog vortex e Human vortex associano entrambi la locomozione alla rotazione del bacino, alla controrotazione superiore e alla stabilizzazione della testa.

La presenza di queste rotazioni mostra che la locomozione non può essere compresa soltanto sul piano sagittale.

Il corpo utilizza continuamente movimenti tridimensionali.

La testa deve rimanere controllata

La testa contiene sistemi sensoriali fondamentali per il controllo del movimento.

Occhi e apparato vestibolare devono poter mantenere una relazione sufficientemente stabile con lo spazio anche quando il resto del corpo oscilla.

Il corpo utilizza strategie che permettono di distribuire parte delle rotazioni attraverso rachide e cingoli senza compromettere eccessivamente la stabilità della testa.

Il cane e l'uomo utilizzano organizzazioni differenti ma condividono questa esigenza.

La stabilizzazione della testa è un risultato dell'integrazione tra sistema muscoloscheletrico e controllo nervoso.

Quadrupedia e bipedia non sono versioni della stessa locomozione

Il confronto tra cane e uomo può diventare fuorviante quando si cerca una corrispondenza troppo semplice tra le strutture.

L'arto anteriore del cane non rappresenta l'equivalente biomeccanico dell'arto superiore umano.

Il piede umano non rappresenta semplicemente una zampa modificata.

Il bacino e la cintura scapolare non svolgono lo stesso ruolo nelle due specie.

Ogni struttura deve essere interpretata all'interno dell'intero sistema locomotorio.

La biomeccanica comparata non deve quindi cercare soltanto somiglianze anatomiche.

Essa deve soprattutto comprendere **quale funzione svolga una determinata struttura all'interno dell'architettura complessiva del movimento.**



Due strategie che convergono sugli stessi principi

Quadrupedia e bipedia presentano differenze profonde ma utilizzano alcuni principi comuni.

Entrambe richiedono:

- controllo del centro di massa;
- gestione delle reazioni del terreno;
- distribuzione delle forze;
- coordinazione tra segmenti corporei;
- oscillazioni e rotazioni;
- integrazione sensoriale;
- adattamento continuo all'ambiente.

Le differenze anatomiche modificano il modo attraverso il quale questi principi vengono realizzati.

Il confronto cane-uomo diventa particolarmente utile perché permette di distinguere i principi generali della locomozione dalle soluzioni specifiche adottate dalle due specie.

Take home message

Il cane e l'uomo risolvono lo stesso problema biomeccanico attraverso due architetture differenti.

La quadrupedia distribuisce il sostegno e la locomozione su quattro arti mentre la bipedia concentra il sostegno sugli arti inferiori e richiede un controllo più preciso della verticalità.

Le differenze tra le due specie coinvolgono però l'intero organismo perché cambiano la funzione del rachide, del bacino, della cintura scapolare e degli arti.

La biomeccanica comparata deve confrontare funzioni e strategie, non soltanto forme anatomiche.

Fermati un attimo

Un cane possiede quattro arti e un uomo ne utilizza normalmente due per camminare.

Questa osservazione sembra banale.

Le conseguenze biomeccaniche non lo sono.

Nel cane il bacino trasmette direttamente la spinta degli arti posteriori al rachide mentre la cintura scapolare può scorrere sul torace e assorbire parte delle forze.

Nell'uomo il bacino collega il rachide ai due arti portanti mentre gli arti superiori vengono liberati dal sostegno diretto.

Cambiare il numero e il tipo degli appoggi significa cambiare l'intera architettura del movimento.

Messaggi chiave

- Cane e uomo affrontano la stessa gravità attraverso strategie locomotorie differenti.
- Il cane utilizza una struttura quadrupede mentre l'uomo utilizza una struttura bipede.



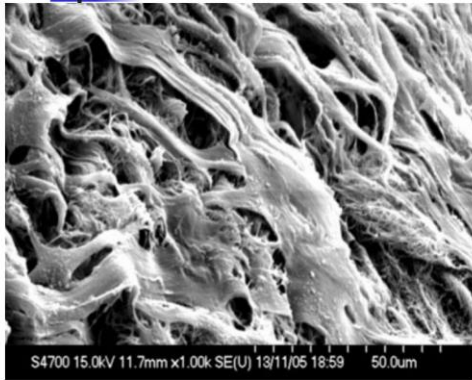
Le Guide Love Your Life

- La stabilità dipende dal controllo dinamico del centro di massa e non soltanto dall'ampiezza della base di appoggio.
- Il rachide svolge una funzione dinamica in entrambe le specie.
- Il bacino rappresenta un importante nodo di trasmissione delle forze.
- Nel cane il cingolo pelvico possiede un collegamento osseo con il rachide mentre la cintura scapolare rimane sospesa attraverso strutture muscolo-fasciali.
- Gli arti posteriori del cane partecipano soprattutto alla propulsione mentre gli anteriori svolgono un ruolo importante nel sostegno, nella frenata e nell'assorbimento.
- Le rotazioni e le controrotazioni partecipano alla locomozione sia nel cane sia nell'uomo.
- Quadrupedia e bipedia devono essere confrontate come sistemi completi.
- La biomeccanica comparata studia soprattutto le strategie funzionali attraverso le quali strutture differenti producono risultati analoghi.

PARTE II — IL CORPO COME RETE

Capitolo 4 — Matrice extracellulare e tessuto connettivo

Matrice Extra Cellulare (MEC): regista d' biomeccanica e salute



- L'omeostasi cellulare e globale è un complesso di meccanismi che possono trovare origine, genesi e sviluppo all'interno della cellula o all'esterno (nella MEC). In quest'ultimo caso, la cellula può rappresentare il bersaglio intermedio o finale.

“E' il ns. mare interno...la madre delle reazioni vitali, il luogo dove, prima di tutto, avvengono gli scambi tra materia ed energia” P. A. Bacci.

www.giovannichetta.it

Figura — La matrice extracellulare come ambiente biomeccanico e biologico.

La matrice extracellulare non è uno spazio vuoto

Per comprendere la biomeccanica di un organismo non basta osservare ossa, articolazioni e muscoli. Ogni cellula vive infatti immersa in un ambiente extracellulare che partecipa alla struttura, alla comunicazione e all'adattamento dei tessuti.

Questo ambiente prende il nome di matrice extracellulare o MEC.

La matrice extracellulare non rappresenta uno spazio passivo tra una cellula e l'altra. Essa costituisce invece una rete complessa formata da proteine, fibre, glicoproteine, proteoglicani, glicosaminoglicani, acqua, elettroliti e numerose molecole biologicamente attive.

La MEC collega le cellule al tessuto e il tessuto all'intero organismo.

La biomeccanica deve tenerne conto perché ogni forza applicata a un tessuto modifica anche la matrice che circonda le cellule.

Dalla forza alla cellula

Quando una forza deforma un tessuto, la deformazione non si arresta sulla superficie.



La tensione può propagarsi attraverso fibre collagene, proteoglicani, membrane cellulari e strutture di ancoraggio.

La cellula riceve quindi informazioni meccaniche provenienti dall'esterno.

Queste informazioni possono modificare il comportamento cellulare.

Il fenomeno attraverso il quale un segnale meccanico viene trasformato in una risposta biologica prende il nome di meccanotrasduzione.

La matrice extracellulare è uno dei principali intermediari tra forza e risposta cellulare.

Questo concetto diventerà particolarmente importante quando analizzeremo l'adattamento dell'osso, la piezoelettricità e il rimodellamento dei tessuti.

La composizione della matrice extracellulare

La MEC contiene diverse famiglie di molecole.

Le proteine strutturali comprendono soprattutto collagene ed elastina.

Il collagene conferisce resistenza alla trazione e contribuisce alla struttura dei tessuti.

L'elastina permette invece una maggiore capacità di deformazione elastica e di ritorno verso la configurazione iniziale.

La matrice contiene anche proteine specializzate come fibronectina, laminina e fibrillina.

Queste molecole contribuiscono alla connessione tra cellule, fibre e matrice.

Proteoglicani e glicosaminoglicani partecipano invece all'idratazione, alla viscosità e alle proprietà meccaniche della sostanza fondamentale.

Tra i principali componenti della MEC rientrano collagene, elastina, fibrillina, fibronectina, laminina, aggregani, sindecani, ialuronani e condroitinsolfati.

La composizione della matrice varia quindi in relazione alla funzione del tessuto.

Un tendine necessita di una grande capacità di resistere alla trazione mentre una cartilagine deve distribuire pressioni e carichi compressivi.

La struttura della MEC risponde a queste differenti richieste.

Il tessuto connettivo come sistema continuo

Il tessuto connettivo non rappresenta una serie di strutture isolate.

Esso forma una rete che attraversa l'intero organismo.

Questa rete collega muscoli, ossa, organi, vasi e strutture nervose.

La continuità del connettivo permette di trasferire tensioni e informazioni tra regioni differenti del corpo.

Il tessuto connettivo costituisce un sistema multiforme capace di connettere tutte le strutture dell'organismo e di sostenerle anche sul piano metabolico.

Questa idea possiede un'importanza biomeccanica fondamentale.

Quando un muscolo genera tensione, infatti, la forza non rimane confinata all'interno del ventre muscolare.



Essa viene trasferita attraverso tendini, fasce, setti e strutture connettivali verso altre regioni.

Il movimento deve essere interpretato come un fenomeno distribuito.

La fascia come componente del sistema connettivo

La fascia è una delle principali espressioni del sistema connettivo.

Essa avvolge, separa e collega muscoli, gruppi muscolari, organi e compartimenti corporei.

La fascia crea una continuità strutturale.

Questa continuità permette di distribuire le tensioni e di coordinare differenti regioni durante il movimento.

La fascia non deve essere considerata soltanto come un involucro.

Essa possiede proprietà meccaniche, elastiche, viscoelastiche e sensoriali.

Queste caratteristiche verranno approfondite nei capitoli successivi.

Il corpo non trasferisce soltanto forze

Il sistema connettivo partecipa anche a numerose funzioni che superano la semplice meccanica.

Il connettivo partecipa al mantenimento della postura, alla protezione degli organi, all'equilibrio idrosalino, alla circolazione, alla propriocezione, alla risposta immunitaria, ai processi infiammatori e alla comunicazione tra compartimenti.

Questa molteplicità di funzioni mostra che struttura e fisiologia non possono essere separate completamente.

Una modifica della matrice può infatti cambiare la meccanica del tessuto e può contemporaneamente influenzare scambi, metabolismo e segnali cellulari.

La biomeccanica moderna deve quindi considerare il tessuto come una struttura biologicamente attiva.

Acqua e proprietà meccaniche

La matrice extracellulare contiene una grande quantità di acqua.

L'acqua modifica le proprietà meccaniche del tessuto perché contribuisce alla viscosità, alla capacità di assorbire carichi e alla distribuzione delle pressioni.

I glicosaminoglicani e i proteoglicani trattengono acqua e formano una sostanza fondamentale altamente idratata.

Questa caratteristica acquista particolare rilievo nei tessuti sottoposti a compressione.

La cartilagine articolare offre un esempio evidente perché la sua capacità di distribuire il carico dipende anche dall'interazione tra matrice e acqua.

Lo stato di idratazione può modificare il comportamento biomeccanico del tessuto.

Collagene e orientamento delle forze

Le fibre collagene non si distribuiscono casualmente.



Il loro orientamento tende a riflettere le direzioni principali delle sollecitazioni che attraversano un tessuto.

Un tessuto sottoposto prevalentemente a trazione longitudinale sviluppa una disposizione differente rispetto a un tessuto sottoposto a forze multidirezionali.

La struttura microscopica conserva una sorta di memoria delle richieste meccaniche.

Il corpo modifica progressivamente la propria architettura sulla base degli stimoli ricevuti.

Questo principio accomuna tessuto connettivo, osso e altre strutture sottoposte a carico.

Adattamento della matrice

La matrice extracellulare viene costantemente prodotta, modificata e degradata.

Le cellule del tessuto connettivo partecipano a questo processo attraverso la sintesi di collagene, elastina, proteoglicani e altre molecole.

Le forze meccaniche influenzano tale attività.

Un carico adeguato può favorire il mantenimento della struttura mentre una riduzione prolungata dello stimolo può contribuire a un adattamento verso una minore capacità funzionale.

Anche il sovraccarico può determinare alterazioni.

L'effetto dipende dall'intensità, dalla durata, dalla frequenza e dalla direzione delle sollecitazioni.

Il tessuto non reagisce semplicemente alla presenza di una forza perché esso reagisce alla qualità complessiva dello stimolo meccanico.

Matrice e movimento

Ogni movimento deforma in qualche misura la matrice extracellulare.

Questa deformazione consente di accumulare, trasferire o dissipare energia.

Un tendine può accumulare energia elastica durante una fase del movimento e restituirne una parte nella fase successiva.

La fascia può redistribuire tensioni tra segmenti differenti.

La cartilagine può assorbire e distribuire pressioni.

La matrice costituisce una componente attiva della locomozione.

La funzione del sistema muscoloscheletrico dipende anche dalla capacità dei tessuti connettivi di deformarsi senza perdere integrità.

La MEC come interfaccia tra meccanica e biologia

Il movimento produce forze.

Le forze deformano i tessuti.

La deformazione modifica la matrice.

La matrice trasmette segnali alle cellule.

Le cellule modificano a loro volta la matrice.



Questa sequenza crea un circuito di adattamento continuo.

La biomeccanica non deve quindi essere separata dalla biologia cellulare.

Ogni cambiamento meccanico può infatti diventare un segnale biologico.

Il corpo risponde alle forze modificando progressivamente la propria struttura.

Cane e uomo condividono lo stesso principio di continuità

La struttura anatomica del cane e quella dell'uomo presentano differenze evidenti ma entrambe utilizzano una rete connettivale continua.

Nel cane questa rete deve coordinare una locomozione quadrupede nella quale le forze attraversano arti posteriori, bacino, rachide, cintura scapolare e arti anteriori.

Nell'uomo la rete deve invece integrare piede, arto inferiore, bacino, rachide e arti superiori all'interno di una struttura bipede.

Le differenze geometriche cambiano i percorsi prevalenti delle tensioni.

Il principio generale rimane però comune: **il corpo distribuisce le forze attraverso una rete continua.**

La matrice non può essere separata dalla funzione

Una matrice sana deve possedere caratteristiche meccaniche adeguate al compito richiesto.

Una struttura eccessivamente rigida può ridurre la capacità di adattamento.

Una struttura eccessivamente cedevole può invece perdere capacità di trasferire efficacemente le forze.

L'efficienza dipende da un equilibrio tra resistenza, elasticità e capacità di deformazione.

Questo equilibrio varia da tessuto a tessuto.

Un tendine, una fascia, una cartilagine e un legamento devono rispondere a richieste differenti.

La qualità della matrice determina in parte la qualità del movimento.

Quando la matrice cambia, cambia anche il movimento

Alterazioni della matrice extracellulare possono modificare la mobilità, la trasmissione delle forze e la qualità della risposta meccanica.

Le modificazioni della MEC possono accompagnare numerosi quadri patologici e coinvolgere processi ossidativi, metalloproteasi e danno matriciale.

In questa guida il punto biomeccanico più importante consiste nel riconoscere che un tessuto alterato modifica anche la distribuzione delle forze.

Il movimento può cambiare non soltanto perché un muscolo è debole oppure perché un'articolazione presenta una limitazione ma anche perché il mezzo connettivale attraverso il quale le forze vengono trasmesse ha modificato le proprie proprietà.

Dal tessuto alla rete

Il concetto di matrice extracellulare porta quindi a una conclusione fondamentale.



Il corpo non può essere analizzato come una somma di componenti indipendenti.

Ogni segmento partecipa a una rete.

La contrazione di un muscolo produce tensioni locali ma queste tensioni entrano immediatamente in relazione con strutture connettivali più ampie.

Il movimento è una proprietà dell'intero sistema.

Questo principio costituisce la base per comprendere la fascia e la tensegrità.

Take home message

La matrice extracellulare non rappresenta un semplice riempimento tra le cellule.

Essa costituisce una rete biologicamente attiva che sostiene i tessuti, distribuisce le forze e partecipa alla comunicazione meccanica tra ambiente e cellula.

La qualità del movimento dipende quindi anche dalle caratteristiche del sistema connettivo.

Cane e uomo utilizzano architetture locomotorie differenti ma condividono lo stesso principio fondamentale: **le forze vengono distribuite attraverso una rete continua.**

Fermati un attimo

Quando un muscolo si contrae, possiamo immaginare che la forza passi semplicemente dal muscolo al tendine e dal tendine all'osso.

Il corpo reale è più complesso.

La tensione coinvolge anche epimisio, fascia, setti connettivali, matrice extracellulare e strutture circostanti.

Ogni movimento modifica una rete.

La domanda non è soltanto dove nasce la forza ma anche attraverso quali tessuti quella forza viene distribuita.

Messaggi chiave

- La matrice extracellulare costituisce l'ambiente strutturale e funzionale delle cellule.
- Collagene, elastina, proteoglicani e glicosaminoglicani contribuiscono alle proprietà meccaniche dei tessuti.
- La MEC partecipa alla trasmissione delle forze.
- Le cellule possono trasformare gli stimoli meccanici in risposte biologiche attraverso la meccano-trasduzione.
- Il tessuto connettivo forma una rete continua che collega strutture differenti.
- La fascia è una componente fondamentale di questa rete.
- L'acqua contribuisce alle proprietà viscoelastiche e alla distribuzione dei carichi.
- Il collagene tende ad adattare il proprio orientamento alle sollecitazioni meccaniche.
- La matrice si modifica nel tempo in relazione al carico.

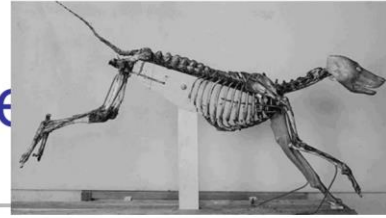


Le Guide Love Your Life

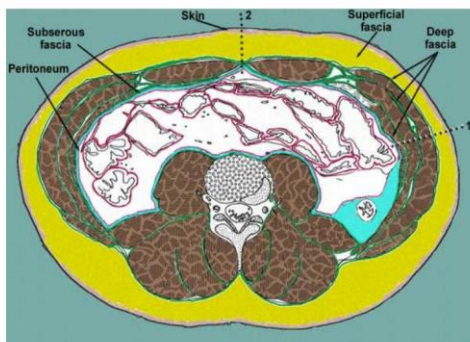
- Un'alterazione delle proprietà della MEC può modificare anche la qualità del movimento.

Capitolo 5 — La fascia

Fascia connettivale



Sistema formato da tutti i tessuti fibrosi corporei strutturabile in cilindri interconnessi e interposti



Fascia superficiale
Fascia profonda
Fascia muscolare
Fascia viscerale
Fascia meningeale

www.giovannichetta.it

Figura — Le principali componenti del sistema fasciale.

Una rete che attraversa tutto il corpo

La fascia appartiene al sistema connettivo e forma una rete continua che attraversa l'intero organismo. Essa avvolge, separa, collega e sostiene muscoli, organi, vasi, nervi e differenti compartimenti anatomici.

La fascia non è una semplice pellicola di rivestimento. Essa partecipa alla trasmissione delle tensioni, alla distribuzione dei carichi, alla coordinazione del movimento e alla percezione del corpo.

Questa continuità permette a una forza applicata in una determinata regione di produrre conseguenze anche in zone relativamente lontane.

Il movimento locale deve essere interpretato all'interno di una rete più ampia.

Questo principio è particolarmente rilevante nella biomeccanica comparata perché il cane e l'uomo possiedono geometrie corporee differenti ma utilizzano entrambi il sistema fasciale per collegare e coordinare i diversi segmenti.

Le principali componenti del sistema fasciale

Il sistema fasciale può essere distinto in differenti livelli:

- fascia superficiale;
- fascia profonda;
- fascia muscolare;



- fascia viscerale;
- fascia meningea.

Queste suddivisioni sono utili sul piano anatomico ma non devono far pensare a strutture completamente indipendenti.

Le differenti fasce mantengono rapporti di continuità reciproca.

La fascia superficiale si trova in rapporto con il tessuto sottocutaneo e accompagna numerose strutture vascolari e nervose.

La fascia profonda riveste e organizza i compartimenti muscolari.

La fascia muscolare entra in continuità con epimisio, perimisio ed endomisio.

La fascia viscerale sostiene e collega gli organi interni.

La fascia meningea appartiene invece al sistema di rivestimento e sostegno del sistema nervoso centrale.

La continuità tra questi compartimenti permette al sistema connettivo di funzionare come una rete.

La fascia superficiale

La fascia superficiale occupa una posizione relativamente vicina alla cute e si integra con il tessuto sottocutaneo.

Essa permette lo scorrimento tra cute e piani profondi e contribuisce alla mobilità reciproca dei diversi strati.

Questa regione contiene inoltre vasi, terminazioni nervose e componenti adipose.

La capacità di scorrimento rappresenta una proprietà biomeccanica importante perché i tessuti devono potersi deformare reciprocamente durante il movimento.

Una riduzione dello scorrimento può modificare la distribuzione delle tensioni e limitare la mobilità locale.

La fascia superficiale partecipa alla capacità dell'organismo di adattarsi alle deformazioni.

La fascia profonda

La fascia profonda forma rivestimenti più densi intorno ai muscoli e ai gruppi muscolari.

Essa crea setti, compartimenti e continuità con tendini e aponeurosi.

Queste strutture contribuiscono a orientare e trasferire le tensioni prodotte durante la contrazione muscolare.

La fascia profonda possiede quindi un ruolo meccanico rilevante.

Un muscolo che si contrae modifica infatti non soltanto la tensione del proprio tendine ma anche la tensione delle strutture fasciali connesse.

La forza non segue quindi un unico percorso lineare.

Essa può distribuirsi attraverso molteplici vie.

La fascia muscolare

La fascia muscolare rappresenta uno dei livelli nei quali è più evidente l'integrazione tra muscolo e tessuto connettivo.

La fascia epimisiale rappresenta un'estensione fibroelastica della fascia profonda che riveste il singolo muscolo e continua in profondità con il perimisio e l'endomisio.

L'epimisio avvolge il muscolo.

Il perimisio organizza i fascicoli muscolari.

L'endomisio circonda invece le singole fibre.

Questa organizzazione crea una continuità dal livello macroscopico fino al livello microscopico.

La forza sviluppata dalle fibre muscolari può essere trasferita attraverso differenti componenti del sistema connettivo.

Il muscolo non rappresenta pertanto un motore separato dal proprio involucro.

Muscolo e fascia costituiscono un'unità funzionale.

Il muscolo non lavora isolatamente

La rappresentazione classica del movimento tende spesso a descrivere un muscolo che si contrae e muove un osso attraverso il proprio tendine.

Questo modello conserva una grande utilità didattica ma descrive soltanto una parte del fenomeno.

La contrazione modifica anche la forma del ventre muscolare e genera pressioni e tensioni nel tessuto circostante.

Le strutture fasciali ricevono queste deformazioni e possono redistribuirle.

Il risultato biomeccanico dipende dall'interazione tra fibre muscolari, tessuto connettivo intramuscolare, fascia profonda e strutture vicine.

Questa relazione spiega perché una modifica della mobilità fasciale possa alterare anche la qualità di un movimento apparentemente governato da un singolo muscolo.

Dalle singole unità alle catene miofasciali

La continuità del sistema fasciale permette di organizzare sequenze funzionali tra muscoli differenti.

Il sistema connettivo può essere interpretato come una rete fibrosa ubiquitaria che, insieme ai muscoli, forma catene miofasciali flessibili capaci di agire sulle strutture ossee.

Il concetto di catena miofasciale non implica che ogni forza percorra sempre una traiettoria fissa.

Il sistema utilizza invece connessioni multiple e può modificare il percorso prevalente delle tensioni in relazione al gesto, alla postura e al carico.

Una stessa struttura può partecipare a differenti configurazioni funzionali.

Questa capacità aumenta la flessibilità del sistema.



La fascia e la trasmissione delle forze

La fascia trasmette tensioni perché possiede continuità strutturale e proprietà meccaniche.

Quando una regione viene deformata, una parte della tensione può propagarsi ai tessuti collegati.

La quantità e la direzione della trasmissione dipendono dalla geometria delle fibre, dalla rigidità del tessuto, dal grado di tensione iniziale e dalla presenza di eventuali vincoli.

La trasmissione fasciale non deve quindi essere interpretata come un trasferimento uniforme della forza a tutto il corpo.

Essa rappresenta piuttosto una distribuzione modulata dalla struttura della rete.

Il movimento modifica in modo continuo questa distribuzione.

Pretensione e comportamento della rete

Una rete fasciale possiede una certa tensione di base.

Questa pretensione contribuisce alla forma e alla stabilità del sistema.

La modifica della tensione in una regione può cambiare la risposta meccanica di altre regioni.

Questo principio verrà approfondito nel capitolo dedicato ai miofibroblasti e nel capitolo sulla tensegrità.

La pretensione non deve essere confusa con una contrazione muscolare permanente.

Essa è una proprietà complessiva del sistema connettivo e muscolare.

Un certo livello di tensione permette infatti alle strutture di rispondere rapidamente alle forze.

Una tensione eccessiva può invece ridurre la capacità di deformazione e aumentare la rigidità.

La fascia e lo scorrimento

Il movimento richiede che differenti strati tissutali possano scorrere gli uni rispetto agli altri.

Muscoli adiacenti devono modificare reciprocamente la propria posizione.

La cute deve scorrere sui piani profondi.

Le fasce devono adattarsi alle deformazioni prodotte dalle articolazioni.

Gli organi devono poter modificare leggermente la propria posizione durante respirazione e movimento.

La qualità dello scorrimento è una proprietà fondamentale.

Una riduzione dello scorrimento può costringere il sistema a trasferire tensioni attraverso percorsi differenti.

Il corpo può compensare temporaneamente questa condizione ma una compensazione prolungata può modificare la strategia motoria.

La fascia viscerale

Gli organi interni non sono sospesi liberamente all'interno delle cavità corporee.

Essi possiedono connessioni con strutture fasciali, legamentose e connettivali che ne consentono sostegno e mobilità.



Gli organi possiedono un proprio movimento e mantengono una relazione continua con la fascia.

La respirazione produce un esempio evidente di questa relazione.

Il movimento del diaframma modifica le pressioni toraciche e addominali e produce spostamenti degli organi.

Le strutture fasciali devono adattarsi continuamente a tali variazioni.

Il sistema viscerale partecipa alla dinamica complessiva del tronco.

Fascia e respirazione

La respirazione modifica continuamente la forma del torace e dell'addome.

Il diaframma scende durante l'inspirazione e risale durante l'espirazione.

Questi movimenti modificano pressioni interne e tensioni fasciali.

Il diaframma è il principale muscolo respiratorio e influenza anche la postura e i rapporti con gli organi toracici e addominali.

Respirazione e postura non sono due fenomeni indipendenti.

Ogni ciclo respiratorio produce una piccola modificazione dell'organizzazione meccanica del tronco.

Questa relazione diventa particolarmente importante quando il movimento richiede stabilizzazione o variazioni rapide della pressione interna.

Fascia e sistema nervoso

La fascia possiede una ricca innervazione sensoriale.

Essa contiene differenti tipologie di meccanorecettori e numerose terminazioni nervose interstiziali.

Il sistema fasciale non trasmette soltanto forze.

Esso trasmette anche informazioni.

Le deformazioni del tessuto modificano l'attività dei recettori e forniscono al sistema nervoso dati sulla tensione e sul movimento.

La fascia partecipa alla costruzione della propriocezione.

Questo aspetto verrà approfondito nel capitolo successivo.

La fascia nel cane

Nel cane la fascia deve integrare un corpo quadrupede nel quale le forze vengono distribuite tra arti posteriori, bacino, rachide, torace, cintura scapolare e arti anteriori.

La posizione prevalentemente orizzontale del tronco modifica la geometria delle tensioni rispetto all'uomo.

La regione toracolombare ha un ruolo particolarmente importante perché collega funzionalmente il bacino al tronco.

La cintura scapolare possiede inoltre una caratteristica specifica.



La scapola non presenta infatti un'articolazione ossea diretta con il torace e rimane sospesa attraverso strutture muscolo-fasciali.

Questa organizzazione rende il sistema fasciale particolarmente importante nella connessione tra arto anteriore e tronco.

La fascia nell'uomo

Nell'uomo la fascia integra una struttura bipede prevalentemente verticale.

Le forze provenienti dal terreno attraversano il piede e l'arto inferiore e raggiungono il bacino e il tronco.

La fascia partecipa alla distribuzione di queste tensioni e collega funzionalmente regioni distanti.

Il movimento degli arti superiori, le rotazioni del tronco e le oscillazioni del bacino modificano costantemente la tensione della rete.

La fascia deve quindi adattarsi alle rotazioni caratteristiche della locomozione bipede.

Una differenza importante tra cane e uomo

Nel cane il sistema fasciale deve integrare due cingoli con caratteristiche strutturali molto differenti.

Il cingolo pelvico possiede una connessione ossea con il rachide mentre la cintura scapolare utilizza una sospensione muscolo-fasciale.

Nell'uomo il cingolo pelvico mantiene la funzione di collegamento tra arti portanti e rachide mentre gli arti superiori non partecipano normalmente all'appoggio locomotorio.

Questa differenza modifica profondamente i percorsi delle forze.

Il sistema fasciale partecipa in entrambe le specie alla continuità biomeccanica ma la geometria della rete non è la stessa.

Fascia e adattamento

La fascia modifica le proprie caratteristiche in relazione agli stimoli meccanici.

La direzione, la durata e l'intensità delle tensioni influenzano l'organizzazione delle fibre collagene.

Un movimento variabile sottopone il sistema a sollecitazioni differenti.

Una postura mantenuta a lungo produce invece tensioni relativamente costanti.

La fascia deve adattarsi in modo continuo al modo in cui il corpo viene utilizzato.

L'adattamento può risultare funzionale quando migliora la capacità del sistema di rispondere alle richieste.

Lo stesso adattamento può diventare limitante quando una configurazione viene mantenuta troppo a lungo e riduce la variabilità disponibile.

La rigidità non equivale alla stabilità

Una fascia più rigida non produce necessariamente un sistema più stabile.

La stabilità biologica richiede infatti capacità di deformazione e ritorno, distribuzione delle tensioni e adattamento rapido.



Una rete eccessivamente rigida può trasferire le sollecitazioni senza assorbirle adeguatamente.

Una rete troppo cedevole può invece ridurre l'efficacia della trasmissione delle forze.

Il sistema necessita quindi di un equilibrio tra tensione, elasticità e mobilità.

Questa relazione costituisce uno dei presupposti della tensegrità biologica.

Dal sistema fasciale alla tensegrità

La fascia permette di superare definitivamente l'idea di un corpo formato da pezzi indipendenti.

Le ossa rappresentano elementi relativamente rigidi.

I muscoli generano tensione.

Le strutture fasciali collegano e distribuiscono le forze.

Il corpo forma quindi una rete nella quale elementi differenti collaborano per mantenere forma e movimento.

Il concetto di tensegrità descrive proprio un sistema nel quale tensione e compressione partecipano insieme alla stabilità globale.

Prima di affrontare questo modello dobbiamo però comprendere un'altra caratteristica fondamentale della fascia: **la fascia non è soltanto struttura meccanica perché essa rappresenta anche un grande organo sensoriale.**

Questo sarà il tema del prossimo capitolo.

Take home message

La fascia forma una rete continua che collega muscoli, ossa, organi e differenti compartimenti corporei.

Essa non rappresenta un semplice rivestimento perché partecipa alla trasmissione delle forze, allo scorrimento dei tessuti, alla distribuzione delle tensioni e alla percezione del movimento.

Il cane e l'uomo condividono questo principio ma utilizzano il sistema fasciale all'interno di architetture locomotorie differenti.

Nel cane acquista particolare rilievo la sospensione muscolo-fasciale della cintura scapolare mentre nell'uomo la rete fasciale deve integrare soprattutto la locomozione bipede e le rotazioni tra piede, bacino e tronco.

Fermati un attimo

Immagina di tirare un punto di una rete elastica.

La deformazione non interessa soltanto il punto che hai afferrato.

La tensione cambia anche nelle zone circostanti e la forma dell'intera rete si modifica.

Il sistema fasciale utilizza un principio simile ma possiede una complessità enormemente maggiore.

Quando un muscolo si contrae, una zampa appoggia al terreno oppure il bacino ruota, il resto del corpo non rimane completamente estraneo alla forza prodotta.

Il corpo non muove pezzi isolati: esso modifica continuamente la tensione di una rete.



Messaggi chiave

- La fascia appartiene al sistema connettivo e forma una rete continua.
- Fascia superficiale, profonda, muscolare, viscerale e meningeo rappresentano differenti componenti dello stesso sistema.
- Epimisio, perimisio ed endomisio collegano il muscolo alla rete connettivale.
- Il muscolo e la fascia costituiscono un'unità funzionale.
- Le tensioni possono distribuirsi attraverso più percorsi fasciali.
- Lo scorrimento tra differenti piani tissutali rappresenta una componente fondamentale del movimento.
- La fascia viscerale collega il movimento degli organi alla dinamica del tronco.
- Respirazione e sistema fasciale interagiscono continuamente.
- Nel cane la sospensione muscolo-fasciale della scapola rappresenta una caratteristica biomeccanica fondamentale.
- La fascia possiede anche una funzione sensoriale e partecipa alla propriocezione.
- La stabilità fasciale richiede un equilibrio tra tensione, elasticità e capacità di deformazione.
- Il sistema fasciale prepara il terreno concettuale per comprendere la tensegrità.

Capitolo 6 — Fascia, sistema nervoso e propriocezione

Meccanorecettori Fasciali

	Responsiveness to manipulation	Results of stimulation
 Golgi	Probably only responsive to muscular contraction or to very strong manipulation.	Tonus decrease in related striated motor fibers.
 Pacini	Only responsive to high velocity or vibratory techniques	Increased local proprioceptive attention
 Ruffini	Specially responsive to lateral stretch	- Increased local proprioceptive attention - Inhibition of sympathetic activity
 Interstitial	50% of these are high threshold pressure units (HTP) - Other 50% are sensitive to low pressure (LTP)	- Increased local proprioceptive attention - Increase in vasodilation and respiration - Stimulation of HTP may produce pain and increase plasma extravasation

www.giovannichetta.it

Figura — Meccanorecettori fasciali e informazione propriocettiva.

Il movimento deve essere sentito prima di poter essere controllato

Un organismo può controllare efficacemente il proprio movimento soltanto se riceve informazioni continue su ciò che sta accadendo all'interno e all'esterno del corpo.

Il sistema nervoso deve conoscere la posizione dei segmenti corporei, la tensione dei tessuti, il grado di allungamento muscolare, la velocità del movimento, la pressione esercitata sul terreno e le accelerazioni della testa.

Queste informazioni provengono da numerosi sistemi sensoriali che lavorano contemporaneamente.

La propriocezione è una componente fondamentale di questa rete perché informa il sistema nervoso sulla posizione e sul movimento del corpo.

La fascia partecipa a questo processo attraverso la propria ricca innervazione sensoriale.

La rete fasciale non costituisce soltanto un sistema capace di trasmettere tensioni perché essa rappresenta anche una grande superficie di raccolta delle informazioni meccaniche.

Che cosa significa propriocezione

La propriocezione permette all'organismo di percepire la posizione e il movimento dei propri segmenti corporei senza doverli necessariamente osservare.

Una persona può chiudere gli occhi e sapere approssimativamente dove si trova la propria mano.

Un cane può modificare la posizione di una zampa durante la corsa senza controllarne visivamente ogni movimento.

Questa capacità deriva dall'integrazione di segnali provenienti da differenti recettori.

I principali sistemi coinvolti comprendono:

- fusi neuromuscolari;
- organi muscolo-tendinei del Golgi;
- recettori articolari;
- meccanorecettori cutanei;
- recettori fasciali;
- terminazioni nervose interstiziali.

La propriocezione non appartiene a un singolo recettore.

Essa deriva dall'elaborazione integrata di molteplici informazioni.

I fusi neuromuscolari

I fusi neuromuscolari si trovano all'interno dei muscoli e forniscono informazioni sulla lunghezza muscolare e sulle sue variazioni.

Quando un muscolo viene allungato, i fusi modificano la propria attività e inviano segnali al sistema nervoso.

Queste informazioni contribuiscono alla regolazione del tono e alla risposta riflessa allo stiramento.

Il fuso non comunica quindi soltanto la posizione finale del muscolo perché esso informa anche sulla velocità con la quale la lunghezza sta cambiando.

Questa caratteristica è particolarmente rilevante nei movimenti rapidi.

Un cane che appoggia improvvisamente una zampa su una superficie irregolare deve modificare in tempi estremamente brevi la risposta muscolare.

Anche l'uomo utilizza costantemente questo sistema durante la locomozione.

Gli organi muscolo-tendinei del Golgi

Gli organi muscolo-tendinei del Golgi si trovano principalmente nelle zone di transizione tra muscolo e tendine e rispondono alle variazioni di tensione.

Essi forniscono quindi informazioni differenti rispetto ai fusi neuromuscolari.

Il sistema nervoso riceve attraverso questi recettori indicazioni sulla tensione sviluppata dal complesso muscolo-tendineo.

Queste informazioni contribuiscono alla regolazione della forza e alla coordinazione del movimento.

Il controllo motorio necessita infatti di conoscere non soltanto quanto un muscolo sia allungato ma anche quanta tensione esso stia sviluppando.

Fusi neuromuscolari e organi del Golgi costituiscono sistemi complementari.



La fascia modifica anche l'informazione propriocettiva

La fascia muscolare mantiene rapporti diretti con i fusi neuromuscolari e con gli organi muscolo-tendinei del Golgi.

Questa relazione possiede una conseguenza importante.

Una modificazione delle proprietà meccaniche della fascia può cambiare il modo attraverso il quale una deformazione raggiunge i recettori sensoriali.

La propiocezione dipende quindi non soltanto dalla presenza dei recettori ma anche dal mezzo meccanico nel quale essi sono inseriti.

Una fascia capace di deformarsi e scorrere adeguatamente trasmette uno schema di sollecitazioni differente rispetto a un tessuto molto rigido o retratto.

Il controllo motorio dipende anche dalla qualità meccanica del sistema connettivo.

I meccanorecettori fasciali

La fascia possiede numerose terminazioni nervose sensibili alla deformazione meccanica.

I meccanorecettori fasciali e i recettori interstiziali svolgono un ruolo importante nella percezione meccanica dei tessuti.

Questi recettori possono rispondere a compressione, tensione, stiramento oppure variazioni della pressione locale.

Il sistema nervoso riceve informazioni che descrivono lo stato meccanico dei tessuti.

Queste informazioni contribuiscono alla percezione della posizione corporea e alla regolazione della risposta motoria.

La fascia rappresenta pertanto una struttura contemporaneamente meccanica e sensoriale.

I recettori interstiziali

Le terminazioni nervose interstiziali sono molto diffuse nei tessuti.

Queste terminazioni costituiscono una popolazione particolarmente numerosa e in gran parte dotata di sensibilità meccanica.

Questi recettori partecipano alla rilevazione delle deformazioni locali e contribuiscono all'informazione afferente proveniente dai tessuti.

Il loro ruolo non deve essere ridotto alla semplice propiocezione cosciente.

Una parte delle informazioni sensoriali viene utilizzata automaticamente dal sistema nervoso per modificare tono muscolare, postura, risposta autonoma e controllo del movimento.

Il corpo può reagire a una deformazione prima che il soggetto ne diventi pienamente consapevole.

Ruffini e Pacini

Tra i recettori meccanici associati ai tessuti connettivi vengono tradizionalmente considerati anche i corpuscoli di Ruffini e di Pacini.

I recettori di Ruffini rispondono soprattutto a deformazioni relativamente lente e prolungate.



I corpuscoli di Pacini sono invece particolarmente sensibili a variazioni rapide e vibrazioni.

Questa diversità permette al sistema nervoso di ricevere informazioni su differenti caratteristiche dello stimolo meccanico.

Un sistema sensoriale efficiente non deve infatti conoscere soltanto quanto un tessuto si deforma perché deve anche sapere con quale velocità e secondo quale andamento temporale avviene la deformazione.

La dimensione temporale ritorna quindi anche a livello recettoriale.

Il corpo possiede una rete sensoriale distribuita

La proprioccezione viene talvolta descritta come se appartenesse esclusivamente ai muscoli e alle articolazioni.

Il corpo utilizza invece una rete sensoriale molto più distribuita.

Cute, fascia, muscoli, tendini, articolazioni e periostio contribuiscono alla raccolta delle informazioni meccaniche.

Le informazioni provenienti da questi sistemi vengono integrate con quelle visive e vestibolari.

Il sistema nervoso costruisce la rappresentazione del corpo attraverso la convergenza di molteplici sorgenti.

La qualità del controllo motorio dipende dall'affidabilità di questa integrazione.

Il sistema vestibolare

L'apparato vestibolare rileva accelerazioni e variazioni dell'orientamento della testa.

Queste informazioni sono fondamentali per il controllo dell'equilibrio.

Il sistema vestibolare non lavora isolatamente perché il cervello confronta in modo continuo i suoi segnali con quelli provenienti dagli occhi e dal sistema somatosensoriale.

Quando la testa accelera, il sistema vestibolare contribuisce a modificare la risposta posturale e il controllo dello sguardo.

Questo principio vale sia per l'uomo sia per il cane.

La stabilizzazione della testa osservata nelle rappresentazioni dello Spine Engine assume anche un significato sensoriale.

Una testa sufficientemente controllata permette agli occhi e all'apparato vestibolare di fornire informazioni più stabili sul movimento del corpo nello spazio.

Il sistema visivo

La visione permette di anticipare numerose caratteristiche dell'ambiente.

L'uomo può osservare un ostacolo e preparare il passo prima di raggiungerlo.

Il cane può modificare la propria traiettoria prima di entrare in contatto con una superficie o con un oggetto.

Il sistema visivo partecipa soprattutto alla componente anticipatoria del controllo motorio.

La visione non sostituisce però la proprioccezione.



Un soggetto che dipende eccessivamente dall'informazione visiva può mostrare maggiori difficoltà quando la visione viene ridotta.

Un sistema efficiente deve quindi integrare informazioni visive, vestibolari e somatosensoriali.

L'esterocezione

L'esterocezione raccoglie informazioni provenienti dall'ambiente attraverso cute e strutture sensoriali periferiche.

La pressione esercitata dal terreno offre un esempio biomeccanicamente fondamentale.

Il piede umano riceve continuamente informazioni sulla superficie di appoggio.

Le zampe del cane svolgono una funzione analoga.

Una modifica del terreno cambia infatti immediatamente la distribuzione delle pressioni e produce una nuova risposta motoria.

Il contatto con il terreno possiede una doppia funzione.

Il corpo trasferisce forza al suolo ma contemporaneamente riceve informazioni dal suolo.

Il terreno è contemporaneamente supporto e sensore

La relazione con il terreno non deve essere interpretata esclusivamente in termini meccanici.

Ogni appoggio rappresenta anche un evento sensoriale.

Pressione, consistenza, inclinazione, temperatura e attrito modificano il segnale proveniente dalla superficie di contatto.

Il sistema nervoso utilizza queste informazioni per adattare la rigidità dell'arto, la posizione articolare e la distribuzione del peso.

Il terreno entra nel circuito del controllo motorio.

Un passo su una superficie stabile produce una risposta differente rispetto allo stesso passo su una superficie instabile.

L'organismo modifica il movimento perché modifica l'informazione disponibile.

Il sistema dell'equilibrio è un sistema integrato

Il controllo dell'equilibrio deriva dall'interazione tra sistema nervoso, sistema uditivo-vestibolare, sistema oculare, esterocettori, propriocettori e sistema miofasciale.

Questa impostazione aiuta a comprendere perché l'equilibrio non possa essere attribuito a una singola struttura.

Il cervello riceve segnali provenienti da sistemi differenti e deve stabilire quali informazioni siano più affidabili in una determinata situazione.

Su un terreno stabile può aumentare il peso dell'informazione somatosensoriale.

In condizioni di scarsa visibilità il sistema deve invece utilizzare maggiormente segnali vestibolari e propriocettivi.



L'equilibrio costituisce un processo di integrazione e ricalibrazione continua.

Il controllo riflesso

Una parte del controllo motorio avviene attraverso circuiti riflessi.

I livelli superiori del sistema nervoso inviano comandi generali mentre i meccanismi riflessi contribuiscono alla loro esecuzione specifica.

Questo principio consente di ridurre il carico necessario al controllo cosciente del movimento.

Il cervello non deve infatti decidere volontariamente l'attività di ogni singola unità motoria.

Una parte delle regolazioni viene gestita attraverso circuiti spinali e sottocorticali.

Il movimento volontario utilizza una grande quantità di automatismi.

Riflessi e adattamento al terreno

I riflessi sono particolarmente rilevanti quando il corpo incontra una perturbazione inattesa.

Una variazione improvvisa dell'appoggio produce segnali sensoriali che possono modificare rapidamente il tono muscolare.

Questa risposta permette di limitare la perdita di equilibrio.

Nel cane il fenomeno deve essere coordinato tra quattro arti e rachide.

Nell'uomo il controllo deve invece mantenere la progressione su una base bipede più ridotta.

Le strategie differiscono ma il principio rimane comune: il sistema sensoriale rileva la perturbazione e il sistema motorio modifica rapidamente la risposta.

Feedback propriocettivo e movimento automatico

Il feedback propriocettivo permette al sistema nervoso di confrontare il movimento programmato con quello effettivamente realizzato.

Quando compare una differenza, il sistema può produrre una correzione.

La correzione non richiede necessariamente consapevolezza.

Molti aggiustamenti avvengono infatti prima che il soggetto percepisca coscientemente l'errore.

Questa velocità permette all'organismo di mantenere un movimento fluido.

Un controllo basato esclusivamente sulla coscienza sarebbe troppo lento per gestire una locomozione rapida.

Il cane e la propriocezione quadrupede

Nel cane il sistema nervoso deve conoscere continuamente la posizione di quattro arti rispetto al tronco.

La gestione diventa ancora più complessa quando cambia l'andatura.

Durante il passo, il trotto e il galoppo cambiano la sequenza degli appoggi e i tempi durante i quali ciascun arto sostiene il peso.

Il rachide modifica inoltre le proprie oscillazioni.



La propriocezione deve quindi integrare arti, bacino, colonna vertebrale, cintura scapolare, collo e testa.

La locomozione quadrupede richiede una coordinazione globale estremamente precisa.

L'uomo e la propriocezione bipede

Nell'uomo la propriocezione deve gestire una struttura prevalentemente verticale.

Il piede assume una funzione particolarmente importante perché è la principale interfaccia sensoriale con il terreno durante la stazione eretta e il cammino.

Le informazioni plantari vengono integrate con quelle provenienti da caviglia, ginocchio, anca, bacino e rachide.

L'apparato vestibolare e la visione contribuiscono contemporaneamente al mantenimento della verticalità.

La bipedia richiede un continuo controllo delle piccole oscillazioni posturali.

Movimento e qualità dell'informazione

La qualità del movimento dipende anche dalla qualità delle informazioni disponibili.

Un deficit sensoriale può infatti modificare il comportamento motorio anche quando forza muscolare e mobilità articolare sono sufficienti.

Il sistema nervoso tende in questi casi a utilizzare strategie compensatorie.

Una strategia frequente consiste nell'aumentare la rigidità.

Il corpo può ridurre i gradi di libertà per rendere il movimento più prevedibile.

Questa soluzione può essere utile nel breve periodo ma può diminuire l'adattabilità se viene mantenuta troppo a lungo.

L'efficienza motoria richiede una relazione equilibrata tra informazione e libertà di movimento.

Coordinazione significa gestione dell'informazione

La coordinazione non rappresenta semplicemente la capacità di muovere più segmenti contemporaneamente.

Essa rappresenta la capacità di organizzare il movimento secondo una sequenza spaziale e temporale efficace.

Il sistema nervoso deve selezionare quali muscoli attivare, con quale intensità e in quale momento.

Le informazioni propriocettive permettono di aggiornare costantemente questa sequenza.

La coordinazione dipende pertanto dalla qualità dell'integrazione sensoriale.

Un miglior controllo motorio non significa necessariamente produrre più forza.

Esso può significare utilizzare meglio la forza già disponibile.

Equilibrio, propriocezione e variabilità

Un sistema ben allenato non possiede una sola soluzione motoria.

Esso possiede differenti strategie che può utilizzare in relazione alle condizioni.



La propiocezione contribuisce a questa capacità perché informa in modo continuo il sistema nervoso sulle conseguenze di ogni strategia.

La variabilità motoria fisiologica rappresenta anche un'espressione della ricchezza dell'informazione sensoriale.

Un organismo capace di percepire piccole differenze può produrre risposte più raffinate.

La qualità della percezione e la qualità del movimento si influenzano quindi reciprocamente.

Allenare la propiocezione significa allenare il sistema

Forza e resistenza non sono sufficienti: l'allenamento dovrebbe sviluppare anche coordinazione, equilibrio e propiocezione.

Un esercizio propriocettivo non allena quindi un singolo recettore.

Esso modifica il modo in cui il sistema nervoso utilizza e integra informazioni provenienti da numerose strutture.

Terreni differenti, cambi di direzione, variazioni controllate dell'appoggio e compiti motori nuovi possono aumentare la richiesta di integrazione sensoriale.

Il principio deve però rispettare una progressione adeguata.

Una difficoltà troppo elevata può infatti produrre rigidità e strategie compensatorie invece di migliorare la qualità del controllo.

Dalla propiocezione alla tensegrità

La fascia collega quindi due aspetti che spesso vengono studiati separatamente.

Essa partecipa alla trasmissione delle forze e contemporaneamente fornisce informazioni sulle deformazioni prodotte da quelle stesse forze.

La rete meccanica e la rete sensoriale sono strettamente intrecciate.

Questo principio prepara il passaggio verso il concetto di tensegrità.

La tensegrità permetterà di osservare come una variazione locale di tensione possa modificare l'equilibrio dell'intera struttura.

Prima di affrontarla occorre però analizzare una proprietà particolare del sistema fasciale: la capacità di modificare attivamente la propria tensione attraverso l'azione dei miofibroblasti.

Take home message

La propiocezione non appartiene a un singolo organo sensoriale.

Essa nasce dall'integrazione di informazioni provenienti da muscoli, tendini, articolazioni, cute, fascia e altri tessuti e viene continuamente confrontata con i segnali visivi e vestibolari.

La fascia partecipa contemporaneamente alla meccanica e alla percezione del movimento.

Il sistema nervoso può controllare efficacemente il corpo soltanto quando riceve informazioni sufficientemente precise sulla sua posizione, sulle tensioni interne e sull'interazione con il terreno.



Fermati un attimo

Chiudi gli occhi e muovi lentamente una mano.

Tu sai dove si trova la mano anche se non la stai guardando.

Ora immagina lo stesso problema durante una corsa, mentre il terreno cambia, il rachide oscilla, il peso si sposta e numerose articolazioni modificano contemporaneamente la propria posizione.

Il sistema nervoso deve risolvere questo problema in ogni istante.

Nel cane il compito coinvolge quattro arti che cambiano continuamente funzione durante le diverse fasi dell'andatura.

Prima di controllare un corpo bisogna sapere costantemente dove si trova e che cosa gli sta accadendo.

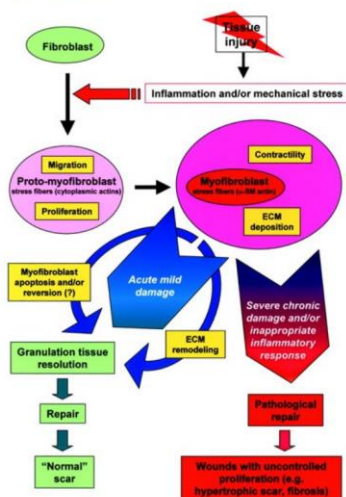
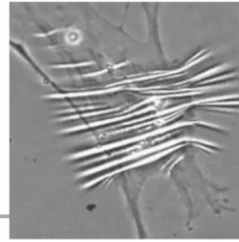
Messaggi chiave

- La propriocizione informa il sistema nervoso sulla posizione e sul movimento del corpo.
- Fusi neuromuscolari e organi muscolo-tendinei del Golgi forniscono informazioni complementari.
- La fascia possiede una ricca innervazione meccanocettiva.
- I recettori interstiziali partecipano alla raccolta delle informazioni provenienti dai tessuti.
- La qualità meccanica della fascia può influenzare anche la qualità dell'informazione sensoriale.
- Il sistema vestibolare informa sulle accelerazioni e sull'orientamento della testa.
- Il sistema visivo contribuisce soprattutto alla programmazione anticipatoria del movimento.
- L'appoggio al terreno rappresenta contemporaneamente un evento meccanico e sensoriale.
- Il controllo dell'equilibrio deriva dall'integrazione di molteplici sistemi.
- I riflessi permettono regolazioni rapide senza richiedere un controllo cosciente di ogni movimento.
- La coordinazione rappresenta anche una capacità di gestire efficacemente l'informazione.
- Cane e uomo utilizzano gli stessi principi sensoriali all'interno di organizzazioni locomotorie differenti.
- L'allenamento motorio dovrebbe sviluppare forza, resistenza, coordinazione, equilibrio e propriocizione.



Capitolo 7 — Miofibroblasti e pretensione fasciale

Miofibroblasti



Cellule con capacità contrattili simili alla muscolatura liscia che svolgono un ruolo importante nella guarigione delle ferite, nella fibrosi dei tessuti e nelle contratture patologiche. Inoltre l'esistenza di nervi intrafasciali rende altamente probabile che attraverso tali cellule il sistema nervoso autonomo possa regolare una sorta di pre-tensione fasciale che interverrebbe come sistema accessorio per incrementare il tono muscolare

www.giovannichetta.it

Figura — Miofibroblasti e possibile ruolo nella pretensione fasciale.

La fascia non è completamente passiva

La fascia viene spesso descritta come una struttura capace di trasmettere e distribuire le tensioni prodotte dai muscoli. Questa descrizione è corretta ma non esaurisce il comportamento del tessuto connettivo.

Una parte delle cellule presenti nella fascia possiede infatti capacità contrattili.

I miofibroblasti rappresentano l'esempio più importante.

Queste cellule condividono alcune caratteristiche dei fibroblasti e della muscolatura liscia e possono modificare la tensione della matrice extracellulare.

La fascia non è soltanto una rete che subisce le forze prodotte altrove perché essa può contribuire direttamente alla regolazione del proprio stato meccanico.

Dal fibroblasto al miofibroblasto

Il fibroblasto rappresenta una delle principali cellule del tessuto connettivo.

Esso produce e modifica numerosi componenti della matrice extracellulare, tra cui collagene, proteoglicani e altre molecole strutturali.

In determinate condizioni il fibroblasto può acquisire caratteristiche contrattili più marcate e trasformarsi funzionalmente in miofibroblasto.

Il miofibroblasto sviluppa quindi una capacità di generare tensione all'interno della matrice.



Questa capacità acquista particolare rilievo durante i processi di guarigione.

Una ferita richiede che i margini del tessuto vengano gradualmente avvicinati.

I miofibroblasti contribuiscono a questa funzione producendo una contrazione lenta e prolungata della matrice.

Contrazione muscolare e contrazione miofibroblastica non sono la stessa cosa

La contrazione muscolare permette di sviluppare rapidamente forza e movimento.

La contrazione dei miofibroblasti presenta invece caratteristiche differenti.

Essa è generalmente più lenta e può essere mantenuta per periodi più lunghi.

Il sistema miofibroblastico non deve essere interpretato come un secondo sistema muscolare.

La sua funzione riguarda soprattutto la regolazione delle tensioni tissutali, il rimodellamento della matrice e la guarigione.

Questa distinzione è importante perché la tensione presente in un tessuto può derivare da componenti differenti.

Una parte può dipendere dall'attività muscolare mentre un'altra parte può dipendere dalle caratteristiche strutturali e cellulari della matrice.

Il concetto di pretensione

Una rete biologica non parte necessariamente da una condizione di completa assenza di tensione.

Il sistema fasciale possiede infatti una certa pretensione di base.

Questa condizione permette alla rete di rispondere rapidamente quando una forza esterna oppure una contrazione muscolare modifica il proprio equilibrio.

La pretensione può essere paragonata alla tensione già presente in una rete elastica prima che venga applicato un nuovo carico.

Se la rete fosse completamente flaccida, una parte dell'energia iniziale verrebbe utilizzata soltanto per tenderla.

Una rete già organizzata entro un livello fisiologico di tensione può invece trasmettere più rapidamente le variazioni meccaniche.

La pretensione contribuisce quindi alla prontezza del sistema.

Pretensione non significa rigidità

Il concetto di pretensione non deve essere confuso con quello di rigidità.

Una struttura può possedere una tensione di base e mantenere comunque una buona capacità di deformazione.

La fascia fisiologica deve poter trasmettere forze senza perdere la capacità di adattarsi.

Una tensione troppo bassa può ridurre l'efficienza della trasmissione.

Una tensione eccessiva può invece ridurre la mobilità e la capacità di assorbimento.



Il sistema deve mantenere un intervallo funzionale.

La biomeccanica dipende spesso proprio da questo equilibrio tra tensione e adattabilità.

Miofibroblasti e regolazione della matrice

I miofibroblasti svolgono un ruolo importante nella guarigione delle ferite, nella fibrosi e nelle contratture patologiche.

Questa osservazione mostra che la stessa capacità contrattile può assumere significati differenti.

Una risposta controllata può risultare utile durante la riparazione.

Una risposta persistente oppure eccessiva può invece contribuire all'aumento della rigidità tissutale.

La biologia non utilizza meccanismi completamente differenti per fisiologia e patologia.

Spesso lo stesso meccanismo diventa problematico quando cambia intensità, durata oppure contesto.

Il tessuto modifica il proprio stato meccanico

Quando una matrice viene sottoposta a tensioni persistenti, le cellule possono modificare la propria attività.

Il tessuto può aumentare la produzione di collagene, modificare l'organizzazione delle fibre e cambiare nel tempo le proprie proprietà meccaniche.

La tensione iniziale può generare un adattamento strutturale.

Questo adattamento modifica a sua volta il modo in cui le forze future attraversano il tessuto.

Si crea quindi un circuito:

carico → risposta cellulare → modifica della matrice → nuova risposta al carico

Il tessuto possiede una memoria meccanica relativa.

La struttura presente oggi riflette almeno in parte le sollecitazioni ricevute nel tempo.

Il ruolo del tempo

Il tempo è una variabile fondamentale.

Una deformazione breve e una deformazione mantenuta per molte ore non producono necessariamente la stessa risposta.

Il tessuto connettivo possiede infatti caratteristiche viscoelastiche e reagisce in modo differente in relazione alla durata dello stimolo.

Anche l'attività dei fibroblasti e dei miofibroblasti dipende dalla persistenza delle condizioni meccaniche.

Una postura mantenuta a lungo può avere conseguenze differenti rispetto a un movimento dinamico che attraversa la stessa posizione soltanto per pochi istanti.

La biomeccanica deve sempre considerare non soltanto quanto una struttura viene deformata ma anche per quanto tempo.



Movimento e pretensione fasciale

Il movimento modifica in modo continuo la tensione della rete fasciale.

Ogni rotazione del bacino, ogni oscillazione del rachide e ogni movimento degli arti cambia la distribuzione delle tensioni.

In condizioni fisiologiche queste variazioni sono dinamiche.

La rete viene caricata e scaricata continuamente.

Questa alternanza permette ai tessuti di modificare la propria forma e di distribuire le sollecitazioni.

Una riduzione prolungata della variabilità può invece mantenere alcune regioni costantemente sotto tensione mentre altre ricevono uno stimolo minore.

Il sistema fasciale può adattarsi alla strategia motoria utilizzata più frequentemente.

Postura e pretensione

La postura non è una forma immobile del corpo.

Essa rappresenta una configurazione dinamica mantenuta attraverso un certo equilibrio delle tensioni.

Il sistema muscolare partecipa direttamente a questo equilibrio ma anche la struttura connettivale contribuisce alla configurazione generale.

Una postura mantenuta ripetutamente può quindi influenzare nel tempo l'organizzazione della fascia.

Il corpo tende ad adattarsi alle richieste che riceve con maggiore frequenza.

Questo principio può essere vantaggioso perché permette di aumentare l'efficienza di gesti ripetuti.

La stessa specializzazione può però ridurre la capacità di adattarsi a configurazioni diverse.

Una rete adattativa può diventare una rete vincolante

L'adattamento possiede una doppia faccia.

Un tessuto che si modifica in risposta al carico aumenta la propria specificità funzionale.

Se però il carico diventa eccessivamente monotono, il tessuto può adattarsi a una gamma troppo ristretta di condizioni.

La rete può perdere parte della propria capacità di deformazione.

Questo principio permette di comprendere perché la varietà del movimento possieda un valore biologico.

Una fascia sottoposta a sollecitazioni diverse mantiene infatti una maggiore varietà di configurazioni disponibili.

Dal fisiologico al patologico

L'attività miofibroblastica è coinvolta anche nella fibrosi e nelle contratture patologiche.

La fibrosi è una condizione nella quale il tessuto connettivo aumenta e modifica la propria organizzazione.

Questa trasformazione può alterare le proprietà meccaniche del tessuto.



Una fascia più fibrotica può risultare meno deformabile e meno capace di scorrere rispetto ai piani circostanti.

La perdita di mobilità locale può modificare il movimento globale.

Il corpo può compensare la limitazione utilizzando regioni differenti.

La compensazione può permettere di mantenere inizialmente la funzione ma modifica la distribuzione delle forze.

Tensione fasciale e controllo nervoso

È stata inoltre proposta una possibile relazione tra innervazione fasciale, sistema nervoso autonomo e regolazione della pretensione attraverso i miofibroblasti.

Questo passaggio deve essere interpretato con prudenza.

Un'ipotesi interpretativa propone che il sistema nervoso autonomo possa contribuire alla regolazione della tensione fasciale attraverso l'influenza sulle cellule contrattili del tessuto.

La fascia è comunque strettamente collegata al sistema nervoso attraverso la propria innervazione sensoriale e attraverso le modificazioni del tono muscolare che accompagnano differenti stati autonomici.

Il rapporto tra stato nervoso e tensione corporea possiede quindi una base funzionale complessa.

Stress e tensione corporea

Uno stato di allerta modifica il comportamento motorio.

Il sistema nervoso può aumentare il tono di alcuni gruppi muscolari, ridurre la variabilità del movimento e predisporre il corpo a risposte rapide.

Se questa condizione rimane transitoria, essa svolge una funzione adattativa.

Se invece diventa persistente, la distribuzione delle tensioni può mantenersi alterata per periodi molto lunghi.

Il sistema connettivo viene esposto a un ambiente meccanico differente.

La risposta tissutale può progressivamente consolidare quella configurazione.

Il rapporto tra stato psico-neurovegetativo e struttura meccanica non deve essere interpretato come una separazione tra mente e corpo.

Entrambi partecipano allo stesso sistema biologico.

Il cane e la pretensione fasciale

Nel cane la pretensione fasciale deve adattarsi continuamente alla locomozione quadrupede.

Gli arti posteriori producono una parte importante della propulsione mentre il rachide trasferisce e coordina le oscillazioni.

La cintura scapolare sospesa muscolo-fascialmente deve contemporaneamente sostenere il tronco e consentire scorrimento.

La rete fasciale deve mantenere una tensione sufficiente a stabilizzare il sistema senza impedire le oscillazioni necessarie al movimento.



Una rigidità eccessiva potrebbe infatti limitare la capacità di deformazione del rachide o lo scorrimento della scapola.

Una tensione insufficiente potrebbe invece ridurre l'efficienza della trasmissione delle forze.

L'uomo e la pretensione fasciale

Nell'uomo il sistema fasciale deve mantenere un equilibrio all'interno di una struttura prevalentemente verticale.

La fascia contribuisce alla trasmissione delle tensioni tra piede, arti inferiori, bacino e tronco.

Le rotazioni del cammino modificano costantemente questa distribuzione.

La pretensione deve quindi essere sufficiente a sostenere e coordinare il sistema ma deve consentire allo stesso tempo la mobilità necessaria.

La stazione eretta prolungata e la riduzione della variabilità motoria possono modificare progressivamente la distribuzione delle tensioni.

Il ruolo della fascia toracolombare

La regione toracolombare è un punto particolarmente importante della rete.

Essa collega rachide, bacino e numerose strutture muscolari.

Nel cane questa regione partecipa alla trasmissione delle forze provenienti dagli arti posteriori e alla loro integrazione con il resto del tronco.

Nell'uomo essa partecipa invece alle relazioni tra bacino, tronco e rotazioni caratteristiche della locomozione bipede.

La fascia toracolombare verrà analizzata in modo specifico nei capitoli dedicati allo Spine Engine.

Per ora è sufficiente comprendere un principio fondamentale: la trasmissione efficace delle forze richiede una rete che possieda un adeguato stato di tensione.

La pretensione prepara il concetto di tensegrità

Il concetto di pretensione conduce direttamente alla tensegrità.

Una struttura di tensegrità mantiene la propria forma attraverso un equilibrio tra elementi sottoposti a compressione e una rete continua sottoposta a tensione.

Le ossa possono essere considerate, nel modello biomeccanico, elementi prevalentemente resistenti alla compressione.

La rete miofasciale rappresenta invece il sistema che distribuisce le tensioni.

La forma del corpo deriva dall'equilibrio dinamico tra queste componenti.

La pretensione permette alla rete di reagire immediatamente quando una forza esterna modifica il sistema.

Il corpo non deve ricostruire la stabilità partendo ogni volta da zero.

Esso mantiene una configurazione predisposta ad adattarsi.

Questo principio costituisce il cuore del prossimo capitolo.



Take home message

La fascia possiede una tensione di base che contribuisce alla stabilità e alla trasmissione delle forze.

I miofibroblasti rappresentano cellule con capacità contrattili che partecipano al rimodellamento della matrice e possono contribuire alla regolazione dello stato meccanico del tessuto.

La pretensione fisiologica non equivale alla rigidità.

Un sistema efficiente deve infatti mantenere abbastanza tensione da trasmettere le forze e abbastanza elasticità da adattarsi alle perturbazioni.

Fermati un attimo

Immagina due reti.

La prima rete è completamente flaccida.

La seconda rete possiede già una leggera tensione uniforme.

Se applichi la stessa forza a entrambe, la seconda rete trasmetterà immediatamente la variazione mentre la prima dovrà prima tendersi.

Il corpo utilizza un principio simile.

La fascia non parte da zero a ogni movimento.

Il sistema possiede già una tensione di base e il movimento modifica in modo continuo il modo in cui questa tensione viene distribuita.

Messaggi chiave

- I miofibroblasti possiedono capacità contrattili.
- Queste cellule partecipano alla guarigione, al rimodellamento e ai processi fibrotici.
- Il sistema fasciale possiede una certa pretensione di base.
- Pretensione e rigidità non rappresentano lo stesso fenomeno.
- La fascia deve combinare tensione, elasticità e capacità di deformazione.
- Le sollecitazioni meccaniche influenzano l'attività cellulare e l'organizzazione della matrice.
- La durata del carico è una variabile fondamentale.
- Il movimento variabile modifica continuamente la distribuzione delle tensioni.
- Una configurazione mantenuta troppo a lungo può favorire adattamenti strutturali.
- La fibrosi può ridurre la deformabilità e lo scorrimento del tessuto.
- È stata ipotizzata una relazione tra sistema nervoso autonomo e regolazione della pretensione fasciale.
- Nel cane la pretensione fasciale deve conciliare propulsione, oscillazione del rachide e sospensione scapolare.
- Nell'uomo essa deve integrare verticalità, rotazioni e trasmissione delle forze tra arti inferiori e tronco.

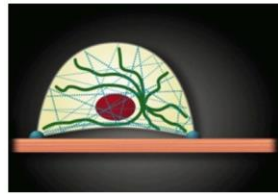
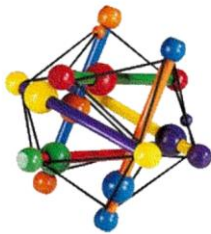
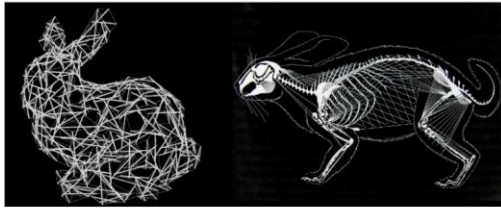


Le Guide Love Your Life

- Il concetto di pretensione rappresenta il passaggio naturale verso la tensescrità.

Capitolo 8 — La tensegrità biologica

Tensegrità



- Meccanicamente, il sistema connettivo è una rete ubiquitaria fibrosa formante con i i muscoli le flessibili catene miofasciali che agiscono sulle ossa (unità a compressione) formando una struttura di tensegrità

www.giovannichetta.it

Figura — Il modello di tensegrità applicato ai sistemi biologici.

Tensegrità a spirale

La tensegrità può essere interpretata anche come organizzazione spiraliforme delle linee di forza. Nel vivente, tensioni e compressioni non si distribuiscono soltanto lungo assi lineari ma si propagano spesso secondo traiettorie elicoidali che collegano arti, tronco e testa.

Nell'uomo e nel cane questa logica spiraliforme non si manifesta nello stesso modo. Nell'uomo una parte importante dell'organizzazione elicoidale si concentra nel piede e nella risalita lungo l'arto inferiore. Nel cane la stessa logica viene maggiormente distribuita lungo zampa, arti, bacino, rachide e cintura scapolare.

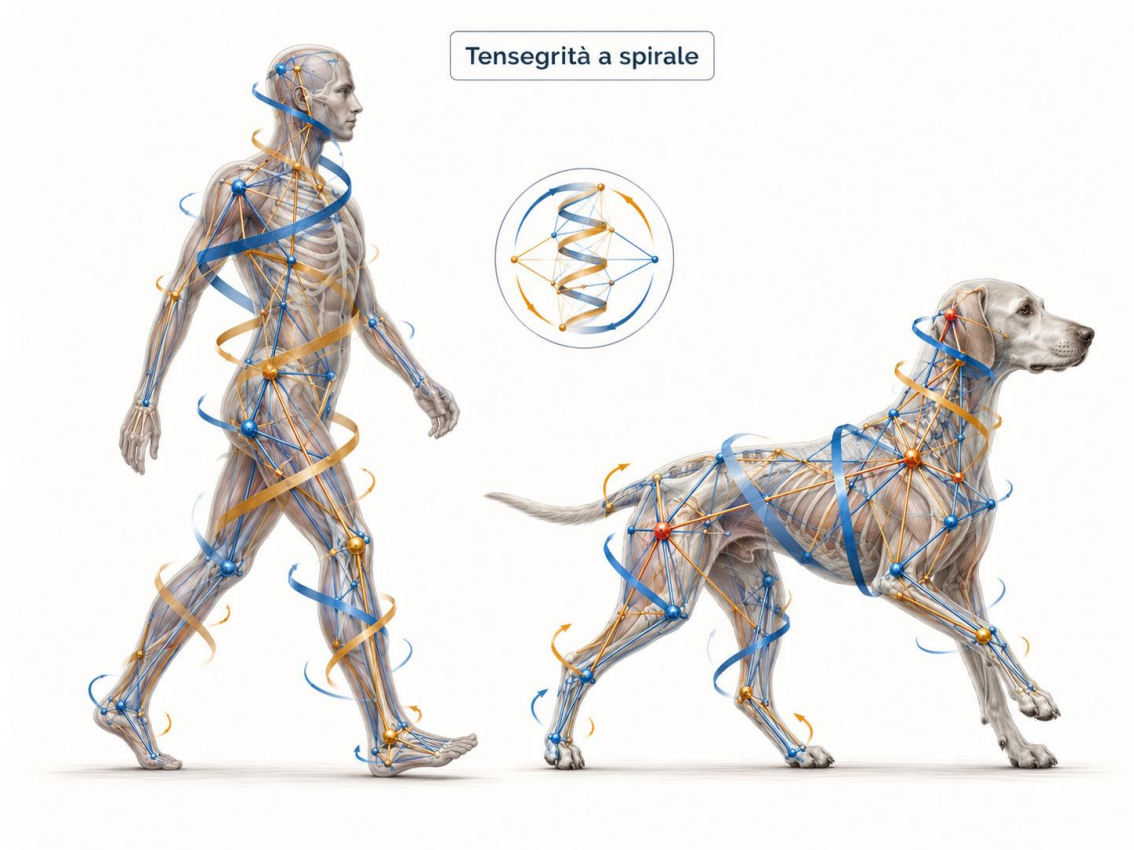
**LYL****Le Guide Love Your Life**

Figura — Tensegrità a spirale: confronto biomeccanico tra uomo e cane.

La stabilità non deriva soltanto dalla rigidità

Una struttura può mantenere la propria forma attraverso strategie differenti.

Un edificio tradizionale utilizza prevalentemente elementi che sostengono il peso attraverso la compressione. Il corpo biologico utilizza invece una combinazione molto più complessa di compressione, tensione e deformabilità.

Le ossa possiedono una grande capacità di resistere alla compressione mentre muscoli, tendini, legamenti e fasce distribuiscono tensioni attraverso l'intero sistema.

La stabilità del corpo non deriva soltanto dalla solidità dello scheletro.

Essa dipende anche dall'equilibrio dinamico delle tensioni che collegano i diversi segmenti corporei.

Il concetto di tensegrità permette di descrivere questo principio.

Che cosa significa tensegrità

Il termine tensegrità deriva dall'unione dei concetti di tensione e integrità.

Una struttura di tensegrità mantiene la propria forma attraverso la relazione tra elementi relativamente rigidi sottoposti prevalentemente a compressione e una rete continua sottoposta a tensione.

Nel modello biologico, le ossa possono essere considerate elementi prevalentemente compressivi mentre il sistema miofasciale costituisce la rete che distribuisce le tensioni.



Questa rappresentazione non implica che un osso riceva soltanto compressione oppure che la fascia riceva soltanto trazione.

I tessuti biologici vengono sottoposti a combinazioni di compressione, trazione, torsione e taglio.

Il modello della tensegrità serve soprattutto a comprendere un principio: **la stabilità globale dipende dalle relazioni tra le parti e non dalla rigidità di ogni singolo elemento.**

Il corpo è una struttura pretensionata

Il capitolo precedente ha introdotto il concetto di pretensione fasciale.

La tensegrità rende questo principio ancora più importante.

Una rete che possiede una tensione di base può reagire immediatamente quando una forza modifica una parte della struttura.

La forza applicata localmente modifica infatti l'equilibrio delle tensioni anche in altre regioni.

Il corpo non deve quindi ricostruire la propria stabilità dopo ogni movimento.

Esso parte da una configurazione già organizzata e modifica continuamente la distribuzione delle tensioni.

Questa caratteristica rende possibile una risposta rapida alle perturbazioni.

Le ossa non galleggiano isolate nella struttura

Lo scheletro viene spesso rappresentato come un'impalcatura sulla quale muscoli e altri tessuti vengono semplicemente applicati.

Il modello di tensegrità modifica questa prospettiva.

Le ossa costituiscono elementi rigidi inseriti all'interno di una rete continua di tensioni.

La posizione di un segmento osseo dipende anche dalle forze che agiscono attraverso muscoli, tendini, legamenti e fasce.

Una modifica della tensione in una parte della rete può alterare l'orientamento di un elemento distante.

Il movimento emerge dal rapporto tra componenti relativamente rigide e componenti deformabili.

Compressione e tensione lavorano insieme

Compressione e tensione non rappresentano forze antagoniste nel senso funzionale.

Esse collaborano alla stabilità.

Una struttura capace di distribuire correttamente la tensione può ridurre la concentrazione locale delle sollecitazioni compressive.

La rete miofasciale contribuisce a orientare e distribuire le forze che attraversano le articolazioni e lo scheletro.

Quando la distribuzione è efficace, il carico può essere condiviso tra differenti strutture.

Quando il sistema perde questa capacità, alcune regioni possono ricevere sollecitazioni maggiori.

La qualità del movimento dipende quindi anche dalla qualità della distribuzione del carico.



Una forza locale modifica il sistema

Una delle caratteristiche più interessanti delle strutture di tensegrità consiste nell'interconnessione.

Se una tensione cambia in una regione, l'intera struttura deve adattarsi.

Questo principio si applica particolarmente bene a un organismo nel quale fascia e muscoli creano connessioni estese.

Una modifica dell'appoggio del piede può cambiare la posizione dell'arto inferiore, del bacino e del tronco.

Nel cane una variazione dell'appoggio di un arto può modificare il carico sugli altri arti e alterare la posizione del rachide.

Questo fenomeno non significa che ogni piccola tensione produca necessariamente un effetto clinicamente rilevante in tutto il corpo.

Esso significa invece che le diverse regioni non sono meccanicamente indipendenti.

Interconnessione non significa trasmissione uniforme

Il concetto di continuità fasciale può essere interpretato in modo eccessivamente semplice.

Una forza applicata in un punto non viene distribuita in modo identico a tutto il corpo.

Il percorso della tensione dipende infatti dalla geometria della rete, dall'orientamento delle fibre, dalla rigidità dei tessuti, dalla posizione articolare e dallo stato di attivazione muscolare.

Alcune vie sono più favorevoli rispetto ad altre.

Il corpo modifica costantemente queste vie durante il movimento.

La tensegrità biologica è una rete dinamica e non una struttura geometrica fissa.

Leggerezza e resistenza

La tensegrità consente di combinare leggerezza e resistenza.

Questa associazione appare biomeccanicamente significativa.

Una struttura non deve essere estremamente massiccia per risultare resistente se riesce a distribuire efficacemente le sollecitazioni.

Lo scheletro rappresenta un esempio evidente.

Le ossa non sono blocchi pieni e uniformi.

La loro architettura interna utilizza trabecole e corticale per distribuire i carichi con un rapporto favorevole tra peso e resistenza.

Anche la rete fasciale contribuisce all'efficienza globale perché permette di trasferire tensioni senza richiedere strutture rigide continue.

Flessibilità e stabilità

Una struttura di tensegrità può modificare la propria forma senza perdere necessariamente la propria integrità.

Questa caratteristica è particolarmente importante per un organismo vivente.



Il corpo deve infatti essere stabile mentre si muove.

La stabilità non può dipendere dalla conservazione di una forma immutabile.

Un cane durante il galoppo modifica notevolmente la configurazione del rachide e degli arti.

Un uomo durante il cammino modifica in modo continuo la posizione di bacino, torace e arti.

La struttura rimane funzionalmente integra proprio perché può deformarsi.

La flessibilità diventa una componente della stabilità.

Adattabilità

L'adattabilità è una delle proprietà caratteristiche della tensegrità.

Un sistema adattabile può redistribuire le forze quando cambiano le condizioni.

Il corpo utilizza continuamente questa capacità.

Una superficie inclinata modifica la distribuzione delle pressioni.

Una variazione di velocità modifica l'intensità delle forze.

Un cambio di direzione modifica le componenti rotazionali.

Il sistema miofasciale e articolare deve quindi riorganizzare rapidamente la tensione.

La capacità di adattamento è una delle condizioni fondamentali dell'efficienza motoria.

Equilibrio dinamico

La tensegrità non descrive un equilibrio statico.

Essa descrive un equilibrio continuamente rinegoziato.

Quando il corpo si muove, alcune strutture aumentano la tensione mentre altre la riducono.

Le articolazioni modificano l'orientamento.

Il centro di massa cambia posizione.

La reazione del terreno cambia intensità e direzione.

Il sistema conserva tuttavia una coerenza globale.

L'equilibrio biologico costituisce un processo dinamico.

Dalla tensegrità strutturale alla tensegrità funzionale

Il corpo non utilizza soltanto una rete anatomica.

Esso utilizza anche una rete funzionale che cambia da un gesto all'altro.

Durante un movimento alcuni muscoli vengono reclutati maggiormente mentre altri riducono la propria attività.

La distribuzione delle tensioni cambia costantemente.

La stessa struttura anatomica può assumere configurazioni funzionali differenti.

Il sistema di tensegrità biologica deve essere considerato variabile nel tempo.



La quarta dimensione torna a essere fondamentale.

La struttura non possiede soltanto una forma.

Essa possiede una sequenza di forme.

Il ruolo dei muscoli

I muscoli rappresentano elementi particolarmente importanti nella regolazione della tensegrità.

La contrazione muscolare modifica rapidamente la tensione della rete.

Il sistema nervoso può modificare quasi istantaneamente la rigidità funzionale di un segmento oppure dell'intero corpo.

Questa capacità consente di adattare la struttura al compito.

Durante un movimento lento il sistema può utilizzare un livello relativamente basso di co-contrazione.

Durante una perturbazione improvvisa il sistema può invece aumentare rapidamente la stabilizzazione.

La rigidità funzionale rappresenta una variabile controllata e non una caratteristica fissa.

Co-contrazione e stabilità

Quando muscoli con funzioni opposte aumentano contemporaneamente la propria attività, l'articolazione può diventare più stabile.

La co-contrazione aumenta però anche il costo energetico e può ridurre la libertà di movimento.

Il sistema nervoso deve quindi trovare un compromesso.

Una stabilizzazione insufficiente può ridurre il controllo.

Una stabilizzazione eccessiva può produrre rigidità.

Il movimento efficiente richiede la quantità di tensione necessaria e non la massima tensione possibile.

Questo principio rappresenta una delle espressioni funzionali della tensegrità.

La tensegrità nel cane

Nel cane il modello di tensegrità è particolarmente interessante a causa della disposizione quadrupede del corpo.

Gli arti posteriori trasmettono una parte importante delle forze propulsive attraverso il bacino.

Il rachide distribuisce e coordina le oscillazioni.

Gli arti anteriori sostengono una parte importante del carico e partecipano alla frenata e all'assorbimento mentre il rachide integra funzionalmente il sistema anteriore con quello posteriore.

La rete miofasciale deve collegare in modo continuo regioni con compiti biomeccanici differenti.

La sospensione del tronco nel cane

Una peculiarità fondamentale del cane riguarda la cintura scapolare.



La scapola non possiede un'articolazione ossea diretta con il torace e rimane sospesa attraverso strutture muscolo-fasciali.

Il tronco anteriore viene sostenuto tra i due arti anche attraverso una vera sospensione muscolare.

Questa organizzazione offre un esempio particolarmente evidente della funzione della tensione nel mantenimento della struttura.

L'arto anteriore non trasferisce il carico al tronco attraverso una continuità ossea diretta.

La rete muscolo-fasciale svolge una parte essenziale del collegamento.

La tensegrità non rappresenta in questo caso soltanto un'astrazione teorica perché il principio di sospensione attraverso tensioni assume una concreta rilevanza anatomica.

Il cingolo pelvico del cane

Posteriormente la situazione cambia.

Il bacino possiede infatti una continuità ossea con il rachide attraverso il sacro.

Le forze degli arti posteriori possono quindi essere trasmesse al tronco attraverso una struttura più direttamente connessa allo scheletro assiale.

Il sistema canino presenta dunque una forte asimmetria funzionale tra cingolo anteriore e posteriore.

La tensegrità globale deve integrare queste due diverse modalità di collegamento.

Questa differenza contribuirà in modo decisivo all'organizzazione del circuito oscillatorio del cane.

La tensegrità nell'uomo

Nell'uomo la rete deve organizzare una struttura bipede prevalentemente verticale.

Le forze provenienti dal terreno attraversano il piede e gli arti inferiori e raggiungono il bacino.

Il bacino trasferisce queste forze al rachide mentre la rete miofasciale contribuisce a distribuire tensioni verso il tronco e gli arti superiori.

Durante il cammino, le rotazioni del bacino e le controrotazioni del torace modificano continuamente la tensione della rete.

L'intero sistema deve mantenere la testa sufficientemente stabile mentre il resto del corpo oscilla.

La tensegrità umana deve integrare sostegno verticale e movimento rotazionale.

Il piede come componente della rete

Il piede umano non è soltanto una base passiva di appoggio.

Esso modifica la propria configurazione durante il carico e partecipa alla distribuzione delle forze.

La deformazione del piede cambia la tensione delle strutture connettivali e modifica l'orientamento dell'arto inferiore.

La risposta può propagarsi verso il bacino e il tronco.

Questo principio sarà particolarmente importante quando verrà affrontata l'elica podalica.



Il piede rappresenta uno dei punti nei quali il rapporto tra terreno e tensegrità corporea diventa più evidente.

La zampa del cane

Anche la zampa del cane rappresenta un'interfaccia dinamica.

L'appoggio modifica la tensione dei tessuti dell'arto e la reazione del terreno si propaga verso le articolazioni prossimali.

La struttura digitaligrada modifica però la geometria del sistema rispetto al piede umano.

Il cane utilizza inoltre quattro interfacce con il terreno e distribuisce il carico attraverso combinazioni differenti in relazione all'andatura.

Il sistema di tensegrità canino deve riorganizzarsi continuamente in funzione della sequenza degli appoggi.

Il rachide come elemento centrale della rete

Il rachide collega regioni corporee differenti e partecipa alla trasmissione delle forze.

Nel cane esso collega funzionalmente la propulsione posteriore con la regione toracica e scapolare.

Nell'uomo esso integra le oscillazioni provenienti dal bacino con le controrotazioni del tronco.

Il rachide non può quindi essere considerato una struttura esclusivamente compressiva.

Esso partecipa a un sistema complesso di compressioni, tensioni, torsioni e oscillazioni.

La fascia toracolombare assume in questo contesto una funzione particolarmente importante.

Tensegrità e distribuzione delle forze articolari

Un'articolazione deve permettere movimento ma deve contemporaneamente mantenere congruenza e controllo.

La rete muscolo-fasciale contribuisce a orientare le forze che attraversano le superfici articolari.

Una distribuzione adeguata riduce la concentrazione di stress in zone ristrette.

Una modifica del controllo muscolare o della tensione fasciale può invece cambiare la direzione delle risultanti articolari.

Il problema biomeccanico non consiste soltanto nella quantità totale di carico.

Conta anche il modo in cui il carico viene distribuito.

Quando una parte del sistema cambia

Una limitazione articolare, una retrazione fasciale oppure una modifica del controllo motorio altera l'equilibrio delle tensioni.

Il resto del sistema può compensare.

La compensazione rappresenta inizialmente una strategia adattativa.

Un'altra articolazione può aumentare la propria mobilità.

Un gruppo muscolare può aumentare la propria attività.



Il centro di massa può modificare leggermente la propria traiettoria.

Il problema compare quando la compensazione diventa persistente oppure supera la capacità adattativa dei tessuti.

Il sistema può mantenere la funzione apparente al prezzo di una distribuzione meno favorevole delle sollecitazioni.

La tensegrità spiega perché la sede del problema e quella del sintomo possano differire

La continuità delle tensioni aiuta a comprendere perché una disfunzione locale possa essere accompagnata da modificazioni in altre regioni.

Questo principio non significa che ogni sintomo distante abbia automaticamente origine fasciale.

Esso significa invece che un cambiamento biomeccanico può modificare la distribuzione globale dei carichi.

La valutazione funzionale deve considerare sia la regione sintomatica sia il comportamento complessivo del sistema.

Il corpo cerca infatti costantemente di conservare la funzione.

La strategia compensatoria può nascondere temporaneamente il problema originale.

Tensegrità e movimento efficiente

Un movimento efficiente utilizza tensione sufficiente a controllare il corpo ma evita una rigidità inutile.

Il sistema distribuisce le forze attraverso più strutture e utilizza elasticità e deformabilità per accumulare e restituire energia.

La qualità del gesto dipende quindi anche dalla capacità della rete di modificare rapidamente la propria configurazione.

Un corpo efficiente non è semplicemente forte.

Esso sa **dove, quando e quanto tendersi**.

Dalla tensegrità allo Spine Engine

Il concetto di tensegrità prepara il passaggio verso una delle idee centrali di questa guida.

Se il corpo rappresenta una rete pretensionata e se le forze vengono distribuite attraverso l'intero sistema, il rachide non può essere considerato semplicemente una colonna che sostiene passivamente il tronco.

Le sue oscillazioni possono modificare la tensione della rete e contribuire alla trasmissione del movimento verso bacino e arti.

Il concetto di Spine Engine interpreta il movimento della colonna come una componente centrale della locomozione.

Con questo passaggio termina la parte dedicata ai principali fondamenti strutturali.

Il prossimo capitolo aprirà la sezione dedicata al motore della locomozione.



Take home message

La tensegrità descrive il corpo come un sistema nel quale compressione e tensione collaborano alla stabilità.

Le ossa costituiscono elementi relativamente rigidi mentre muscoli e fascia formano una rete capace di modificare e distribuire in modo continuo le tensioni.

La stabilità non deriva dalla rigidità.

Essa deriva dalla capacità dell'intero sistema di riorganizzare le proprie tensioni senza perdere coerenza strutturale e funzionale.

Nel cane questo principio diventa particolarmente evidente nella sospensione muscolo-fasciale della cintura scapolare.

Fermati un attimo

Immagina uno scheletro privo di muscoli, tendini, legamenti e fascia.

Le ossa non rimarrebbero organizzate nella configurazione che osserviamo nel corpo vivo.

Ora immagina invece una rete muscolo-fasciale senza elementi rigidi capaci di resistere alla compressione.

Anche quella rete perderebbe la propria forma funzionale.

Il corpo esiste perché le due componenti lavorano insieme.

La stabilità non appartiene alle ossa oppure ai muscoli: la stabilità emerge dalla relazione tra compressione e tensione.

Messaggi chiave

- La tensegrità combina integrità strutturale e tensione.
- Le ossa possono essere considerate elementi prevalentemente resistenti alla compressione all'interno del modello.
- Il sistema miofasciale costituisce una rete continua di tensioni.
- La struttura corporea possiede una pretensione di base.
- Una forza locale può modificare l'equilibrio di regioni più ampie.
- La continuità non implica una trasmissione uniforme delle forze.
- La tensegrità permette di combinare leggerezza, resistenza, flessibilità e adattabilità.
- La stabilità biologica è dinamica e non coincide con la rigidità.
- Il sistema nervoso modifica rapidamente la tensegrità funzionale attraverso l'attività muscolare.
- La co-contrazione può aumentare la stabilità ma un suo eccesso può ridurre mobilità ed efficienza.
- Nel cane la sospensione muscolo-fasciale della cintura scapolare offre un esempio particolarmente evidente del ruolo della tensione.
- Il cingolo pelvico del cane utilizza invece una continuità ossea con il rachide.
- Nell'uomo la tensegrità integra verticalità, piede, bacino, rachide e rotazioni del tronco.

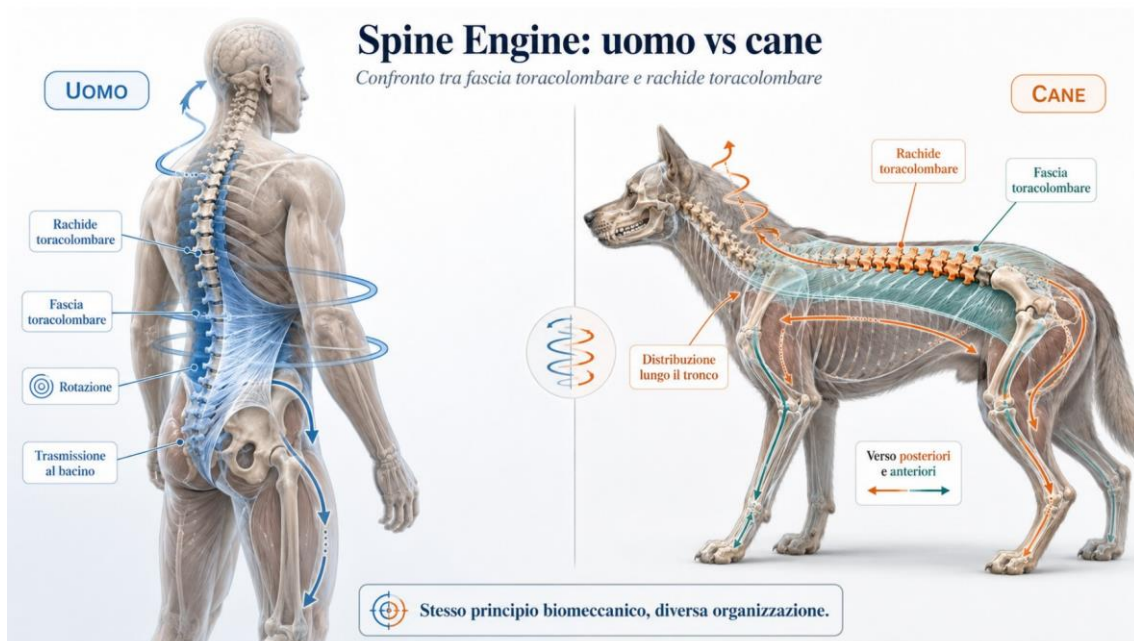


Le Guide Love Your Life

- Le compensazioni rappresentano adattamenti della rete ma possono diventare sfavorevoli quando persistono.
- Il concetto di tensegrità prepara la comprensione dello Spine Engine.

PARTE III — IL MOTORE DELLA LOCOMOZIONE

Capitolo 9 — Lo Spine Engine



www.giovannichetta.it

Figura — Spine Engine: confronto tra organizzazione del movimento nell'uomo e nel cane.

Il rachide non è soltanto una colonna di sostegno

Il rachide viene spesso rappresentato come una struttura che sostiene il corpo e protegge il midollo spinale. Queste funzioni sono fondamentali ma non descrivono completamente il suo ruolo biomeccanico.

Durante la locomozione il rachide si muove.

Esso ruota, si inclina, si flette e si estende mentre il bacino e i cingoli modificano continuamente la propria posizione.

Questi movimenti non rappresentano necessariamente fenomeni accessori prodotti dagli arti.

Il modello dello Spine Engine propone invece che le oscillazioni del rachide partecipino in modo sostanziale alla produzione e all'organizzazione della locomozione.

Questa prospettiva modifica il punto di partenza dell'analisi biomeccanica.

Gli arti non vengono più considerati gli unici generatori del movimento mentre il tronco non viene più interpretato come una massa trasportata passivamente.

Il rachide entra direttamente nel sistema locomotorio.



Il significato del termine Spine Engine

Il termine **Spine Engine** descrive un modello biomeccanico nel quale le oscillazioni e le rotazioni del rachide contribuiscono alla locomozione e vengono integrate con il movimento del bacino e degli arti.

Secondo il modello dello Spine Engine, il movimento della colonna costituisce una componente originaria della locomozione mentre gli arti rappresentano un successivo perfezionamento e non una sostituzione del meccanismo spinale.

Il significato funzionale di questa impostazione è importante.

Il corpo non procede semplicemente perché gli arti spingono contro il terreno.

Il tronco partecipa alla produzione, alla modulazione e alla trasmissione delle oscillazioni che accompagnano ogni ciclo locomotorio.

Lo Spine Engine deve essere considerato un modello integrativo.

Il modello e i suoi limiti

Il concetto dello Spine Engine offre una chiave interpretativa utile ma deve essere utilizzato con precisione.

Il rachide non può essere considerato l'unico motore della locomozione.

Muscoli, arti, terreno, elasticità dei tessuti e controllo nervoso partecipano necessariamente al movimento.

Il modello suggerisce invece che l'attività del rachide possieda un ruolo più importante di quanto potrebbe emergere da una visione puramente segmentaria.

La locomozione nasce dall'interazione tra oscillazioni spinali e azione degli arti.

Questa distinzione permette di utilizzare il modello senza trasformarlo in una spiegazione esclusiva di tutti i fenomeni locomotori.

Oscillazione come principio generale

Ogni locomozione ciclica contiene oscillazioni.

Il corpo accelera e decelera.

Il centro di massa sale e scende.

Il bacino ruota.

Il tronco produce controrotazioni.

Gli arti alternano fasi di appoggio e oscillazione.

Il rachide partecipa a questo sistema attraverso movimenti coordinati.

L'oscillazione non è un disturbo da eliminare.

Essa può costituire una componente utile della locomozione perché permette di trasferire energia tra differenti regioni corporee.

Un sistema completamente rigido dovrebbe infatti produrre e assorbire le forze quasi esclusivamente attraverso le articolazioni periferiche.

Una struttura oscillante può invece distribuire il movimento su una rete più ampia.



Il movimento non avviene su un solo piano

La locomozione viene spesso osservata soprattutto sul piano sagittale perché flessione ed estensione sono facilmente visibili.

Il movimento reale è però tridimensionale.

Il rachide può combinare:

- flessione ed estensione;
- inclinazione laterale;
- rotazione assiale.

Queste componenti si combinano durante il ciclo locomotorio.

Anche il bacino partecipa con oscillazioni e rotazioni.

Lo Spine Engine deve quindi essere interpretato come un sistema tridimensionale.

Il tempo aggiunge successivamente una quarta dimensione perché l'ordine e la fase delle oscillazioni determinano il risultato funzionale.

Rotazione del bacino

Sia nel cane sia nell'uomo la rotazione del bacino è una componente importante del sistema.

Il bacino rappresenta un nodo biomeccanico tra rachide e arti.

Quando il bacino ruota, la posizione relativa degli arti cambia e la tensione della rete miofasciale viene redistribuita.

La rotazione può contribuire alla lunghezza funzionale del passo e alla trasmissione delle forze.

Nell'uomo questa funzione deve essere integrata con la bipedia.

Nel cane essa deve essere integrata con la spinta degli arti posteriori e con il movimento del rachide.

Il principio rimane comune ma la geometria cambia.

Controrotazione del tronco

Una rotazione del bacino non rimane necessariamente isolata.

Il corpo può produrre una controrotazione nella parte superiore del tronco.

Questa strategia permette di controllare il momento angolare complessivo e di mantenere una maggiore stabilità della parte superiore del corpo.

Sia nel modello umano sia in quello canino la rotazione del bacino si associa a una controrotazione della regione superiore del corpo.

Nel cane il termine "spalle" deve essere interpretato funzionalmente all'interno della regione toracica e scapolare.

La cintura scapolare non possiede infatti lo stesso tipo di connessione ossea che caratterizza il bacino.

La controrotazione superiore viene modulata anche attraverso la sospensione muscolo-fasciale delle scapole.



Stabilizzazione della testa

La stabilizzazione della testa costituisce inoltre un elemento importante dello Spine Engine.

Questo aspetto possiede una grande importanza.

La testa contiene occhi e apparato vestibolare.

Il corpo può oscillare efficacemente soltanto se riesce contemporaneamente a mantenere un controllo sufficiente dell'orientamento cefalico.

La stabilizzazione della testa non significa immobilità assoluta.

Essa significa piuttosto che il sistema limita e organizza le oscillazioni in modo compatibile con le esigenze sensoriali.

Il rachide cervicale partecipa alla compensazione delle rotazioni provenienti dalle regioni inferiori.

Un vortice corporeo

Le espressioni Human vortex e Dog vortex descrivono l'organizzazione rotazionale del movimento.

Questa immagine è utile perché la locomozione non assomiglia a una semplice traslazione lineare.

Il corpo avanza mentre produce oscillazioni e rotazioni.

Il bacino ruota.

Il tronco controruota.

Gli arti modificano la propria posizione.

La testa viene stabilizzata.

L'organismo si comporta come una struttura nella quale diversi segmenti ruotano con ampiezze e fasi differenti.

Il termine vortice descrive bene questa organizzazione tridimensionale.

Il rachide come collegamento tra le regioni corporee

Il rachide occupa una posizione centrale perché collega funzionalmente regioni differenti.

Nell'uomo esso collega bacino, torace e testa.

Nel cane esso collega il cingolo pelvico alla regione toracica e scapolare e continua poi verso il collo e la testa.

La sua posizione anatomica permette quindi di distribuire le oscillazioni lungo l'intero corpo.

Una modifica della mobilità in una regione del rachide può cambiare il modo in cui le rotazioni vengono distribuite.

Il corpo può compensare questa modifica utilizzando maggiormente altre articolazioni.

Il movimento osservato agli arti può dipendere anche dalla capacità del rachide di partecipare alla locomozione.



Il rachide non deve essere rigido per essere stabile

Una concezione puramente statica può associare la stabilità del rachide alla riduzione del movimento.

La locomozione mostra invece il contrario.

Il rachide deve muoversi in modo controllato.

La stabilità deriva dalla capacità di modulare il movimento e non dalla sua eliminazione.

Un rachide eccessivamente rigido può limitare la propagazione fisiologica delle oscillazioni.

Un rachide eccessivamente mobile ma scarsamente controllato può invece disperdere o distribuire male le forze.

L'efficienza richiede mobilità e controllo.

Questo principio riprende direttamente il concetto di tensegrità analizzato nel capitolo precedente.

Tensegrità e Spine Engine

Lo Spine Engine non agisce in uno scheletro isolato.

Ogni oscillazione modifica la tensione della rete miofasciale.

La fascia toracolombare cambia configurazione.

I muscoli modificano il proprio stato di tensione.

Il bacino riceve e restituisce forze.

Gli arti modificano l'interazione con il terreno.

Lo Spine Engine deve quindi essere inserito all'interno della tensegrità globale.

Il rachide produce movimento mentre la rete distribuisce quel movimento.

La rete restituisce tensioni al rachide e contribuisce a modificarne l'oscillazione successiva.

Il sistema funziona in entrambe le direzioni.

La fascia toracolombare

La fascia toracolombare assume una funzione particolarmente importante nel modello.

Essa collega numerosi muscoli del tronco e mantiene rapporti con il bacino e il rachide.

Le tensioni generate nella regione toracolombare possono influenzare la relazione tra tronco e arti.

Nel cane questa regione assume particolare rilevanza perché il cingolo pelvico trasferisce al rachide le forze provenienti dagli arti posteriori.

Nell'uomo essa partecipa alla relazione tra bacino, rachide e controrotazione del tronco.

Il prossimo capitolo sarà interamente dedicato a questa struttura.

Il ruolo degli arti non viene ridimensionato

Lo Spine Engine non rende gli arti secondari nel senso funzionale.

Gli arti rimangono indispensabili.



Gli arti rimangono indispensabili. Essi permettono l'interazione con il terreno: producono forze, ricevono le reazioni del suolo e modificano la posizione del centro di massa.

Il modello suggerisce però che gli arti non debbano essere interpretati come motori indipendenti collegati a un tronco passivo.

Gli arti e il rachide formano invece un unico sistema locomotorio.

Il terreno completa il circuito

Il corpo non può produrre locomozione terrestre senza un supporto esterno.

Quando un arto esercita una forza sul terreno, il terreno restituisce una forza di reazione.

Questa forza attraversa l'arto e raggiunge il resto della struttura.

Il rachide riceve anche informazioni meccaniche provenienti dal basso.

Lo Spine Engine non rappresenta perciò un circuito chiuso all'interno del tronco.

Il sistema deve includere anche gli arti e il terreno.

Questa idea condurrà successivamente al circuito oscillatorio 4D.

Due architetture, uno stesso principio

Nell'uomo il modello dello Spine Engine si inserisce in una locomozione bipede nella quale piede, arto inferiore, bacino e rachide costruiscono una continuità oscillatoria. Nel cane lo stesso modello deve invece integrare propulsione posteriore, rachide orizzontale e cintura scapolare sospesa muscolo-fascialmente.

In questo capitolo è sufficiente riconoscere il principio comune: il rachide partecipa attivamente alla locomozione e coordina rotazioni e controrotazioni. I circuiti specifici dell'uomo e del cane, insieme al ruolo dettagliato dei due cingoli, vengono sviluppati nei capitoli successivi senza essere anticipati nuovamente qui.

Dal motore al circuito

Il concetto dello Spine Engine conduce a una domanda ulteriore.

Se il rachide oscilla, il bacino ruota, gli arti interagiscono con il terreno e le reazioni del terreno risalgono nuovamente attraverso il corpo, dove comincia realmente il movimento?

Una risposta puramente lineare diventa difficile.

Il sistema sembra piuttosto comportarsi come un circuito.

Una fase modifica la successiva e la fase successiva modifica a sua volta quella seguente.

Il risultato è un processo ciclico.

Questa caratteristica porterà al concetto di circuito oscillatorio 4D che verrà sviluppato nei capitoli successivi.

Prima di affrontarlo dobbiamo però analizzare in modo specifico la struttura che costituisce uno dei principali nodi di trasmissione tra rachide, bacino e sistema miofasciale: **la fascia toracolombare**.



Take home message

Il rachide non è soltanto una struttura di sostegno.

Il modello dello Spine Engine interpreta le oscillazioni spinali come una componente importante della locomozione e le integra con rotazione del bacino, controrotazione del tronco, movimento degli arti e stabilizzazione della testa.

Nell'uomo questo sistema si organizza all'interno della bipedia mentre nel cane esso deve integrare propulsione posteriore, rachide e sospensione muscolo-fasciale della cintura scapolare.

Gli arti rimangono indispensabili ma lavorano insieme al rachide all'interno di un unico sistema.

Fermati un attimo

Osserva mentalmente una persona che cammina e poi un cane che trotta.

La prima cosa che notiamo sono gli arti.

Ora immagina di bloccare completamente il bacino e il rachide lasciando liberi soltanto gli arti.

Il movimento perderebbe immediatamente una parte importante della propria fluidità.

Il corpo non porta il rachide durante la locomozione.

Il rachide partecipa alla locomozione.

Questa differenza cambia completamente il modo in cui possiamo leggere il movimento.

Messaggi chiave

- Il rachide svolge una funzione dinamica durante la locomozione.
- Lo Spine Engine è un modello che attribuisce alle oscillazioni spinali un ruolo importante nell'organizzazione del movimento.
- Il modello non elimina il ruolo degli arti ma integra arti e rachide all'interno dello stesso sistema.
- La locomozione contiene flessione, estensione, inclinazione e rotazione.
- Il bacino è un nodo fondamentale tra rachide e arti.
- La rotazione del bacino può essere accompagnata da una controrotazione della parte superiore del corpo.
- La stabilizzazione della testa permette di controllare sistemi visivi e vestibolari mentre il corpo oscilla.
- I modelli Human vortex e Dog vortex descrivono due differenti organizzazioni rotazionali del movimento.
- La tensegrità consente di distribuire le oscillazioni dello Spine Engine attraverso la rete miofasciale.
- La fascia toracolombare è uno dei principali collegamenti tra rachide e bacino.
- Nell'uomo lo Spine Engine si integra con la bipedia e con l'elica podalica.
- Nel cane il cingolo pelvico trasferisce la propulsione al rachide mentre la cintura scapolare modula e assorbe una parte delle forze.



Le Guide Love Your Life

- Il funzionamento dello Spine Engine cambia con la velocità e con l'andatura.
- Anche la postura apparentemente statica contiene oscillazioni.
- Lo Spine Engine prepara il passaggio dal concetto di motore al concetto di circuito oscillatorio.



Capitolo 10 — La fascia toracolombare

Un nodo centrale tra rachide, bacino e locomozione

La fascia toracolombare occupa una posizione strategica nella lettura biomeccanica proposta in questa guida perché essa appartiene alla rete fasciale del tronco e si integra funzionalmente con il rachide toracolombare, il bacino e il sistema muscolare.

Il complesso fascia-rachide toracolombare occupa un ruolo centrale nel circuito locomotorio. Nel modello del circuito oscillatorio 4D, sia nell'uomo sia nel cane, esso costituisce un nodo descrittivo dal quale il percorso prosegue verso il bacino e gli arti.

Questa impostazione richiede una precisazione importante.

La fascia toracolombare non deve essere considerata come un motore autonomo che produce da sola la locomozione. Essa deve essere interpretata insieme al rachide, ai muscoli, al bacino e alle strutture connettivali che partecipano alla distribuzione delle tensioni.

Il concetto fondamentale riguarda quindi il **complesso fascia-rachide toracolombare**.

Questo complesso è uno dei principali nodi attraverso i quali oscillazioni spinali, tensioni miofasciali e movimenti del bacino possono essere integrati.

Perché parlare di fascia e rachide insieme

Il rachide possiede una componente ossea e articolare mentre la fascia appartiene alla rete connettivale.

Queste due componenti non lavorano separatamente.

Ogni movimento vertebrale modifica infatti la tensione dei tessuti circostanti mentre ogni variazione della tensione miofasciale può modificare le condizioni meccaniche nelle quali il rachide si muove.

La relazione è quindi bidirezionale.

Il rachide deforma la rete fasciale e la rete fasciale condiziona il movimento del rachide.

Il modello dello Spine Engine assume maggiore significato proprio quando queste due componenti vengono considerate come parti dello stesso sistema.

Il movimento spinale non rappresenta il semplice scorrimento di segmenti ossei.

Esso modifica una rete pretensionata che collega il tronco alle regioni corporee circostanti.

Una regione di passaggio delle forze

La regione toracolombare si trova in una posizione che le permette di partecipare al trasferimento delle sollecitazioni tra bacino e tronco.

Questo ruolo assume configurazioni differenti nell'uomo e nel cane.

Nel cane gli arti posteriori producono una parte importante della propulsione e trasferiscono le forze al bacino, con un coinvolgimento rilevante del rachide lombosacrale.

La regione toracolombare si trova lungo il percorso attraverso il quale questa attività viene integrata con il resto del tronco.



Nell'uomo il bacino riceve invece le forze provenienti dagli arti inferiori e partecipa contemporaneamente alle oscillazioni e alle rotazioni caratteristiche della locomozione bipede.

Il complesso fascia-rachide toracolombare è in entrambe le specie una zona di integrazione ma la geometria delle forze è differente.

La fascia toracolombare non lavora come una corda isolata

Una fascia può trasmettere tensione ma la trasmissione non avviene lungo una singola linea rigida.

Il sistema connettivo forma infatti una rete.

La direzione prevalente delle tensioni cambia in funzione della postura, della fase locomotoria, dell'attività muscolare e delle forze provenienti dal terreno.

La fascia toracolombare deve essere interpretata come parte di questa rete multidirezionale.

Durante una fase del movimento alcune tensioni possono aumentare mentre altre diminuiscono.

Nella fase successiva la configurazione può invertirsi oppure modificarsi.

La fascia toracolombare partecipa a una struttura oscillante.

Pretensione e trasmissione

Il capitolo dedicato ai miofibroblasti ha introdotto il concetto di pretensione fasciale.

La fascia non parte necessariamente da una condizione completamente flaccida.

Una determinata tensione di base permette alla rete di rispondere rapidamente alle modificazioni meccaniche.

Nella regione toracolombare questo principio assume particolare interesse perché il sistema deve gestire continuamente variazioni provenienti dal rachide e dal bacino.

Quando il bacino ruota, la distribuzione delle tensioni cambia.

Quando il rachide si flette, si estende oppure ruota, la configurazione della rete cambia nuovamente.

La fascia toracolombare partecipa quindi alla trasformazione di un movimento segmentario in una modificazione più ampia della tensione corporea.

Tensegrità e regione toracolombare

La tensegrità permette di comprendere meglio questa funzione.

Il rachide costituisce infatti una struttura composta da elementi ossei articolati mentre la rete miofasciale distribuisce tensioni attorno e tra questi elementi.

La stabilità non dipende dalla rigidità assoluta del rachide.

Essa dipende dalla capacità del sistema di controllare il movimento attraverso una distribuzione adeguata delle tensioni.

La fascia toracolombare partecipa a questa organizzazione.

Quando il corpo cambia configurazione, il sistema modifica le proprie tensioni senza perdere necessariamente la stabilità globale.



Il rachide può essere mobile e stabile nello stesso momento.

Lo Spine Engine richiede una rete

Il modello dello Spine Engine attribuisce al movimento del rachide un ruolo importante nella locomozione e considera gli arti un perfezionamento del meccanismo locomotorio, non una sua sostituzione.

Un rachide che oscilla ha però bisogno di una struttura capace di integrare queste oscillazioni.

La fascia toracolombare svolge questo ruolo all'interno della rete miofasciale.

Il rachide modifica la tensione della fascia.

La fascia redistribuisce la tensione.

Il bacino modifica la propria posizione.

Gli arti modificano a loro volta l'interazione con il terreno.

La reazione del terreno ritorna verso il corpo.

Il sistema funziona attraverso un continuo scambio.

Il bacino rappresenta il ponte verso gli arti

Il bacino occupa una posizione fondamentale perché collega il complesso toracolombare agli arti inferiori nell'uomo e agli arti posteriori nel cane.

Questa relazione permette alle oscillazioni del tronco di entrare nel sistema appendicolare e permette contemporaneamente alle forze provenienti dal terreno di risalire verso il rachide.

Il bacino non costituisce un semplice segmento intermedio.

Esso rappresenta un vero nodo di conversione tra movimento assiale e movimento degli arti.

Il circuito oscillatorio non può essere compreso senza questa relazione.

Nel cane il collegamento posteriore è osseo

La biomeccanica canina presenta una caratteristica particolarmente importante.

Il bacino possiede un collegamento osseo con il rachide.

Questa connessione consente una trasmissione relativamente diretta delle forze e delle rotazioni provenienti dagli arti posteriori.

Questo elemento differenzia profondamente il cingolo posteriore da quello anteriore.

La spinta prodotta posteriormente può raggiungere il rachide attraverso il bacino e il complesso lombosacrale.

La fascia toracolombare partecipa quindi a una regione nella quale la propulsione appendicolare viene integrata con il sistema assiale.

Dal bacino al rachide del cane

Il percorso può essere rappresentato schematicamente:

arti posteriori → bacino → rachide lombosacrale e toracolombare → rete fasciale del tronco



Questa rappresentazione non significa che la forza percorra una sola strada.

Essa indica invece una direzione funzionale prevalente utile per comprendere il modello.

Gli arti posteriori producono spinta.

Il bacino riceve e trasmette una parte delle forze.

Il rachide risponde con oscillazioni e rotazioni.

La rete fasciale modifica la propria tensione.

Il movimento si propaga quindi verso la parte anteriore del corpo.

La parte anteriore del cane utilizza un'altra strategia

La cintura scapolare del cane non possiede una continuità ossea diretta con il torace.

L'arto anteriore è collegato al tronco attraverso una sospensione muscolo-fasciale che consente scorrimento, assorbimento, stabilizzazione e modulazione delle rotazioni.

Questa differenza modifica la propagazione delle forze.

Posteriormente il sistema utilizza una continuità ossea attraverso il bacino.

Anteriormente il sistema utilizza una sospensione prevalentemente muscolo-fasciale.

Il rachide e la fascia del tronco devono integrare queste due modalità strutturali profondamente differenti.

La regione toracolombare diventa parte di un sistema che collega una zona prevalentemente propulsiva a una zona maggiormente impegnata nella modulazione e nell'assorbimento.

Propulsione posteriormente, modulazione anteriormente

I due gruppi di arti presentano specializzazioni funzionali differenti.

Gli arti posteriori partecipano soprattutto a spinta e propulsione mentre gli arti anteriori partecipano soprattutto a sostegno, frenata e assorbimento del carico. Il rachide viene presentato come elemento che integra e coordina entrambe le funzioni.

Questa formulazione rappresenta uno dei passaggi più importanti dell'intera biomeccanica canina sviluppata nella guida.

Il cane non possiede infatti due coppie di arti che svolgono lo stesso lavoro in posizioni differenti.

Il sistema posteriore e quello anteriore possiedono specializzazioni funzionali differenti.

Il rachide e la rete fasciale rendono possibile la loro integrazione.

Un circuito e non una trasmissione a senso unico

La descrizione precedente potrebbe suggerire che le forze viaggino soltanto dalla parte posteriore verso quella anteriore.

Il movimento reale non funziona in questo modo.

Gli arti anteriori entrano a loro volta in contatto con il terreno.

Il terreno restituisce una forza di reazione.



Questa forza viene trasmessa attraverso gli arti anteriori alla regione toracica e quindi al rachide.

La propagazione delle forze avviene pertanto in entrambe le direzioni.

Il circuito oscillatorio 4D descrive questa continuità: nel cane il percorso coinvolge il complesso fascia-rachide toracolombare, raggiunge bacino e arti posteriori, ritorna dal terreno verso bacino e rachide, prosegue verso la cintura scapolare e gli arti anteriori e ritorna infine attraverso torace e rachide verso un nuovo ciclo.

Il concetto di circuito è più appropriato del concetto di catena lineare.

Nell'uomo il circuito assume un'altra geometria

Nell'uomo il complesso fascia-rachide toracolombare entra in relazione con un sistema bipede.

Il percorso può essere sintetizzato attraverso:

fascia e rachide toracolombare → bacino → arto inferiore → piede → terreno → risalita attraverso arto, bacino e tronco → rachide cervicale → testa → nuovo ciclo.

La principale differenza riguarda la distribuzione degli appoggi.

L'uomo concentra la locomozione su due arti inferiori mentre il cane utilizza quattro arti con funzioni parzialmente differenziate.

Il bacino umano è il nodo tra rachide e arti portanti.

La cintura scapolare non deve invece sostenere normalmente il corpo durante la locomozione.

Questa differenza modifica l'intero percorso delle tensioni.

Rotazione del bacino e fascia toracolombare nell'uomo

Durante la locomozione bipede il bacino produce oscillazioni e rotazioni.

Queste modificazioni cambiano la tensione del sistema toracolombare.

Il tronco può produrre contemporaneamente controrotazioni che contribuiscono alla gestione del momento angolare.

La fascia toracolombare partecipa quindi al collegamento funzionale tra bacino e tronco.

La sua funzione non deve essere interpretata come quella di una struttura che impedisce il movimento.

Essa contribuisce piuttosto a controllare e distribuire il movimento.

Rotazione del bacino e fascia toracolombare nel cane

Nel cane il bacino riceve direttamente le forze provenienti dagli arti posteriori.

Le rotazioni e le oscillazioni che ne derivano entrano nel sistema rachide-fascia.

Il tronco prevalentemente orizzontale permette una propagazione longitudinale delle oscillazioni molto diversa rispetto alla configurazione verticale umana.

Il rachide canino diventa una struttura di collegamento particolarmente evidente tra parte posteriore e parte anteriore.

La fascia toracolombare partecipa all'integrazione di questa continuità.



Non esiste una separazione netta tra forza e informazione

La fascia possiede anche una componente sensoriale.

Una variazione della tensione modifica l'attività dei meccanorecettori presenti nei tessuti.

Il complesso toracolombare non trasmette soltanto forza.

Esso produce anche informazioni sullo stato meccanico del sistema.

Il sistema nervoso riceve queste informazioni e modifica il controllo motorio.

La risposta muscolare cambia quindi nuovamente la tensione fasciale.

Si crea un circuito nel quale meccanica e controllo nervoso interagiscono costantemente.

Un nodo meccanico e sensoriale

Il complesso fascia-rachide toracolombare può essere interpretato contemporaneamente come:

- una regione di trasmissione delle tensioni;
- una regione di integrazione tra bacino e tronco;
- una componente dello Spine Engine;
- una struttura inserita nella tensegrità corporea;
- una fonte di informazioni meccaniche per il sistema nervoso.

Queste funzioni non devono essere separate artificialmente.

Il movimento emerge proprio dalla loro integrazione.

La rigidità toracolombare modifica il circuito

Se una regione del sistema riduce significativamente la propria capacità di movimento, il resto del corpo deve adattarsi.

Una ridotta mobilità toracolombare può modificare il modo in cui bacino e tronco scambiano rotazioni.

Il sistema può compensare aumentando il movimento in altri distretti.

Nell'uomo una compensazione può coinvolgere a esempio regioni superiori o inferiori del rachide e articolazioni degli arti.

Nel cane una modifica del comportamento del rachide può alterare la distribuzione del lavoro tra regione posteriore e anteriore.

Il punto importante non consiste nell'attribuire automaticamente ogni alterazione locomotoria alla fascia toracolombare.

Il punto consiste nel riconoscere che una modificazione di questo nodo può cambiare il comportamento dell'intero circuito.

Anche una rigidità eccessiva può sembrare stabilità

Un aumento della tensione può inizialmente ridurre alcuni movimenti indesiderati.

Il sistema può apparire più stabile.



Questa stabilità può però essere ottenuta riducendo i gradi di libertà.

Una riduzione eccessiva della mobilità limita la capacità di assorbire e redistribuire le forze.

Il corpo può quindi diventare meno adattabile.

La stabilità efficace richiede invece movimento controllato.

La fascia toracolombare deve poter trasmettere tensione senza trasformare il tronco in una struttura rigida.

Anche una mobilità eccessiva può essere inefficiente

Il problema opposto riguarda una struttura che non controlla adeguatamente le oscillazioni.

In questo caso il sistema può disperdere parte dell'energia e richiedere una maggiore attività muscolare per mantenere il controllo.

L'efficienza dipende dall'equilibrio.

Il complesso toracolombare deve possedere mobilità sufficiente per permettere oscillazioni e rigidità funzionale sufficiente per controllarle.

Questa relazione varia in modo continuo durante il movimento.

Il sistema cambia da una fase all'altra

Durante un ciclo locomotorio la regione toracolombare non mantiene sempre lo stesso stato.

Le tensioni cambiano.

La posizione del bacino cambia.

Gli arti cambiano fase.

La reazione del terreno cambia.

Il sistema deve modificare continuamente la propria configurazione.

Questa variazione temporale impedisce di comprendere la biomeccanica attraverso una fotografia statica.

La quarta dimensione, rappresentata dal tempo, diventa necessaria.

La fascia toracolombare e il circuito oscillatorio 4D

Il complesso fascia-rachide toracolombare può essere utilizzato come punto di partenza descrittivo sia del circuito umano sia di quello canino.

L'espressione "origine" deve però essere interpretata con attenzione.

In un vero circuito non esiste infatti un punto iniziale assoluto.

Ogni fase deriva dalla precedente e prepara la successiva.

Il complesso toracolombare può essere scelto come punto di partenza descrittivo perché rappresenta un nodo centrale ma il movimento reale continua senza una vera interruzione.

Questa distinzione sarà fondamentale quando verrà definito il circuito oscillatorio 4D.



Una centralità funzionale, non un primato esclusivo

La fascia toracolombare ha un ruolo centrale nella prospettiva utilizzata in questa guida ma non deve diventare una spiegazione universale.

Il movimento non dipende da una sola struttura.

Il piede umano modifica il sistema.

Le zampe del cane modificano il sistema.

Gli arti producono e assorbono forze.

Il bacino ruota.

Il rachide oscilla.

La cintura scapolare del cane scorre e modula il carico.

Il sistema nervoso organizza il tutto.

La fascia toracolombare possiede importanza proprio perché si trova all'interno di questa rete di relazioni.

Dal nodo toracolombare al movimento 4D

A questo punto possiamo ricostruire il percorso concettuale sviluppato finora.

La matrice extracellulare crea il substrato nel quale le cellule e le forze interagiscono.

La fascia collega i differenti distretti.

I meccanorecettori trasformano la deformazione in informazione.

La pretensione prepara la rete alla risposta.

La tensegrità distribuisce tensione e compressione.

Lo Spine Engine introduce l'oscillazione del rachide.

La fascia toracolombare collega questo movimento al bacino e alla rete miofasciale.

Il passo successivo consiste quindi nell'introdurre esplicitamente il tempo.

Quando oscillazioni tridimensionali si propagano secondo una sequenza temporale, il movimento diventa un fenomeno **4D**.

Questo sarà il tema del prossimo capitolo.

Take home message

La fascia toracolombare deve essere considerata insieme al rachide come parte di un nodo funzionale che integra oscillazioni spinali, bacino e rete miofasciale.

Nell'uomo questo sistema collega il rachide agli arti inferiori attraverso il bacino.

Nel cane il sistema riceve posteriormente una parte importante della propulsione attraverso il collegamento osseo bacino-rachide e contribuisce poi alla sua integrazione con una cintura scapolare sospesa muscolo-fascialmente.

La fascia toracolombare non rappresenta un motore isolato.



Essa rappresenta una componente fondamentale del **sistema attraverso il quale il movimento viene organizzato, distribuito e continuamente restituito al corpo.**

Fermati un attimo

Possiamo disegnare una freccia che parte dal rachide, attraversa il bacino e raggiunge un arto.

Il disegno è utile ma il corpo non si ferma alla punta della freccia.

L'arto raggiunge il terreno.

Il terreno restituisce una forza.

La forza risale nel corpo.

Il rachide modifica nuovamente la propria configurazione.

La fascia cambia tensione.

Il ciclo ricomincia.

Quando ogni fine diventa l'inizio della fase successiva, non stiamo più descrivendo una catena: stiamo descrivendo un circuito.

Messaggi chiave

- Fascia e rachide toracolombare occupano una posizione centrale nel circuito locomotorio descritto in questa guida.
- La fascia toracolombare deve essere interpretata insieme al rachide e non come una struttura indipendente.
- Il complesso toracolombare partecipa alla relazione biomeccanica tra bacino e tronco.
- Il rachide modifica la tensione fasciale e la rete fasciale condiziona le condizioni meccaniche del rachide.
- La pretensione permette alla rete di rispondere rapidamente alle variazioni del carico.
- La tensegrità spiega come mobilità e stabilità possano coesistere.
- Nel cane gli arti posteriori trasmettono una parte importante della propulsione attraverso il bacino e il rachide lombosacrale.
- Il cingolo pelvico canino possiede un collegamento osseo con il rachide.
- La cintura scapolare canina utilizza invece una sospensione muscolo-fasciale.
- Gli arti posteriori e anteriori del cane svolgono funzioni biomeccaniche parzialmente differenti.
- Il rachide integra e coordina la componente propulsiva posteriore e quella di sostegno e assorbimento anteriore.
- Nell'uomo il complesso toracolombare collega funzionalmente bacino, arti inferiori e tronco.
- Le forze non viaggiano in una sola direzione perché le reazioni del terreno ritornano continuamente verso il corpo.
- La fascia trasmette contemporaneamente tensione e informazione meccanica.



Le Guide Love Your Life

- La rigidità eccessiva e la mobilità scarsamente controllata possono entrambe ridurre l'efficienza.
- Il movimento deve essere interpretato come un circuito dinamico e non come una sequenza lineare.
- L'introduzione della dimensione temporale conduce al concetto di circuito oscillatorio 4D.



Capitolo 11 — Il movimento tridimensionale diventa 4D

Il corpo non si muove dentro una fotografia

Una rappresentazione anatomica mostra il corpo in una determinata posizione ma il movimento non può essere compreso attraverso una singola immagine.

Il corpo cambia costantemente configurazione.

Il bacino ruota, il rachide oscilla, gli arti modificano la propria posizione e il terreno restituisce forze differenti in ogni fase dell'appoggio.

Le tre dimensioni dello spazio descrivono dove si trovano i segmenti corporei ma non descrivono completamente il movimento.

Per comprendere la locomozione dobbiamo aggiungere una quarta dimensione: **il tempo**.

Il movimento diventa un fenomeno 4D.

Le tre dimensioni dello spazio

Ogni segmento corporeo può muoversi secondo tre dimensioni spaziali.

La biomeccanica descrive convenzionalmente questi movimenti attraverso tre piani principali:

- piano sagittale;
- piano frontale;
- piano trasverso.

Il piano sagittale comprende principalmente flessione ed estensione.

Il piano frontale comprende principalmente inclinazioni e spostamenti laterali.

Il piano trasverso comprende principalmente le rotazioni.

Questa suddivisione è utile per analizzare il movimento ma il corpo reale combina in modo continuo i tre piani.

Un passo non contiene soltanto flessione ed estensione.

Il bacino ruota, il tronco controruota e il centro di massa modifica contemporaneamente la propria posizione.

La locomozione è un movimento tridimensionale.

La quarta dimensione è il tempo

La stessa posizione corporea può possedere significati biomeccanici differenti in relazione al momento nel quale compare.

Un arto può trovarsi in una determinata posizione mentre sta caricando il peso oppure mentre sta lasciando il terreno.

La geometria può apparire simile ma la funzione cambia.

Il tempo stabilisce quindi:



- quando avviene un movimento;
- quanto dura;
- con quale velocità avviene;
- quale movimento lo precede;
- quale movimento lo segue.

La locomozione non consiste pertanto in una serie di posizioni indipendenti.

Essa consiste in una **sequenza organizzata di trasformazioni**.

Una configurazione prepara la successiva

Ogni fase del movimento modifica le condizioni nelle quali avverrà la fase seguente.

Quando il piede umano entra in contatto con il terreno, la struttura deve assorbire e distribuire il carico.

Questa fase modifica la tensione dell'arto, la posizione del bacino e l'organizzazione del tronco.

La configurazione raggiunta prepara la fase propulsiva successiva.

Nel cane accade qualcosa di analogo ma il processo coinvolge quattro arti e due cingoli biomeccanicamente differenti.

Il movimento possiede quindi una direzione temporale.

La fase presente contiene una parte della storia della fase precedente e prepara le condizioni della fase successiva.

Il movimento è un processo oscillatorio

Il movimento oscillatorio rappresenta una componente centrale del modello e può essere considerato il principio generativo della dinamica descritta in questa sezione.

Un'oscillazione implica una variazione periodica attorno a una configurazione di riferimento.

Durante la locomozione oscillano numerose strutture.

Il bacino oscilla.

Il rachide oscilla.

Gli arti alternano appoggio e avanzamento.

Il centro di massa modifica la propria altezza e la propria posizione.

La testa viene controllata rispetto a queste oscillazioni.

La locomozione utilizza una combinazione di oscillazioni coordinate.

Oscillazione non significa semplice movimento avanti e indietro

Un'oscillazione biologica non deve essere immaginata necessariamente come un pendolo che si muove lungo una sola linea.

Il corpo può combinare più componenti contemporaneamente.



Il bacino può ruotare mentre si inclina e trasla.

Il rachide può combinare rotazione, inclinazione e flesso-estensione.

Gli arti possono cambiare contemporaneamente angolo e orientamento.

Il risultato è un'oscillazione tridimensionale.

Quando questa oscillazione viene osservata nel tempo, il movimento assume la sua natura 4D.

La fase rappresenta una variabile fondamentale

Due oscillazioni possono avere la stessa frequenza ma produrre risultati completamente differenti se cambia la relazione temporale tra loro.

Questa relazione prende il nome di fase.

Durante la locomozione la posizione temporale relativa dei segmenti corporei assume un'importanza fondamentale.

La rotazione del bacino deve essere coordinata con il movimento degli arti.

La controrotazione del tronco deve essere coordinata con il bacino.

Nel cane il comportamento degli arti anteriori deve essere coordinato con quello degli arti posteriori e con il rachide.

La qualità del movimento dipende non soltanto dall'ampiezza dei movimenti ma anche dalla loro sincronizzazione.

La coordinazione è soprattutto temporale

Una persona può possedere una buona mobilità articolare e una buona forza ma può muoversi in modo poco efficace se l'attivazione delle diverse componenti avviene nel momento sbagliato.

Lo stesso principio vale per il cane.

La coordinazione rappresenta quindi anche la capacità di organizzare il **quando**.

Un movimento efficiente richiede che ogni componente intervenga nella fase appropriata.

La biomeccanica 4D aggiunge alla geometria corporea la sequenza temporale.

Ritmo e locomozione

Ogni andatura possiede un proprio ritmo.

Nel cane il passo, il trotto e il galoppo utilizzano successioni differenti di appoggi.

Il ritmo modifica la relazione tra arti, rachide e terreno.

Nell'uomo il cammino possiede invece un'alternanza ciclica tra i due arti inferiori.

Il ritmo non è soltanto la frequenza dei passi.

Esso comprende anche il modo in cui le differenti componenti del corpo si organizzano all'interno del ciclo.

La locomozione può quindi essere descritta come una sequenza ritmica di configurazioni.

Dal ritmo al circuito

Quando una sequenza si ripete e ogni fase contribuisce a generare la successiva, il sistema assume una struttura ciclica.

Il termine circuito oscillatorio 4D descrive proprio questa organizzazione.

Il termine circuito possiede un significato importante.

Una catena lineare possiede un inizio e una fine.

Un circuito ritorna invece verso la propria configurazione iniziale e prepara un nuovo ciclo.

La locomozione appartiene molto più alla seconda situazione.

Il passo successivo nasce dal risultato del passo precedente.



www.giovanichetta.it

Figura — Circuito oscillatorio 4D: il tempo organizza la continuità tra corpo, arti e terreno.

Non esiste un vero punto zero

Per descrivere un circuito dobbiamo scegliere convenzionalmente un punto di partenza.

Possiamo partire dal rachide.

Possiamo partire dal bacino.

Possiamo partire dal piede oppure dalla zampa.

Il corpo reale non possiede però un punto nel quale il movimento si azzera completamente tra un ciclo e l'altro.



Il sistema conserva tensioni, velocità, posizione e informazioni provenienti dalla fase precedente.

Il nuovo ciclo è una continuazione del precedente.

Quando il circuito viene descritto a partire dalla fascia e dal rachide toracolombare, questa scelta identifica un nodo funzionale centrale ma non implica l'esistenza di un inizio assoluto.

Dal principio generale ai due circuiti specifici

Il concetto di 4D definisce prima di tutto una regola generale: la configurazione spaziale acquista significato soltanto quando viene collocata nella sequenza temporale del gesto. Uomo e cane condividono questa organizzazione ma la realizzano attraverso geometrie differenti.

Il circuito umano e quello canino vengono analizzati separatamente nei due capitoli successivi. Qui interessa fissare il principio: ogni fase nasce dalla precedente, modifica le forze disponibili e prepara la fase che seguirà.

Passo, trotto e galoppo modificano la geometria temporale

Il circuito generale rimane valido come schema interpretativo ma la sua organizzazione temporale cambia con l'andatura.

Il passo utilizza una successione di appoggi diversa dal trotto.

Il trotto utilizza una coordinazione differente rispetto al galoppo.

Il galoppo aumenta inoltre l'importanza delle flessione-estensioni spinali.

Il circuito non deve essere considerato una sequenza rigida identica in ogni situazione.

La sua geometria temporale cambia.

Il concetto 4D permette proprio di includere questa variabilità.

Anche la velocità modifica il circuito

Un movimento lento lascia più tempo alle correzioni sensoriali.

Un movimento rapido richiede una maggiore componente anticipatoria.

La velocità modifica inoltre le forze inerziali e la quantità di energia che deve essere assorbita e restituita.

Il circuito oscillatorio deve cambiare organizzazione in relazione alla velocità.

Un cane che cammina e lo stesso cane che corre non utilizzano semplicemente lo stesso movimento eseguito più rapidamente.

Il sistema cambia la propria strategia.

Lo stesso principio vale per l'uomo.

La frequenza modifica la risposta dei tessuti

I tessuti biologici possiedono caratteristiche viscoelastiche.

La loro risposta dipende quindi anche dalla velocità e dalla durata della deformazione.



Un carico applicato lentamente può produrre una deformazione differente rispetto allo stesso carico applicato rapidamente.

La dimensione temporale riguarda non soltanto la coordinazione nervosa ma anche la risposta meccanica dei tessuti.

Il movimento 4D coinvolge contemporaneamente controllo nervoso e proprietà della materia biologica.

Il sistema nervoso deve prevedere il futuro immediato

Durante un movimento rapido il sistema nervoso non può attendere sempre che una perturbazione sia completamente avvenuta.

Esso deve anticipare.

Il feedforward utilizza l'esperienza precedente per preparare la configurazione successiva.

Il feedback corregge invece ciò che accade realmente.

Il circuito 4D contiene una continua relazione tra passato, presente e futuro immediato.

La fase precedente fornisce informazioni.

La fase presente utilizza quelle informazioni.

La fase successiva viene anticipata.

La locomozione costituisce anche un processo predittivo.

Memoria motoria e circuito

La ripetizione permette al sistema nervoso di riconoscere regolarità.

Il corpo apprende gradualmente quali tensioni, posizioni e sequenze sono più efficaci.

La locomozione abituale diventa fortemente automatizzata.

Questo automatismo non elimina l'adattabilità.

Un sistema efficiente conserva infatti la possibilità di modificare rapidamente il programma quando cambia il terreno oppure compare un ostacolo.

Il circuito 4D non rappresenta una ripetizione meccanica.

Esso rappresenta una ripetizione adattativa.

La statica rappresenta un caso particolare della dinamica

Anche quando il corpo sembra fermo, il tempo continua a far parte del sistema.

Il centro di massa oscilla.

Il tono muscolare cambia.

La respirazione modifica la configurazione del tronco.

Le tensioni fasciali vengono continuamente redistribuite.

La cosiddetta statica è una dinamica caratterizzata da oscillazioni di ampiezza ridotta.



Questo principio permette di utilizzare lo stesso modello generale per postura e locomozione.

La differenza riguarda soprattutto l'ampiezza, la velocità e l'organizzazione delle oscillazioni.

Dalla statica alla locomozione senza una vera separazione

Il passaggio dalla stazione ferma al primo passo non crea improvvisamente un sistema nuovo.

Il corpo aumenta e riorganizza oscillazioni già presenti.

Il centro di massa viene spostato.

La base di appoggio cambia.

Un arto viene scaricato.

Il corpo entra nella sequenza locomotoria.

La dinamica evidente emerge quindi da una dinamica posturale già esistente.

Il circuito oscillatorio possiede pertanto una continuità funzionale.

Perché parlare di 4D cambia la lettura del movimento

Una valutazione puramente tridimensionale può descrivere correttamente gli angoli articolari ma può perdere la relazione temporale tra i diversi segmenti.

Due soggetti possono mostrare ampiezze articolari simili ma utilizzare sequenze differenti.

Uno dei due può muoversi in modo fluido mentre l'altro può utilizzare compensazioni.

La differenza può trovarsi soprattutto nella fase e nella sincronizzazione.

La biomeccanica 4D aggiunge una domanda fondamentale:

non soltanto “quanto si muove questa struttura?” ma anche “quando si muove rispetto alle altre?”

La qualità nasce dalla sincronizzazione

Il movimento efficiente non richiede necessariamente la massima ampiezza di movimento.

Esso richiede l'ampiezza adeguata nel momento adeguato.

Lo stesso principio vale per la forza.

La massima forza disponibile non deve essere utilizzata in ogni fase.

Il sistema deve produrre la forza necessaria nel momento corretto.

La qualità della locomozione nasce dall'incontro tra spazio, forza e tempo.

Dal concetto generale ai due circuiti specifici

Il circuito oscillatorio 4D fornisce quindi una cornice generale.

Uomo e cane condividono alcuni principi:

- entrambi utilizzano oscillazioni;



- entrambi integrano rachide, bacino e arti;
- entrambi interagiscono ciclicamente con il terreno;
- entrambi ricevono reazioni dal terreno;
- entrambi coordinano movimento e informazione nel tempo.

Le differenze riguardano invece la geometria del circuito.

L'uomo utilizza una configurazione bipede nella quale il piede ha un ruolo terminale fondamentale.

Il cane utilizza una configurazione quadrupede nella quale cingolo posteriore e cintura scapolare possiedono funzioni strutturalmente differenti.

I prossimi capitoli analizzeranno separatamente questi due circuiti.

Take home message

La locomozione non può essere compresa soltanto attraverso le tre dimensioni dello spazio.

Il tempo determina sequenza, ritmo, fase, velocità e sincronizzazione.

Il movimento diventa un fenomeno 4D.

Uomo e cane utilizzano entrambi circuiti oscillatori nei quali rachide, bacino, arti e terreno interagiscono continuamente ma la geometria dei due sistemi è profondamente differente.

Il movimento efficace non dipende soltanto da ciò che si muove ma anche dal momento nel quale ogni struttura si muove rispetto alle altre.

Fermati un attimo

Immagina un'orchestra nella quale tutti i musicisti possiedono strumenti perfetti e conoscono perfettamente ogni nota.

Ora immagina che ciascuno inizi a suonare nel momento sbagliato.

Tutte le note sarebbero corrette ma la musica non esisterebbe più.

Il movimento utilizza lo stesso principio.

Un'articolazione può avere una mobilità normale e un muscolo può possedere una forza normale ma il gesto può risultare inefficiente se le diverse componenti non intervengono nella fase corretta.

La coordinazione è geometria organizzata nel tempo.

Messaggi chiave

- Il movimento biologico avviene nelle tre dimensioni dello spazio e nella dimensione temporale.
- La quarta dimensione permette di descrivere sequenza, ritmo, velocità e fase.
- La locomozione è un processo oscillatorio.
- Le oscillazioni corporee sono tridimensionali e non semplicemente lineari.
- La sincronizzazione tra le diverse oscillazioni è una componente fondamentale della coordinazione.
- Una configurazione motoria prepara sempre quella successiva.



- Il circuito oscillatorio non possiede un vero punto iniziale assoluto.
- Il terreno costituisce una componente del circuito perché restituisce le forze generate durante l'appoggio.
- Nell'uomo il circuito collega complesso toracolombare, bacino, arto inferiore, piede, terreno e risalita verso tronco e testa.
- Questo assetto conferisce alla locomozione umana una rilevante componente elicoidale.
- Nel cane il circuito integra arti posteriori, bacino, rachide, cintura scapolare e arti anteriori.
- Il cingolo posteriore e quello anteriore del cane utilizzano modalità strutturali differenti.
- Il rachide integra temporalmente e spazialmente le due regioni del corpo canino.
- Passo, trotto e galoppo modificano l'organizzazione temporale del circuito.
- Anche la velocità modifica la strategia biomeccanica.
- Le proprietà viscoelastiche dei tessuti rendono il tempo una variabile anche sul piano meccanico.
- Feedback e feedforward inseriscono nel circuito il rapporto tra esperienza precedente e previsione della fase successiva.
- La statica rappresenta un caso particolare della dinamica caratterizzato da oscillazioni ridotte.
- La biomeccanica 4D analizza non soltanto quanto una struttura si muove ma anche quando essa si muove rispetto alle altre.



PARTE IV — CANE E UOMO A CONFRONTO

Capitolo 12 — Il circuito oscillatorio 4D dell'uomo

Dallo Spine Engine al piede

Il circuito oscillatorio 4D dell'uomo rappresenta una sintesi funzionale dei concetti sviluppati nei capitoli precedenti.

La locomozione bipede non nasce infatti da una sequenza di segmenti indipendenti. Il rachide, il bacino, gli arti inferiori, il piede e il terreno partecipano a un processo continuo nel quale ogni fase modifica quella successiva.

Il percorso può essere sintetizzato attraverso la sequenza:

fascia e rachide toracolombare → bacino → arto inferiore → piede → reazione del terreno → risalita attraverso arto, bacino e tronco → rachide cervicale → testa → nuovo ciclo.

Questa rappresentazione deve essere letta come un circuito e non come una catena rigida.

Il punto di partenza è convenzionale. Il movimento reale non possiede un vero inizio perché ogni nuovo passo nasce dalle condizioni meccaniche e neurologiche create dal passo precedente.

Il complesso fascia-rachide toracolombare

Il circuito può essere descritto a partire dal complesso fascia-rachide toracolombare perché questa regione è un nodo importante tra tronco e bacino.

Il rachide produce oscillazioni e rotazioni mentre la fascia toracolombare modifica costantemente la propria tensione.

Il movimento vertebrale deforma la rete fasciale e la rete fasciale influenza le condizioni meccaniche nelle quali il rachide continua a muoversi.

La relazione è quindi reciproca.

Il complesso toracolombare non deve essere immaginato come un motore isolato. Esso rappresenta piuttosto una regione nella quale movimento assiale, tensione fasciale e controllo neuromuscolare vengono integrati.

Dal rachide al bacino

Il bacino è il principale nodo di collegamento tra il sistema assiale e gli arti inferiori.

Quando il rachide e la fascia toracolombare modificano la propria configurazione, il bacino partecipa a questa trasformazione attraverso rotazioni, inclinazioni e spostamenti.

Durante il cammino il bacino non rimane infatti immobile.

Esso ruota sul piano trasverso, modifica leggermente la propria inclinazione e partecipa alla progressione del centro di massa.

Questi movimenti non costituiscono elementi accessori.

Essi permettono di collegare le oscillazioni del tronco alla locomozione degli arti inferiori.



Il bacino non è un blocco rigido

Una rappresentazione troppo semplificata può descrivere il bacino come una struttura rigida posta tra rachide e gambe.

Dal punto di vista funzionale il bacino rappresenta invece una piattaforma mobile.

La sua posizione cambia in relazione alla fase del passo.

La rotazione del bacino modifica la posizione funzionale dell'anca.

La posizione dell'anca modifica la traiettoria dell'arto.

La tensione dell'arto modifica a sua volta il comportamento del piede.

Il bacino è un elemento centrale della continuità del circuito.

Rotazione del bacino e lunghezza del passo

La rotazione pelvica contribuisce alla progressione perché permette all'arto inferiore di avanzare senza richiedere che tutto il movimento provenga esclusivamente dall'articolazione coxo-femorale.

Il corpo distribuisce l'escursione necessaria tra differenti segmenti.

Questa strategia riduce la necessità di movimenti estremi in una singola articolazione.

La locomozione efficiente utilizza la somma coordinata di numerosi piccoli movimenti.

Il bacino partecipa così alla lunghezza funzionale del passo e alla continuità della progressione.

Dal bacino all'arto inferiore

L'arto inferiore riceve contemporaneamente informazioni e forze provenienti dal bacino e dal terreno.

Durante la fase di oscillazione esso deve avanzare e prepararsi al nuovo contatto.

Durante la fase di appoggio esso deve invece sostenere il peso, controllare la progressione e trasmettere le forze.

L'arto non possiede una funzione unica.

La sua funzione cambia nel tempo.

Anca, ginocchio, caviglia e piede modificano in modo continuo il proprio comportamento in relazione alla fase del passo.

La dimensione 4D diventa indispensabile per comprenderne la funzione.

L'anca come grande snodo tridimensionale

L'anca collega il bacino al femore e permette movimenti nei tre piani dello spazio.

Durante il cammino essa combina flessione-estensione, adduzione-abduzione e rotazione.

La posizione dell'anca influenza l'orientamento dell'intero arto inferiore.

Una rotazione femorale modifica infatti la posizione del ginocchio, della tibia e del piede.

Il movimento dell'anca deve quindi essere interpretato all'interno di una sequenza globale.



Il sistema non muove prima il bacino e poi l'anca come due eventi indipendenti.

Le due strutture cambiano posizione contemporaneamente e reciprocamente.

Il ginocchio come elemento di trasmissione e adattamento

Il ginocchio viene spesso rappresentato soprattutto attraverso la flessione e l'estensione.

La sua funzione durante la locomozione è però più complessa.

Il ginocchio deve controllare il carico e permettere la progressione dell'arto.

La sua posizione dipende dalla relazione tra femore, tibia e piede.

Le rotazioni provenienti superiormente e inferiormente modificano il comportamento funzionale dell'articolazione.

Il ginocchio si trova al centro di una catena che riceve contemporaneamente influenze dal bacino e dal terreno.

La caviglia regola il passaggio della forza

La caviglia permette al corpo di avanzare sopra il piede durante la fase di appoggio.

Essa partecipa inoltre alla transizione tra assorbimento iniziale e restituzione finale dell'energia.

La sua funzione deve essere coordinata con il piede.

Una caviglia che si muove senza un piede capace di adattarsi al terreno non può svolgere in modo ottimale il proprio compito.

Il sistema caviglia-piede deve essere considerato come un insieme funzionale.

Il piede rappresenta molto più di una base

Il piede costituisce l'interfaccia terminale tra corpo e terreno.

Esso deve svolgere funzioni apparentemente opposte.

Il piede deve adattarsi alla superficie e fornire una base sufficientemente stabile; deve assorbire parte del carico, contribuire alla restituzione dell'energia, deformarsi e poi diventare funzionalmente più rigido durante la propulsione.

Questa capacità di cambiare comportamento è una delle caratteristiche fondamentali della locomozione bipede.

Il piede entra nel circuito attraverso la deformazione

Quando il piede entra in contatto con il terreno, la sua struttura modifica nel tempo la propria configurazione.

Le articolazioni, i tessuti connettivi e la muscolatura intrinseca ed estrinseca partecipano alla distribuzione del carico.

La deformazione modifica inoltre la tensione dell'intero arto inferiore.

Il piede non assorbe quindi semplicemente una forza.



Esso trasforma quella forza e modifica il modo in cui essa viene trasmessa verso l'alto.

La relazione tra piede e arto è bidirezionale.

L'elica podalica

Nel modello umano il piede viene interpretato attraverso il concetto di Podalic helix.

L'immagine dell'elica è utile perché il piede non funziona esclusivamente attraverso movimenti lineari di abbassamento e sollevamento.

La sua configurazione tridimensionale permette trasformazioni rotazionali.

Le rotazioni delle diverse regioni del piede si integrano con quelle dell'arto inferiore e del bacino.

Il piede partecipa quindi a una continuità elicoidale che coinvolge l'intero sistema locomotorio.

Il significato biomeccanico dell'elica

Un'elica combina rotazione e avanzamento.

Questa geometria permette di trasformare movimenti tra piani differenti senza interrompere la continuità della traiettoria.

Le configurazioni elicoidali del moto umano possono contribuire alla stabilità dinamica, alla gestione dell'energia e alla continuità del movimento.

Il concetto deve essere interpretato come modello funzionale.

Il corpo non possiede infatti una singola elica anatomica rigida.

Esso produce invece sequenze di rotazioni coordinate che possono essere descritte attraverso geometrie elicoidali.

Rotazione e controrotazione

Quando il bacino ruota in una direzione, il tronco può produrre una controrotazione.

Questa organizzazione contribuisce alla gestione del momento angolare.

Nel modello umano il bacino ruota, la regione superiore controruota e la testa viene stabilizzata.

Il corpo può avanzare mantenendo un controllo efficace della propria orientazione.

La locomozione non richiede che tutti i segmenti ruotino nella stessa direzione.

L'efficienza nasce proprio dall'organizzazione di rotazioni complementari.

Gli arti superiori partecipano al circuito

Gli arti superiori non sostengono normalmente il peso durante il cammino ma partecipano comunque alla locomozione.

La loro oscillazione contribuisce alla compensazione delle rotazioni del tronco e del bacino.

Il movimento delle braccia costituisce una componente del sistema globale.

La bipedia ha liberato gli arti superiori dalla funzione portante principale ma non li ha esclusi dalla biomeccanica del cammino.



Il circuito umano coinvolge pertanto anche regioni che non toccano direttamente il terreno.

La reazione del terreno

Quando il piede esercita una forza contro il suolo, il suolo esercita sul piede una forza di reazione.

Questa forza costituisce una componente fondamentale del circuito.

Il corpo non produce il movimento esclusivamente dall'interno.

La locomozione nasce dall'interazione tra organismo e ambiente.

La reazione del terreno entra attraverso il piede e viene progressivamente trasmessa verso caviglia, gamba, ginocchio, coscia e bacino.

La forza raggiunge il tronco e modifica l'intero sistema.

La forza non risale come una freccia rigida

La rappresentazione della forza che risale dal piede verso il tronco è utile ma deve essere interpretata correttamente.

La forza non percorre un'unica linea anatomica.

Essa viene distribuita attraverso ossa, articolazioni, muscoli e tessuti connettivi.

La posizione articolare modifica il percorso.

La tensione muscolare modifica il percorso.

La velocità modifica il percorso.

La configurazione del piede modifica il percorso.

Il circuito rappresenta una rete di trasferimenti e non una tubazione attraverso la quale la forza fluisce in modo invariabile.

Dal terreno nuovamente al bacino

La reazione del terreno modifica progressivamente la posizione dell'arto.

Il bacino riceve queste conseguenze.

La posizione pelvica cambia e il tronco deve adattarsi.

Il circuito torna quindi verso il sistema assiale.

La fase di risalita non rappresenta un semplice ritorno della stessa forza che era scesa precedentemente.

Il sistema ha infatti modificato quella forza attraverso deformazioni, dissipazione, produzione muscolare e restituzione elastica.

Il corpo trasforma continuamente l'energia meccanica.

Il tronco riceve e redistribuisce

Quando la reazione del terreno raggiunge il bacino e il tronco, il sistema assiale deve integrare la sollecitazione con le oscillazioni già presenti.



Il rachide non riceve quindi una forza in una struttura immobile.

Esso riceve una forza mentre sta già ruotando, inclinandosi e modificando la propria tensione.

Questa sovrapposizione di processi rende la locomozione autenticamente 4D.

Ogni evento meccanico avviene all'interno di un sistema già in movimento.

Il rachide cervicale completa la risalita

Il circuito umano prosegue dal tronco verso il rachide cervicale e la testa.

Il rachide cervicale deve permettere movimento e contemporaneamente contribuire alla stabilizzazione cefalica.

La testa non può seguire passivamente ogni oscillazione del tronco.

Il sistema deve limitare e modulare parte di questi movimenti per conservare un riferimento sensoriale sufficientemente stabile.

La regione cervicale è un ulteriore elemento di compensazione e adattamento.

La testa come piattaforma sensoriale

La testa contiene apparato vestibolare, occhi e numerosi sistemi sensoriali.

La sua stabilizzazione possiede un significato biomeccanico e neurologico.

Il sistema visivo necessita di un controllo sufficiente dello sguardo.

L'apparato vestibolare rileva accelerazioni e posizione della testa.

Il rachide cervicale deve coordinarsi con le oscillazioni inferiori senza annullarle completamente.

La testa rappresenta così la parte superiore di un circuito che è contemporaneamente motorio e sensoriale.

Dalla testa al nuovo ciclo

Il circuito non termina realmente alla testa.

Le informazioni provenienti da vista, vestibolo e propriocezione vengono utilizzate dal sistema nervoso per organizzare il movimento successivo.

La conclusione meccanica del percorso coincide con l'inizio informativo del nuovo ciclo.

Il corpo riceve informazioni sulla posizione raggiunta e prepara la fase successiva.

La locomozione diventa così un circuito nel quale **forza e informazione si alimentano reciprocamente**.

Il circuito non è soltanto meccanico

Possiamo distinguere didatticamente due flussi.

Il primo riguarda la meccanica:

oscillazione → trasmissione → appoggio → reazione del terreno → risalita.

Il secondo riguarda l'informazione:



movimento → stimolazione sensoriale → elaborazione nervosa → correzione o anticipazione → nuovo movimento.

Nel corpo reale i due flussi non sono separati.

Ogni forza produce informazione e ogni informazione modifica il modo in cui la forza verrà prodotta.

Il circuito oscillatorio 4D è quindi contemporaneamente biomeccanico e neurosensoriale.

Energia elastica e continuità del movimento

Il sistema muscolo-tendineo e fasciale può accumulare temporaneamente energia durante alcune fasi del passo.

Una parte di questa energia può essere restituita successivamente.

La locomozione efficiente utilizza non soltanto energia metabolica prodotta dalla contrazione muscolare ma anche capacità elastiche dei tessuti.

Il circuito diventa più efficiente quando produzione muscolare e restituzione elastica vengono coordinate.

Il tempo torna ad avere un ruolo decisivo.

Una restituzione che avviene nel momento sbagliato perde infatti gran parte della propria utilità biomeccanica.

Il movimento umano come vortice controllato

Il movimento umano può essere descritto come un Human vortex caratterizzato da rotazione del bacino, controrotazione della regione superiore e stabilizzazione della testa.

L'immagine del vortice permette di cogliere un aspetto importante.

L'uomo non avanza attraverso un corpo perfettamente allineato che trasla senza ruotare.

Il corpo avanza attraverso una serie organizzata di oscillazioni.

Il bacino ruota.

Il tronco controruota.

Gli arti oscillano.

Il piede si trasforma.

La testa viene controllata.

La progressione lineare emerge da una complessa organizzazione rotazionale.

Economia del movimento

Un circuito efficiente limita le accelerazioni inutili e distribuisce il lavoro tra differenti strutture.

Il corpo può utilizzare le rotazioni del bacino per aumentare la progressione, l'oscillazione degli arti superiori per bilanciare parte del momento angolare, l'elasticità del piede e dei tendini per immagazzinare e restituire energia e il sistema fasciale per distribuire le sollecitazioni.

L'economia non deriva da una riduzione assoluta del movimento.



Essa deriva da un'organizzazione efficace del movimento.

La rigidità rompe la continuità del circuito

Quando una regione perde mobilità, il sistema deve trovare una soluzione alternativa.

Una riduzione della rotazione pelvica può richiedere un aumento del movimento in altri distretti.

Una limitazione del piede può modificare la rotazione dell'arto.

Una rigidità toracica può aumentare la richiesta di compensazione cervicale o pelvica.

Il circuito cerca quindi di conservare la progressione attraverso adattamenti.

Questi adattamenti possono essere efficaci nel breve periodo ma possono aumentare il costo meccanico quando diventano persistenti.

Anche l'eccesso di movimento altera il circuito

La mobilità eccessiva non garantisce necessariamente una migliore funzione.

Una struttura che si muove molto ma senza un adeguato controllo può richiedere maggiore attività muscolare.

Il sistema può quindi consumare più energia per stabilizzare il movimento.

L'efficienza richiede un equilibrio tra mobilità e controllo.

Ogni distretto deve contribuire nella quantità e nella fase necessarie.

Il circuito cambia con la velocità

Il cammino lento e la corsa non rappresentano semplicemente la stessa sequenza eseguita a velocità differenti.

La frequenza aumenta.

Le forze cambiano.

Le fasi di appoggio si modificano.

La componente elastica assume un peso differente.

Il sistema nervoso utilizza maggiormente strategie anticipatorie.

Il circuito 4D deve essere inteso come un modello dinamico che cambia in relazione al compito.

La statica appartiene allo stesso circuito

Anche durante la stazione eretta il corpo continua a oscillare.

Il piede modifica continuamente la distribuzione delle pressioni.

La caviglia produce piccole correzioni.

Il bacino cambia leggermente posizione.

Il rachide modifica il tono e la configurazione.

La testa viene costantemente stabilizzata.



La differenza rispetto alla locomozione riguarda soprattutto l'ampiezza e l'organizzazione delle oscillazioni. La statica è una condizione particolare dello stesso sistema dinamico.

La specificità umana

Il circuito umano presenta alcune caratteristiche particolarmente importanti:

- la locomozione utilizza due arti portanti;
- il bacino è il nodo tra rachide e arti inferiori;
- il piede costituisce l'interfaccia terminale principale con il terreno;
- le rotazioni del bacino vengono integrate con controrotazioni superiori;
- gli arti superiori partecipano alla gestione del momento angolare senza sostenere normalmente il corpo;
- la testa viene stabilizzata sopra una struttura prevalentemente verticale.

Queste caratteristiche distinguono profondamente il circuito umano da quello canino.

Il piede rappresenta la grande specializzazione della bipedia

La bipedia concentra sul piede funzioni che nel cane vengono distribuite in modo differente tra quattro estremità.

Il piede deve sostenere l'intero corpo durante l'appoggio monopodalico: deve adattarsi, stabilizzarsi, assorbire il carico, contribuire alla propulsione, fornire informazioni sensoriali e trasformare le rotazioni provenienti dall'arto e dal terreno.

La sua complessità riflette la complessità del problema biomeccanico della bipedia.

Il circuito umano in forma sintetica

Possiamo ora sintetizzare il percorso:

1. Il complesso fascia-rachide toracolombare oscilla e modifica la tensione della rete.
2. Il bacino integra queste oscillazioni e le trasferisce agli arti inferiori.
3. L'arto inferiore porta il sistema verso il piede.
4. Il piede si adatta al terreno e trasforma le forze.
5. Il terreno restituisce una forza di reazione.
6. La forza risale attraverso piede, arto inferiore e bacino.
7. Il tronco redistribuisce le rotazioni e produce controrotazioni.
8. Il rachide cervicale contribuisce alla stabilizzazione della testa.
9. I sistemi sensoriali aggiornano il controllo motorio.
10. Il nuovo ciclo nasce dalle condizioni prodotte dal ciclo precedente.

Questa sequenza è un modello didattico di un fenomeno che nel corpo avviene in modo continuo e sovrapposto.



Dal circuito umano a quello canino

Il circuito umano utilizza una relazione relativamente diretta tra sistema assiale, bacino, arti inferiori e piede.

Nel cane la situazione cambia profondamente.

Il sistema deve integrare quattro arti e due cingoli che possiedono caratteristiche strutturali differenti.

Posteriormente il bacino possiede una connessione ossea con il rachide.

Anteriormente la scapola rimane invece sospesa attraverso muscoli e fasce.

Il circuito canino deve quindi distribuire la propulsione, il carico e le rotazioni attraverso una geometria molto differente.

Il prossimo capitolo analizzerà questa organizzazione.

Take home message

Il circuito oscillatorio 4D umano collega il complesso fascia-rachide toracolombare al bacino, agli arti inferiori, al piede e al terreno e riporta successivamente le forze verso il tronco e la testa.

Il piede è una componente fondamentale perché trasforma contemporaneamente le forze provenienti dal corpo e quelle provenienti dal terreno.

La locomozione umana non consiste in una semplice alternanza degli arti inferiori.

Essa rappresenta un **processo globale nel quale oscillazioni, rotazioni, elasticità, informazione sensoriale e reazione del terreno formano un unico circuito.**

Fermati un attimo

Quando osserviamo una persona camminare da lontano, la traiettoria complessiva sembra quasi rettilinea.

Se però osserviamo il corpo più attentamente, scopriamo una realtà completamente diversa.

Il bacino ruota.

Il torace controruota.

Le braccia oscillano.

Il piede si deforma.

L'arto cambia orientamento.

Il rachide oscilla.

La testa viene stabilizzata.

La traiettoria lineare del corpo nasce da una moltitudine di movimenti curvilinei e rotazionali perfettamente coordinati nel tempo.

Messaggi chiave

- Il circuito oscillatorio umano deve essere interpretato come un processo continuo e non come una catena rigida.



Le Guide Love Your Life

- Il complesso fascia-rachide toracolombare è un nodo funzionale importante del circuito.
- Il bacino collega il sistema assiale agli arti inferiori.
- La rotazione pelvica contribuisce alla progressione e alla distribuzione del movimento.
- L'arto inferiore modifica in modo continuo la propria funzione tra fase di oscillazione e fase di appoggio.
- L'anca rappresenta uno snodo tridimensionale fondamentale.
- Il ginocchio riceve influenze biomeccaniche sia dal bacino sia dal piede.
- Caviglia e piede devono funzionare come un sistema integrato.
- Il piede svolge contemporaneamente funzioni di adattamento, assorbimento, stabilizzazione, propulsione e percezione.
- il circuito umano al concetto di elica podalica.
- L'elica rappresenta la combinazione tra avanzamento e rotazione.
- Rotazione del bacino e controrotazione del tronco contribuiscono alla gestione del momento angolare.
- Gli arti superiori partecipano alla locomozione anche se non sostengono normalmente il peso.
- Il terreno costituisce una componente necessaria del circuito.
- La reazione del terreno viene distribuita attraverso piede, arto, bacino e tronco.
- La testa rappresenta una piattaforma sensoriale che deve essere sufficientemente stabilizzata.
- Il circuito è contemporaneamente meccanico e neurosensoriale.
- L'elasticità dei tessuti permette di immagazzinare e restituire parte dell'energia.
- Mobilità eccessiva e rigidità eccessiva possono entrambe ridurre l'efficienza.
- Il circuito cambia con la velocità e con il compito motorio.
- La statica è una forma a bassa ampiezza dello stesso sistema dinamico.
- La bipedia assegna al piede un ruolo biomeccanico particolarmente complesso.

Capitolo 13 — Il circuito oscillatorio 4D del cane

Il Dog vortex

Il movimento del cane può essere descritto attraverso il cosiddetto Dog vortex, un'organizzazione rotatoria nella quale il bacino ruota, le spalle controrotano, gli arti partecipano alla propagazione dell'oscillazione e la testa viene stabilizzata. Questo modello aiuta a visualizzare il cane come sistema dinamico integrato e non come semplice somma di segmenti separati.

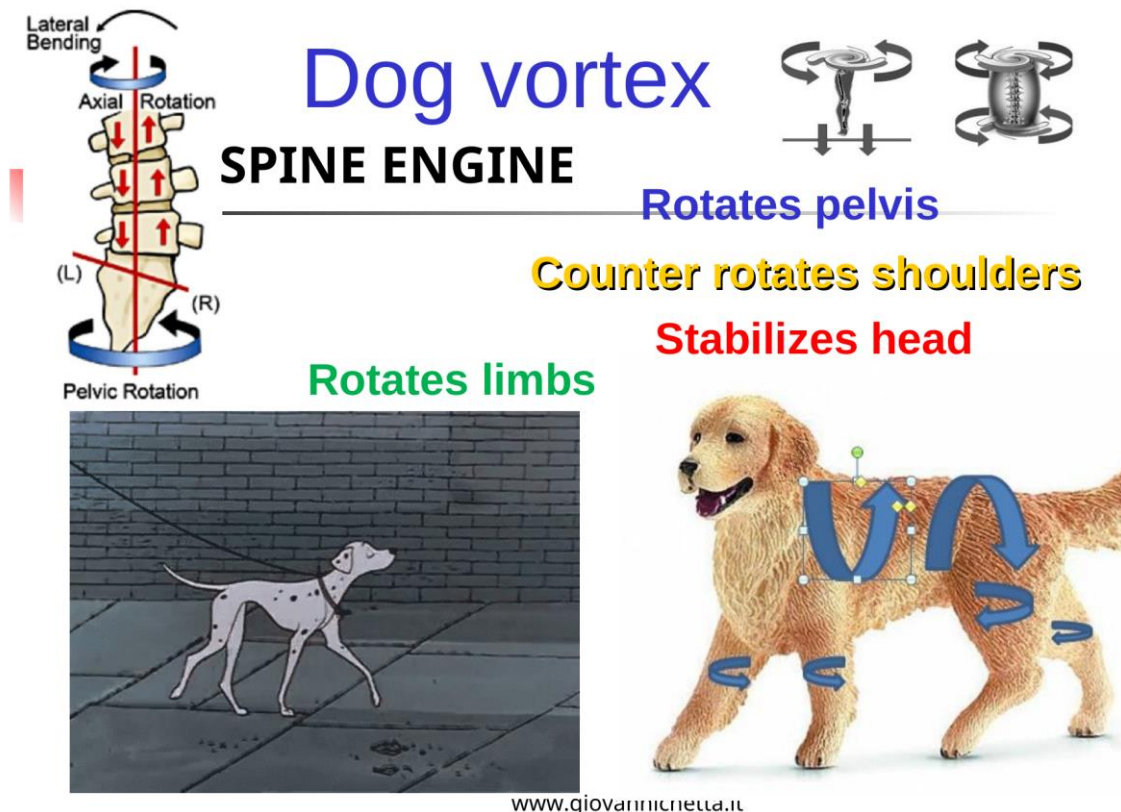


Figura — Dog vortex: bacino, spalle, arti e stabilizzazione della testa nel cane.

Una locomozione costruita su quattro arti e due cingoli differenti

Il circuito oscillatorio 4D del cane presenta una complessità maggiore rispetto a quello umano perché deve integrare quattro arti, un rachide prevalentemente orizzontale e due cingoli che possiedono caratteristiche strutturali profondamente diverse.

Il circuito può essere sintetizzato attraverso questa sequenza:

fascia e rachide toracolombare → bacino → arti posteriori → reazione del terreno → arto posteriore → bacino → rachide → cintura scapolare → arti anteriori → terreno → arto anteriore → torace → rachide → nuovo ciclo.

Questa sequenza non deve essere interpretata come un tragitto lineare nel quale la forza percorre sempre la stessa strada. Il circuito rappresenta invece una modalità didattica per descrivere un sistema nel quale produzione, trasmissione, assorbimento e restituzione delle forze avvengono continuamente e contemporaneamente.



Il complesso fascia-rachide toracolombare

Il circuito canino può essere descritto a partire dal complesso fascia-rachide toracolombare.

Questa regione rappresenta un nodo funzionale importante perché collega il sistema assiale al bacino e partecipa alla trasmissione delle oscillazioni lungo il tronco.

Il rachide modifica la tensione della rete fasciale mentre la rete fasciale influenza le condizioni meccaniche nelle quali il rachide si muove.

Il sistema funziona attraverso una relazione reciproca.

La posizione prevalentemente orizzontale del rachide canino modifica inoltre profondamente la geometria del sistema rispetto all'uomo.

Il bacino rappresenta il collegamento posteriore

Il bacino del cane possiede una continuità ossea con il rachide attraverso il sacro.

Questa caratteristica permette alle forze provenienti dagli arti posteriori di raggiungere il sistema assiale attraverso una connessione strutturalmente diretta.

In questa organizzazione, gli arti posteriori svolgono una funzione di spinta e propulsione; la trasmissione avviene attraverso il bacino con coinvolgimento del rachide lombosacrale.

Il bacino costituisce un nodo fondamentale della locomozione canina.

Gli arti posteriori producono la componente propulsiva

Gli arti posteriori partecipano in modo rilevante alla produzione della spinta.

La muscolatura dell'anca, della coscia e della gamba contribuisce alla generazione delle forze che vengono trasmesse al terreno attraverso la zampa.

Il terreno restituisce quindi una forza di reazione che risale attraverso l'arto.

Questa forza raggiunge il bacino e quindi il rachide.

Il sistema posteriore funziona pertanto in entrambe le direzioni.

Il corpo trasferisce forza verso il terreno e riceve contemporaneamente dal terreno una forza di reazione.

Propulsione non significa azione isolata degli arti posteriori

Definire gli arti posteriori come prevalentemente propulsivi non significa attribuire loro l'intera produzione del movimento.

La propulsione nasce infatti dall'interazione tra articolazioni, muscoli, bacino, rachide e rete fasciale.

Lo Spine Engine partecipa all'organizzazione del gesto.

Il sistema nervoso coordina la fase.

Il terreno rende possibile la trasformazione della forza interna in progressione.

Gli arti posteriori rappresentano una componente particolarmente importante del sistema propulsivo ma non costituiscono un motore indipendente dal resto del corpo.



La zampa posteriore rappresenta l'interfaccia con il terreno

La zampa posteriore deve trasferire la forza al terreno e ricevere la reazione del suolo.

La configurazione digitaligrada modifica il modo in cui il carico viene distribuito rispetto al piede umano.

Il cane utilizza le dita e le strutture distali dell'arto all'interno di un sistema che privilegia mobilità, elasticità e rapidità di risposta.

La zampa non rappresenta una semplice estremità dell'arto.

Essa costituisce il punto nel quale la forza interna incontra l'ambiente.

Il terreno restituisce la forza

Ogni spinta prodotta contro il terreno genera una reazione.

La forza restituita dal terreno risale attraverso la zampa e le articolazioni dell'arto posteriore.

La posizione delle articolazioni modifica il modo in cui questa forza viene distribuita.

Anche la tensione muscolare modifica la trasmissione.

Il terreno partecipa attivamente al circuito.

Il cane non si muove sopra il terreno come se questo fosse un supporto passivo.

La locomozione nasce dalla relazione dinamica tra organismo e superficie.

Dalla zampa al bacino

La reazione del terreno attraversa le strutture dell'arto e raggiunge il bacino.

Il bacino deve gestire contemporaneamente due fenomeni.

Esso riceve le forze prodotte dalla muscolatura degli arti posteriori e riceve le forze restituite dal terreno.

Il bacino integra queste componenti e le trasferisce al sistema assiale.

La regione lombosacrale assume una funzione particolarmente importante nella continuità del circuito.

Dal bacino al rachide

Il rachide riceve le conseguenze meccaniche della propulsione posteriore.

Queste conseguenze non vengono semplicemente trasmesse in avanti.

Il rachide modifica infatti la propria configurazione attraverso oscillazioni, rotazioni e flesso-estensioni.

La forza viene quindi trasformata dal movimento del sistema assiale.

Il rachide partecipa in questo modo alla coordinazione tra la parte posteriore e quella anteriore.

Il rachide integra e coordina le funzioni dei due gruppi di arti.

Il tronco canino non è una trave rigida

La posizione orizzontale del tronco può suggerire l'immagine di una struttura simile a una trave sostenuta anteriormente e posteriormente.



Questa rappresentazione è però troppo semplice.

Il rachide canino modifica continuamente la propria forma.

Il torace si muove.

Il bacino ruota.

Le scapole scorrono.

Il sistema fasciale modifica le proprie tensioni.

Il tronco è una struttura dinamica che distribuisce le sollecitazioni invece di trasmetterle semplicemente da un'estremità all'altra.

Il passaggio verso la parte anteriore

Dopo aver attraversato il sistema assiale, le oscillazioni e le forze raggiungono la regione toracica e la cintura scapolare.

Qui il circuito incontra una differenza anatomica fondamentale.

Il cingolo anteriore non possiede la stessa continuità ossea che caratterizza il bacino.

La scapola non possiede un'articolazione ossea diretta con il torace. Il collegamento anteriore va interpretato come una sospensione muscolo-fasciale capace di consentire scorrimento, assorbimento, stabilizzazione e modulazione delle rotazioni.

Questa differenza modifica radicalmente il comportamento della parte anteriore del circuito.

La scapola è sospesa e non incernierata al torace

La scapola canina scorre sulla parete toracica attraverso un sistema di muscoli e fasce.

Il tronco anteriore viene sostenuto tra gli arti attraverso una sorta di sospensione muscolare.

Questa organizzazione permette di assorbire parte delle sollecitazioni provenienti dal terreno e offre una maggiore libertà di scorrimento della scapola.

La cintura scapolare non è soltanto una regione di collegamento tra arto e tronco.

Essa costituisce un vero sistema di modulazione delle forze.

Il cingolo anteriore modifica la rigidità del sistema

La sospensione muscolo-fasciale permette al cane di modificare funzionalmente la relazione tra arto e torace.

Un aumento della tensione muscolare può aumentare la stabilizzazione.

Una minore tensione può invece consentire maggiore adattamento e scorrimento.

Il sistema può modulare la propria rigidità in relazione alla fase locomotoria.

Questa caratteristica rappresenta un'applicazione concreta dei principi di tensegrità sviluppati nei capitoli precedenti.



Gli arti anteriori sostengono una parte importante del carico

Gli arti anteriori svolgono soprattutto funzioni di sostegno, frenata e assorbimento del carico.

Queste funzioni acquistano particolare rilievo perché la parte anteriore del corpo riceve le conseguenze della progressione prodotta posteriormente.

Gli arti anteriori devono controllare l'avanzamento del corpo.

Essi devono ricevere la reazione del terreno e trasferirla verso il torace.

Il sistema anteriore non è pertanto passivo.

Esso svolge un ruolo attivo nella gestione della locomozione.

Frenare significa controllare energia

La frenata non deve essere interpretata soltanto come una riduzione intenzionale della velocità.

Ogni contatto dell'arto anteriore con il terreno richiede infatti una gestione delle forze che tendono a proseguire il movimento del corpo.

Una parte dell'energia deve essere assorbita.

Una parte può essere temporaneamente immagazzinata nei tessuti elastici.

Una parte può essere restituita nelle fasi successive.

Il sistema anteriore partecipa quindi alla regolazione energetica del ciclo locomotorio.

Assorbimento non significa dissipazione completa

Il termine assorbimento può far pensare che l'energia venga semplicemente eliminata.

Il corpo utilizza invece tessuti viscoelastici che possono deformarsi e restituire una parte dell'energia.

Tendini, fasce e altre strutture connettivali partecipano a questo comportamento.

La regione anteriore può controllare il carico senza dissipare necessariamente tutta l'energia ricevuta.

La locomozione efficiente utilizza un equilibrio tra assorbimento e restituzione.

Dalla zampa anteriore al torace

Quando la zampa anteriore entra in contatto con il terreno, la reazione del suolo risale lungo l'arto.

La forza raggiunge la regione scapolare.

La sospensione muscolo-fasciale distribuisce una parte della sollecitazione al torace.

Il torace trasmette e redistribuisce le forze verso il rachide.

Il circuito ritorna così al sistema assiale.

Il circuito segue proprio questo percorso: arto anteriore → torace → rachide → nuovo ciclo.

Il torace rappresenta una parte attiva del circuito

Il torace non costituisce una gabbia rigida.



La respirazione modifica costantemente la sua forma.

Le coste si muovono.

Il diaframma modifica le pressioni interne.

La cintura scapolare scorre sulla parete toracica.

La regione toracica partecipa a una dinamica complessa.

La forza proveniente dagli arti anteriori entra in un sistema già in movimento.

Il circuito canino possiede pertanto una forte integrazione tra locomozione e dinamica toracica.

Il rachide riceve nuovamente la forza

La forza proveniente dalla regione anteriore torna verso il rachide.

Il sistema assiale riceve quindi sollecitazioni sia dalla regione posteriore sia da quella anteriore.

Il rachide deve integrare queste due componenti nel tempo.

La coordinazione non riguarda soltanto la quantità di forza.

Essa riguarda soprattutto la fase nella quale ciascuna forza raggiunge il sistema.

Il circuito canino deve essere letto in quattro dimensioni.

La fase è fondamentale

La stessa forza può produrre effetti differenti se raggiunge il rachide in un momento diverso del ciclo.

La coordinazione tra arti posteriori e anteriori determina la distribuzione temporale del carico.

Nel passo questa coordinazione segue una determinata sequenza.

Nel trotto la relazione cambia.

Nel galoppo cambia ancora.

Il circuito oscillatorio generale rimane utile ma la sua organizzazione temporale varia profondamente.

Il passo utilizza una grande continuità degli appoggi

Durante il passo il cane utilizza una successione nella quale più arti possono partecipare contemporaneamente al sostegno.

Il centro di massa viene controllato attraverso una base di appoggio relativamente ampia.

Le oscillazioni del rachide sono generalmente più contenute rispetto alle andature più rapide.

Il circuito privilegia quindi continuità e controllo.

La trasmissione delle forze avviene attraverso una sequenza relativamente graduale.

Il trotto aumenta la simmetria dinamica

Nel trotto il cane coordina gli arti secondo una modalità differente e utilizza una relazione diagonale tra gli appoggi.



Questa configurazione modifica il modo in cui le forze vengono distribuite tra parte destra e sinistra e tra regione anteriore e posteriore.

Il rachide deve coordinare questa alternanza.

La stabilità emerge da una precisa organizzazione temporale.

La simmetria apparente del trotto nasce da una sequenza dinamica e non da una rigidità del tronco.

Il galoppo aumenta l'ampiezza delle oscillazioni

Nel galoppo la velocità cresce e il rachide ha un ruolo particolarmente evidente.

Le flessi-estensioni del tronco possono aumentare l'ampiezza funzionale del ciclo.

Gli arti posteriori e anteriori lavorano secondo sequenze temporali più complesse.

Possono comparire fasi di sospensione nelle quali nessuna zampa tocca il terreno.

Il circuito continua però anche durante queste fasi perché il corpo conserva velocità, energia e tensione.

Il terreno esce temporaneamente dal contatto ma non dal significato del ciclo.

Il circuito esiste anche durante la sospensione

Quando nessuna zampa tocca il terreno, il corpo non smette di muoversi.

Il rachide continua a modificare la propria configurazione.

Gli arti continuano la propria traiettoria.

La tensione elastica dei tessuti cambia.

Il sistema nervoso prepara il contatto successivo.

La fase di sospensione dimostra quindi chiaramente che il circuito non può essere ridotto alle sole reazioni del terreno.

Il circuito comprende anche inerzia, elasticità e controllo anticipatorio.

La coda partecipa alla dinamica globale

La coda può modificare la distribuzione delle masse e contribuire alle correzioni durante i cambi di direzione.

Il suo ruolo varia in relazione alla conformazione, alla velocità e al compito.

La coda non deve quindi essere interpretata come il principale stabilizzatore del cane ma può partecipare alla regolazione dinamica del corpo.

Il circuito canino comprende infatti l'intera struttura e non soltanto rachide e arti.

Il collo e la testa

Il movimento del tronco si propaga anche verso il collo.

La testa deve rimanere sufficientemente controllata per permettere una buona integrazione visiva, vestibolare e olfattiva.



Il cane possiede inoltre una forte specializzazione sensoriale della regione cefalica.

Il sistema cervicale deve conciliare mobilità e stabilizzazione.

Il controllo della testa rappresenta una parte integrante del circuito.

Il cane utilizza la testa anche per orientare il corpo

Nel cane la testa non è soltanto una piattaforma sensoriale passiva.

L'orientamento della testa può precedere oppure accompagnare un cambio di direzione.

Il collo modifica la distribuzione delle masse e la tensione del sistema.

Un movimento cefalico può contribuire a preparare l'intera configurazione corporea.

Il circuito locomotorio integra percezione e azione.

La locomozione è anche un circuito sensoriale

Ogni appoggio fornisce informazioni.

Le zampe rilevano caratteristiche della superficie.

Le articolazioni comunicano posizione e tensione.

La fascia rileva deformazioni.

L'apparato vestibolare rileva accelerazioni.

Gli occhi descrivono l'ambiente.

L'olfatto orienta il comportamento del cane.

Il sistema nervoso integra queste informazioni e modifica la fase successiva.

Il circuito oscillatorio è quindi contemporaneamente meccanico, propriocettivo e sensoriale.

Quattro arti significano più informazioni

La quadrupedia offre quattro interfacce principali con il terreno.

Ogni arto produce informazioni sulla superficie e sulla distribuzione del carico.

Il sistema nervoso deve integrare una grande quantità di dati.

Questa ricchezza sensoriale permette una notevole capacità di adattamento ma richiede una coordinazione molto precisa.

La locomozione quadrupede non costituisce una soluzione neurologicamente semplice rispetto alla bipedia.

Il circuito deve adattarsi al terreno

Una superficie irregolare modifica la posizione delle zampe.

Il rachide deve compensare.

La cintura scapolare deve modificare lo scorrimento.

Il bacino deve adattare la trasmissione delle forze.



Gli arti devono modificare rigidità e angoli articolari.

Il circuito 4D cambia in tempo reale.

Il cane non ripete semplicemente lo stesso schema locomotorio sopra ogni superficie.

Il terreno incongruente rappresenta una condizione naturale

Il corpo canino riflette la necessità di realizzare una locomozione quadrupede efficiente nel campo gravitazionale e su terreno incongruente.

Questa osservazione possiede un significato importante.

Il sistema locomotorio canino è costruito per adattarsi alla variabilità.

Una superficie perfettamente uniforme rappresenta soltanto una delle possibili condizioni.

La capacità di modificare in modo continuo il circuito rappresenta una funzione fisiologica.

La variabilità del movimento rappresenta una risorsa

Un sistema efficace non ripete ogni passo in modo identico.

Piccole variazioni permettono di distribuire le sollecitazioni e di adattarsi all'ambiente.

La variabilità non rappresenta automaticamente un errore.

Essa può costituire una caratteristica della normale adattabilità.

Il problema compare quando la variabilità diventa caotica oppure quando il sistema perde la capacità di variare e utilizza sempre la stessa strategia.

L'efficienza richiede variabilità organizzata.

Il circuito canino non è perfettamente simmetrico

Anche in condizioni normali il corpo non utilizza sempre una simmetria matematica perfetta.

L'andatura, la direzione, il terreno e la velocità possono creare differenze funzionali tra i due lati.

La simmetria deve quindi essere interpretata in senso dinamico.

Un sistema può essere funzionalmente equilibrato pur presentando piccole differenze istantanee.

La valutazione biomeccanica deve considerare l'intero ciclo e non una singola posizione.

Propulsione e assorbimento appartengono allo stesso circuito

La distinzione tra posteriore propulsivo e anteriore assorbente è utile ma non deve diventare una separazione assoluta.

Gli arti anteriori possono partecipare alla progressione.

Gli arti posteriori possono partecipare al controllo del carico.

Le funzioni prevalenti cambiano inoltre con l'andatura e con il compito.

Il principio fondamentale riguarda quindi la **specializzazione relativa** dei due sistemi.



La parte posteriore tende a privilegiare la propulsione mentre quella anteriore tende a privilegiare sostegno, frenata e modulazione.

Il rachide collega produzione e controllo

Il rachide si trova tra queste due specializzazioni.

Posteriormente esso riceve una forte componente propulsiva.

Anteriormente esso entra in relazione con una struttura sospesa che deve assorbire e modulare.

Il rachide deve trasformare un sistema di forze in un altro senza interrompere la continuità della locomozione.

Questa funzione spiega perché il sistema assiale assuma un ruolo così importante nella biomeccanica canina.

La fascia toracolombare partecipa alla continuità

La fascia toracolombare collega il sistema muscolare e fasciale della regione posteriore con il tronco.

La variazione della sua tensione accompagna le oscillazioni del rachide e del bacino.

Il complesso fascia-rachide toracolombare è un nodo della continuità tra propulsione e trasmissione.

La fascia non sostituisce il rachide e il rachide non sostituisce la fascia.

Le due componenti partecipano a un unico sistema funzionale.

Il circuito cambia durante accelerazione e frenata

Durante l'accelerazione aumenta la necessità di produrre forza propulsiva.

Il sistema posteriore può assumere un ruolo ancora più importante.

Durante la decelerazione aumenta invece la richiesta di controllo anteriore.

Gli arti anteriori devono gestire una quota maggiore dell'energia cinetica.

La geometria del circuito cambia in relazione all'obiettivo motorio.

Lo stesso cane utilizza configurazioni differenti quando accelera, mantiene la velocità oppure frena.

Anche la direzione modifica il circuito

Un cambio di direzione richiede una distribuzione asimmetrica delle forze.

Gli arti interni ed esterni alla curva possono svolgere funzioni differenti.

Il rachide modifica le proprie rotazioni.

La testa orienta il movimento.

Il bacino cambia traiettoria.

La cintura scapolare si adatta.

Il circuito 4D possiede quindi anche una dimensione laterale che non emerge completamente quando si osserva soltanto il movimento rettilineo.



La statica del cane rimane una dinamica

Anche il cane apparentemente fermo modifica continuamente il proprio assetto.

Il peso viene redistribuito tra quattro arti.

La respirazione modifica torace e tronco.

Il collo cambia tensione.

La fascia modifica la propria configurazione.

La postura è una condizione dinamica a bassa ampiezza.

Il circuito non scompare quando il cane si ferma.

Esso modifica semplicemente il proprio regime.

Il circuito canino in forma sintetica

Il modello può essere riassunto attraverso dieci passaggi funzionali:

1. Il complesso fascia-rachide toracolombare partecipa all'organizzazione dell'oscillazione.
2. Il bacino integra il sistema assiale con gli arti posteriori.
3. Gli arti posteriori generano una componente importante della propulsione.
4. Le zampe posteriori trasferiscono forza al terreno.
5. La reazione del terreno risale attraverso gli arti posteriori e il bacino.
6. Il rachide integra e redistribuisce le oscillazioni verso la regione anteriore.
7. La cintura scapolare sospesa modula le forze attraverso la rete muscolo-fasciale.
8. Gli arti anteriori sostengono, frenano e assorbono una parte rilevante del carico.
9. La reazione proveniente dagli arti anteriori raggiunge torace e rachide.
10. Il sistema nervoso utilizza le informazioni prodotte dal ciclo per organizzare quello successivo.

Questi passaggi avvengono in realtà con ampie sovrapposizioni temporali.

La locomozione canina costituisce un circuito continuo e non una sequenza di eventi nettamente separati.

Il confronto con l'uomo

Il circuito umano utilizza due arti portanti e un cingolo pelvico che collega direttamente gli arti inferiori al rachide.

Il circuito canino utilizza quattro arti e presenta invece una forte differenza tra cingolo pelvico e cintura scapolare.

Nell'uomo il piede assume una funzione particolarmente complessa come terminale della bipedia.

Nel cane le funzioni di contatto con il terreno vengono distribuite su quattro zampe e vengono integrate con un sistema scapolare sospeso.

Il principio generale rimane comune: il corpo utilizza oscillazioni, rotazioni, reazioni del terreno e informazione sensoriale per costruire un movimento continuo.



La soluzione anatomica è però profondamente differente.

Il passaggio successivo

Il circuito canino aiuta a comprendere perché la differenza tra bacino e scapola non rappresenti un dettaglio anatomico.

Essa modifica infatti il modo in cui il corpo produce, trasmette e assorbe le forze.

Posteriormente il cane utilizza una connessione ossea tra bacino e rachide.

Anteriormente utilizza una sospensione muscolo-fasciale tra scapola e torace.

Questa differenza merita quindi un'analisi specifica.

Il prossimo capitolo sarà dedicato proprio a bacino e scapola come due soluzioni biomeccaniche profondamente differenti all'interno dello stesso animale.

Take home message

Il circuito oscillatorio 4D del cane integra due sistemi differenti.

Posteriormente gli arti partecipano soprattutto alla propulsione e trasferiscono le forze attraverso il bacino verso il rachide.

Anteriormente gli arti partecipano soprattutto al sostegno, alla frenata e all'assorbimento mentre la cintura scapolare trasmette le forze al torace attraverso una sospensione muscolo-fasciale.

Il rachide collega e coordina queste due strategie.

La locomozione canina non può essere compresa osservando separatamente i quattro arti.

Il cane si muove attraverso un circuito nel quale posteriore, rachide, cintura scapolare, anteriore e terreno modificano continuamente il comportamento reciproco.

Fermati un attimo

Osserva mentalmente un cane che accelera.

La spinta nasce soprattutto posteriormente.

Il corpo avanza.

La forza attraversa il bacino e il rachide.

La parte anteriore deve ricevere questa progressione senza collassare sul terreno.

La scapola scorre.

Gli arti anteriori assorbono e controllano.

Il terreno restituisce nuove forze.

Il rachide riceve nuovamente queste informazioni meccaniche.

Ora prova a indicare il punto preciso nel quale "finisce" la propulsione e "inizia" l'assorbimento.

Non esiste un confine netto.

Produzione e controllo della forza appartengono allo stesso circuito.



Messaggi chiave

- Il circuito oscillatorio canino integra quattro arti, rachide e due cingoli strutturalmente differenti.
- Il complesso fascia-rachide toracolombare è un nodo funzionale del circuito.
- Il bacino possiede una continuità ossea con il rachide.
- Gli arti posteriori partecipano in modo rilevante alla propulsione.
- La zampa posteriore rappresenta un'interfaccia dinamica tra corpo e terreno.
- La reazione del terreno risale attraverso l'arto posteriore verso bacino e rachide.
- Il rachide integra la componente posteriore con quella anteriore.
- La scapola non possiede un'articolazione ossea diretta con il torace.
- La cintura scapolare utilizza una sospensione muscolo-fasciale.
- Gli arti anteriori svolgono soprattutto funzioni di sostegno, frenata e assorbimento.
- La frenata rappresenta una gestione dell'energia e non soltanto una riduzione della velocità.
- La sospensione scapolare permette di modulare la rigidità funzionale della parte anteriore.
- Le forze provenienti dagli arti anteriori raggiungono il torace e ritornano verso il rachide.
- Il circuito cambia profondamente tra passo, trotto e galoppo.
- Le fasi di sospensione dimostrano che il circuito comprende anche inerzia, elasticità e controllo anticipatorio.
- Collo, testa e coda possono partecipare alla regolazione dinamica globale.
- La locomozione rappresenta anche un circuito sensoriale.
- Quattro arti forniscono al sistema nervoso quattro principali interfacce informative con il terreno.
- Il cane è strutturalmente adattato alla locomozione su superfici variabili e incongruenti.
- La variabilità motoria fisiologica è una risorsa adattativa.
- La distinzione tra posteriore propulsivo e anteriore assorbente descrive una specializzazione relativa e non una separazione assoluta.
- Il circuito cambia durante accelerazione, frenata e cambi di direzione.
- Anche la statica canina rappresenta una dinamica a bassa ampiezza.
- La differenza tra bacino e cintura scapolare costituisce uno dei principi fondamentali della biomeccanica canina.

Capitolo 14 — Bacino e scapola: due cingoli, due strategie biomeccaniche



www.giovannichetta.it

Figura — Bacino e cintura scapolare: due cingoli, due strategie biomeccaniche.

La differenza più importante non riguarda soltanto gli arti

Nel cane gli arti posteriori e gli arti anteriori non si collegano al tronco nello stesso modo.

Questa differenza anatomica modifica profondamente la biomeccanica dell'intero animale.

Posteriormente il bacino possiede una continuità ossea con il rachide attraverso il sacro.

Anteriormente la scapola non possiede invece un'articolazione ossea diretta con il torace.

Il cingolo posteriore favorisce la propulsione e la trasmissione relativamente diretta delle forze e delle rotazioni mentre il cingolo anteriore utilizza una sospensione muscolo-fasciale che permette scorrimento, assorbimento, stabilizzazione e modulazione.

Questa differenza costituisce uno dei principi fondamentali della biomeccanica canina.

Il bacino appartiene allo scheletro assiale attraverso il sacro

Il bacino riceve le forze provenienti dagli arti posteriori.

La connessione con il sacro permette al sistema di trasferire una parte importante di queste forze verso il rachide.

La relazione è relativamente diretta sul piano strutturale.



Questo collegamento non significa che la forza attraversi il bacino senza essere modificata.

Muscoli, articolazioni, legamenti e fascia partecipano alla modulazione del carico.

La continuità ossea crea però una condizione biomeccanica diversa rispetto alla regione scapolare.

Il cingolo pelvico è costruito per trasmettere

Gli arti posteriori partecipano in modo rilevante alla propulsione.

Il cingolo pelvico integra spinta, propulsione e trasmissione attraverso il bacino, con coinvolgimento del rachide lombosacrale.

Il cingolo pelvico deve ricevere la forza prodotta dagli arti e trasferirla efficacemente al sistema assiale.

La sua funzione richiede contemporaneamente stabilità e mobilità.

Una struttura completamente rigida non potrebbe adattarsi alle variazioni del terreno.

Una struttura eccessivamente mobile perderebbe invece efficacia nella trasmissione.

Il bacino deve quindi controllare il movimento senza annullarlo.

L'articolazione coxo-femorale collega l'arto al bacino

L'anca è il principale collegamento articolare tra arto posteriore e bacino.

La sua struttura permette movimenti tridimensionali.

La flessione e l'estensione partecipano alla progressione.

Le rotazioni modificano l'orientamento dell'arto.

Le componenti di adduzione e abduzione partecipano al controllo laterale.

L'articolazione coxo-femorale deve permettere una grande libertà di movimento mantenendo contemporaneamente una buona capacità di trasmettere carico.

La funzione propulsiva posteriore dipende proprio da questo equilibrio.

La forza non nasce soltanto dall'anca

La spinta posteriore non può essere attribuita a una singola articolazione.

L'intero arto partecipa infatti alla produzione e alla trasmissione della forza.

Il bacino modifica la propria posizione.

Il rachide partecipa all'oscillazione.

I muscoli modificano la tensione.

La zampa interagisce con il terreno.

Il sistema posteriore rappresenta un'unità funzionale.

L'anca costituisce un nodo importante ma non rappresenta l'unico motore.

Dal bacino al rachide

La continuità sacro-pelvica permette alle forze di raggiungere il sistema assiale.



La regione lombosacrale deve assorbire, trasferire e modulare una parte importante delle sollecitazioni.

Il rachide non riceve però una spinta in una struttura immobile.

Esso sta già oscillando.

La fascia toracolombare modifica già la propria tensione.

La forza proveniente dal bacino entra in un sistema dinamico.

Il movimento posteriore viene così integrato nello Spine Engine.

La scapola utilizza una soluzione completamente diversa

Anteriormente il cane non possiede una cintura ossea che colleghi rigidamente l'arto al torace.

La scapola rimane invece applicata alla parete toracica attraverso un sistema muscolare e fasciale.

La parte anteriore del tronco è quindi sospesa tra gli arti anteriori.

Questa configurazione permette alla scapola di scorrere rispetto al torace.

La cintura scapolare canina funziona come un sistema elastico e adattabile.

Una sospensione muscolare

La sospensione del tronco tra gli arti anteriori rappresenta una caratteristica anatomica fondamentale.

Il peso del torace non viene trasferito agli arti attraverso un'articolazione ossea diretta.

La trasmissione avviene invece attraverso muscoli e fasce.

Questa organizzazione permette al sistema di modulare costantemente la rigidità.

Un maggiore reclutamento muscolare può aumentare la stabilizzazione.

Un minore reclutamento può facilitare lo scorrimento.

Il cingolo anteriore può modificare dinamicamente il proprio comportamento.

La scapola deve poter scorrere

Lo scorrimento scapolare aumenta la lunghezza funzionale dell'arto anteriore.

La scapola può muoversi rispetto al torace mentre l'arto avanza o arretra.

Il cane non dipende esclusivamente dal movimento dell'articolazione scapolo-omeroale.

Una parte importante dell'escursione deriva dallo scorrimento dell'intera scapola.

Questa caratteristica modifica profondamente la biomeccanica dell'arto anteriore.

Scorrimento significa anche assorbimento

Una struttura che può muoversi rispetto al tronco può assorbire una parte della sollecitazione prima che questa raggiunga il rachide.

La cintura scapolare è una zona di modulazione meccanica.

Quando l'arto anteriore entra in contatto con il terreno, la reazione del suolo risale lungo l'arto.



La scapola può modificare la propria posizione.

I muscoli della sospensione possono modificare la propria tensione.

Il torace riceve quindi una forza che è già stata parzialmente modulata.

La parte anteriore funziona come un ammortizzatore biologico

L'espressione "ammortizzatore" rappresenta una semplificazione ma descrive bene una parte della funzione.

Gli arti anteriori devono sostenere e controllare l'avanzamento del corpo.

Questa regione svolge soprattutto funzioni di sostegno, frenata e assorbimento.

La sospensione scapolare aumenta la capacità di distribuire queste sollecitazioni nel tempo.

Il sistema può ridurre la rapidità con la quale una parte delle forze raggiunge il tronco.

Assorbimento e stabilizzazione devono coesistere

Una sospensione troppo cedevole non garantirebbe un controllo sufficiente del tronco.

Una sospensione eccessivamente rigida perderebbe invece capacità di assorbimento.

La cintura scapolare deve modificare in modo continuo la propria rigidità funzionale.

Questa capacità rappresenta un esempio concreto di stabilità dinamica.

La stabilità non nasce da una struttura bloccata.

Essa nasce dalla capacità di adattare la tensione al compito.

La cintura scapolare modula le rotazioni

La sospensione scapolare svolge anche una funzione di modulazione delle rotazioni.

Questa funzione è coerente con la struttura muscolo-fasciale del cingolo.

Le rotazioni provenienti dal rachide e dal torace non vengono trasferite agli arti anteriori attraverso un collegamento osseo rigido.

La cintura può modificarne ampiezza e direzione.

Anche le rotazioni provenienti dagli arti possono essere modulate prima di raggiungere il torace.

Il cingolo anteriore funziona quindi come un'interfaccia biomeccanica.

Due sistemi con finalità differenti

Possiamo sintetizzare la differenza in questo modo.

Il sistema posteriore privilegia:

- produzione della spinta;
- trasferimento propulsivo;
- continuità ossea con il rachide;
- coinvolgimento del complesso lombosacrale.



Il sistema anteriore privilegia:

- sostegno;
- frenata;
- assorbimento;
- scorrimento scapolare;
- modulazione delle rotazioni;
- sospensione muscolo-fasciale del tronco.

Queste funzioni rappresentano tendenze prevalenti e non divisioni assolute.

Gli arti anteriori possono contribuire alla propulsione

Il fatto che gli arti anteriori svolgano soprattutto funzioni di sostegno e assorbimento non significa che non partecipino alla progressione.

Durante alcune fasi dell'andatura essi possono contribuire attivamente allo spostamento del corpo.

La loro funzione dipende dalla velocità, dalla pendenza, dall'andatura e dalla fase del ciclo.

La distinzione tra anteriore e posteriore deve essere interpretata come differenza di specializzazione relativa.

Gli arti posteriori possono anche assorbire

Lo stesso principio vale posteriormente.

Gli arti posteriori non producono soltanto spinta.

Essi devono anche gestire le reazioni provenienti dal terreno.

Durante una decelerazione oppure in discesa, la funzione di controllo può diventare più importante.

Il sistema locomotorio modifica continuamente la distribuzione dei compiti.

La biomeccanica non deve trasformare una funzione prevalente in una funzione esclusiva.

Il rachide integra due strategie opposte ma complementari

Posteriormente il rachide riceve una componente fortemente propulsiva attraverso il bacino.

Anteriormente esso riceve invece una componente più modulata attraverso torace e cintura scapolare.

Il rachide si trova tra due sistemi che utilizzano strategie differenti.

La sua funzione consiste anche nell'integrare queste differenze.

Il rachide coordina entrambe le funzioni.

Il rachide è il principale ponte assiale tra propulsione posteriore e controllo anteriore.

Un esempio di tensegrità particolarmente evidente

La cintura scapolare canina offre un esempio molto utile per comprendere la tensegrità.

Il torace viene infatti sostenuto senza una continuità ossea diretta con gli arti anteriori.



La stabilità dipende quindi dalla distribuzione delle tensioni muscolari e fasciali.

Le ossa forniscono elementi resistenti alla compressione.

Il sistema muscolo-fasciale mantiene e modifica la relazione tra questi elementi.

La stabilità emerge dall'interazione.

La regione scapolare costituisce uno dei punti nei quali il modello di tensegrità trova una rappresentazione biomeccanica particolarmente intuitiva.

Il bacino utilizza più direttamente la compressione scheletrica

Posteriormente il trasferimento può utilizzare in misura maggiore la continuità dello scheletro.

Le forze attraversano arto, articolazione coxo-femorale, bacino e sacro.

La rete miofasciale continua a svolgere un ruolo fondamentale ma il sistema dispone anche di un collegamento osseo diretto con il rachide.

La parte posteriore utilizza un equilibrio tra tensione e compressione differente rispetto alla parte anteriore.

Due forme diverse di stabilità

La stabilità posteriore utilizza in misura importante la congruenza articolare e la continuità ossea.

La stabilità anteriore utilizza invece in misura maggiore il controllo muscolo-fasciale.

Il cane possiede due modalità differenti di stabilizzazione all'interno dello stesso organismo.

Questa differenza aumenta la versatilità biomeccanica del sistema.

Posteriormente il corpo può trasferire efficacemente la propulsione.

Anteriormente può adattare e attenuare più facilmente le sollecitazioni.

La distribuzione del peso modifica il lavoro dei due cingoli

Il cane non distribuisce necessariamente il peso in modo identico tra parte anteriore e posteriore.

La posizione della testa, la conformazione corporea, la velocità e il compito modificano continuamente la distribuzione del carico.

Quando il peso si sposta anteriormente, aumenta il lavoro richiesto agli arti anteriori e alla sospensione scapolare.

Quando il cane accelera, la funzione propulsiva posteriore assume maggiore importanza.

Il circuito cambia anche senza modificare la struttura anatomica.

La testa può modificare il carico anteriore

La testa rappresenta una massa situata anteriormente rispetto al tronco.

Una sua variazione di posizione modifica il centro di massa complessivo.

Quando il cane abbassa oppure proietta la testa anteriormente, la distribuzione del carico può cambiare.



La cintura scapolare deve quindi adattarsi anche ai movimenti del collo e della testa.

La biomeccanica del cingolo anteriore non può essere separata dalla regione cervicale.

Il movimento scapolare partecipa alla lunghezza del passo

Lo scorrimento della scapola permette di aumentare l'escursione funzionale dell'arto.

Una scapola che avanza rispetto al torace può contribuire alla proiezione dell'arto in avanti.

Una scapola che arretra partecipa invece alla fase successiva.

La lunghezza apparente dell'arto anteriore non dipende soltanto dalla lunghezza delle ossa e dall'ampiezza dell'articolazione scapolo-omerale.

La mobilità scapolo-toracica contribuisce in modo sostanziale.

Una rigidità scapolare può accorciare funzionalmente l'arto

Se lo scorrimento scapolare si riduce, il sistema può perdere una parte dell'escursione disponibile.

L'arto può sembrare funzionalmente più corto durante il movimento.

Il corpo può compensare aumentando l'attività di altre articolazioni oppure modificando la traiettoria.

Questa osservazione mostra quanto una limitazione del cingolo possa modificare l'intera cinematica dell'arto.

Il problema non deve essere ricercato necessariamente soltanto nelle articolazioni distali.

Una rigidità pelvica modifica invece la trasmissione propulsiva

Posteriormente una limitazione del bacino oppure della regione lombosacrale può modificare la capacità di trasferire le forze degli arti posteriori.

Il corpo può ridistribuire il lavoro verso altre regioni.

Gli arti possono modificare l'ampiezza.

Il rachide può aumentare oppure ridurre alcune oscillazioni.

La regione anteriore può ricevere un pattern di forze differente.

Una modifica locale del cingolo pelvico può quindi avere conseguenze sull'intero circuito.

Bacino e scapola rispondono diversamente alle rotazioni

Il bacino trasferisce le rotazioni al rachide attraverso una connessione ossea e articolare.

La scapola può invece scorrere e modificare la relazione tra arto e tronco.

La rotazione posteriore tende quindi a entrare più direttamente nel sistema assiale.

La rotazione anteriore può essere maggiormente modulata dalla sospensione muscolo-fasciale.

Questa differenza contribuisce a spiegare la diversa biomeccanica delle due estremità del cane.

La differenza aumenta con il movimento rapido

Quando la velocità aumenta, aumentano anche accelerazioni e forze.



La capacità di produrre propulsione posteriormente diventa particolarmente importante. Anteriormente aumenta invece la necessità di controllare l'atterraggio e la progressione del corpo. La specializzazione dei due cingoli diventa ancora più evidente nelle andature rapide. Il galoppo mostra particolarmente bene questa organizzazione.

Salita e discesa modificano i ruoli

In salita il sistema deve aumentare la produzione di lavoro contro la gravità. Gli arti posteriori possono assumere un ruolo propulsivo particolarmente evidente. In discesa aumenta invece la necessità di controllare l'avanzamento del corpo. Gli arti anteriori e la cintura scapolare devono quindi gestire una quota maggiore della frenata. La funzione dei cingoli dipende pertanto anche dall'orientamento del terreno.

Accelerazione e decelerazione mostrano la stessa differenza

Durante un'accelerazione il cane deve aumentare la forza diretta posteriormente contro il terreno per ottenere una maggiore progressione. Il sistema posteriore ha un ruolo centrale. Durante la decelerazione la parte anteriore deve invece controllare l'inerzia del corpo che continua a procedere in avanti. La stessa anatomia permette due strategie complementari. Il bacino favorisce la produzione e la trasmissione della spinta. La cintura scapolare favorisce la modulazione e il controllo.

Il cane non è un quadrupede simmetrico

La presenza di quattro arti può suggerire una simmetria funzionale tra estremità anteriori e posteriori. Questa interpretazione è sbagliata. Il cane possiede invece una marcata differenziazione longitudinale. La regione posteriore e quella anteriore affrontano problemi biomeccanici differenti. Il sistema utilizza proprio questa specializzazione per ottenere una locomozione efficiente. Il cane non deve essere pensato come una struttura con quattro arti equivalenti disposti intorno a un tronco.

Il confronto con l'uomo chiarisce ancora meglio la differenza

Nell'uomo gli arti superiori non svolgono normalmente una funzione portante durante la locomozione. La cintura scapolare viene quindi liberata dal problema del sostegno del peso corporeo. Nel cane la cintura scapolare appartiene invece pienamente al sistema locomotorio. Essa deve sostenere il tronco, assorbire il carico, permettere lo scorrimento e modulare le rotazioni.



La scapola canina e quella umana condividono quindi importanti caratteristiche anatomiche ma svolgono funzioni locomotorie molto differenti.

Il cingolo pelvico mostra invece una maggiore analogia funzionale

Sia nell'uomo sia nel cane il bacino collega gli arti locomotori principali al rachide.

La geometria corporea è però differente.

Nell'uomo il bacino sostiene una struttura verticale.

Nel cane esso si trova all'estremità posteriore di un tronco prevalentemente orizzontale.

La funzione di trasferimento tra arti e rachide rimane comunque un punto importante di confronto.

Due cingoli, un solo circuito

Il cane utilizza due sistemi biomeccanicamente differenti ma non separati.

Il bacino riceve e trasmette la propulsione.

Il rachide integra e trasforma.

La cintura scapolare assorbe e modula.

Gli arti anteriori interagiscono con il terreno.

La reazione ritorna verso il torace e il rachide.

Il circuito si richiude.

La differenza tra bacino e scapola non interrompe quindi la continuità del sistema.

Essa permette invece al circuito di svolgere funzioni diverse nelle sue differenti regioni.

Take home message

Il cane possiede due cingoli biomeccanicamente molto differenti.

Il cingolo pelvico presenta una connessione ossea con il rachide e favorisce la trasmissione delle forze propulsive generate dagli arti posteriori.

La cintura scapolare non possiede invece una connessione ossea diretta con il torace e utilizza una sospensione muscolo-fasciale che permette scorrimento, assorbimento, stabilizzazione e modulazione delle rotazioni.

Questa differenza spiega una parte importante della specializzazione funzionale tra posteriore e anteriore.

Posteriormente prevale la trasmissione propulsiva; anteriormente prevalgono adattamento e controllo del carico.

Fermati un attimo

Immagina di sostituire la cintura scapolare del cane con un collegamento osseo rigido al torace.

L'arto anteriore perderebbe una parte importante della capacità di scorrere e di assorbire le sollecitazioni.

Ora immagina di sostituire il collegamento pelvico con una sospensione completamente flessibile.



La trasmissione della propulsione posteriore diventerebbe molto meno diretta.

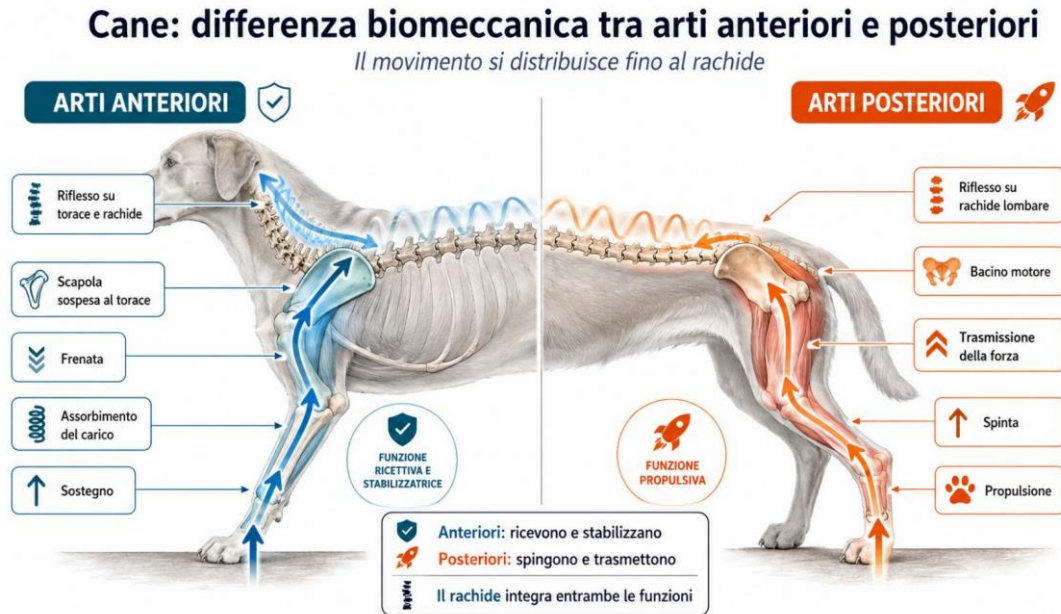
Il cane utilizza due soluzioni opposte perché deve risolvere due problemi differenti.

La parte posteriore deve soprattutto trasmettere la spinta mentre la parte anteriore deve soprattutto ricevere e modulare il corpo che avanza.

Messaggi chiave

- Il cingolo pelvico e la cintura scapolare del cane possiedono collegamenti strutturalmente differenti con il tronco.
- Il bacino possiede una continuità ossea con il rachide attraverso il sacro.
- La parte posteriore privilegia la trasmissione delle forze propulsive.
- L'articolazione coxo-femorale rappresenta uno snodo tridimensionale importante tra arto e bacino.
- La propulsione posteriore nasce dall'interazione tra arti, bacino, rachide, fascia e terreno.
- La scapola non possiede un'articolazione ossea diretta con il torace.
- Il tronco anteriore viene sostenuto attraverso una sospensione muscolo-fasciale.
- Lo scorrimento scapolare aumenta l'escursione funzionale dell'arto anteriore.
- La sospensione scapolare permette di assorbire e modulare una parte delle forze.
- Gli arti anteriori svolgono soprattutto funzioni di sostegno, frenata e assorbimento.
- Le funzioni posteriori e anteriori sono prevalenti ma non esclusive.
- Il rachide integra le due differenti strategie.
- La cintura scapolare offre un esempio particolarmente evidente di stabilità attraverso tensegrità.
- Posteriormente la continuità scheletrica ha un ruolo maggiore nel trasferimento delle forze.
- Mobilità e stabilità devono coesistere in entrambi i cingoli.
- Una riduzione dello scorrimento scapolare può diminuire l'escursione funzionale dell'arto anteriore.
- Una limitazione pelvica o lombosacrale può modificare la trasmissione propulsiva.
- Il bacino trasferisce più direttamente le rotazioni al rachide mentre la cintura scapolare può modularle maggiormente.
- Salita, discesa, accelerazione e decelerazione modificano il contributo relativo dei due cingoli.
- Il cane non possiede quattro arti biomeccanicamente equivalenti.
- La differenza tra bacino e scapola rappresenta uno dei principi fondamentali della biomeccanica canina.

Capitolo 15 — Arti posteriori e anteriori del cane



www.giovanichetta.it

Figura — Differenza biomeccanica tra arti anteriori e posteriori del cane.

Due coppie di arti, due funzioni prevalenti

Nel cane gli arti posteriori e gli arti anteriori partecipano entrambi alla locomozione ma non svolgono lo stesso compito biomeccanico.

Gli arti posteriori contribuiscono soprattutto a spinta, propulsione e trasmissione delle forze attraverso il bacino mentre gli arti anteriori svolgono soprattutto funzioni di sostegno, frenata, assorbimento del carico e trasmissione verso torace e rachide.

Questa differenza deriva in gran parte dalla diversa organizzazione dei due cingoli.

Posteriormente il bacino possiede una connessione ossea con il rachide.

Anteriormente la scapola rimane sospesa al torace attraverso strutture muscolo-fasciali.

La diversa anatomia determina una diversa specializzazione funzionale.

Gli arti posteriori partecipano alla propulsione

Gli arti posteriori producono una parte importante della spinta necessaria alla progressione.

La forza viene generata attraverso la coordinazione di bacino, anca, ginocchio, garretto e zampa.

Il terreno restituisce quindi una forza di reazione che risale lungo l'arto e raggiunge il bacino.

Il bacino trasmette questa sollecitazione al rachide attraverso il complesso lombosacrale.



La propulsione non nasce da una singola articolazione.

Essa deriva dalla cooperazione dell'intero sistema posteriore.

Il bacino raccoglie e trasmette la spinta

Il bacino rappresenta il principale nodo tra arti posteriori e rachide.

La trasmissione posteriore avviene attraverso il bacino e coinvolge il rachide lombosacrale.

La funzione del bacino non consiste soltanto nel sostenere le articolazioni coxo-femorali.

Esso raccoglie infatti le forze provenienti dai due arti posteriori e le integra con il sistema assiale.

Le rotazioni pelviche partecipano inoltre alla continuità del movimento.

Il bacino rappresenta un vero centro di trasferimento biomeccanico.

L'anca permette di orientare la spinta

L'articolazione coxo-femorale permette movimenti tridimensionali.

La flessione e l'estensione partecipano in modo evidente alla progressione.

Le rotazioni modificano l'orientamento dell'arto.

Le componenti laterali contribuiscono alla stabilità e al controllo della traiettoria.

La forza propulsiva non dipende soltanto dall'estensione.

La direzione della spinta dipende dall'intera configurazione dell'arto.

Il ginocchio partecipa al controllo della catena posteriore

Il ginocchio collega femore e gamba e deve adattare la propria posizione alle forze provenienti dall'alto e dal basso.

Durante la fase propulsiva esso partecipa alla trasmissione del movimento.

Durante il carico deve invece contribuire al controllo dell'arto.

Il ginocchio non lavora quindi isolatamente.

La sua funzione dipende dalla relazione con anca, garretto e zampa.

Il garretto rappresenta una leva importante

Il garretto svolge un ruolo importante nella trasmissione della forza verso il terreno.

La sua posizione modifica la direzione della spinta.

La muscolatura e i tendini associati partecipano inoltre all'accumulo e alla restituzione dell'energia elastica.

Il sistema posteriore può combinare lavoro muscolare ed elasticità tissutale.

Questa combinazione aumenta l'efficienza del gesto.

La zampa posteriore chiude il sistema propulsivo

La zampa è il punto nel quale la forza prodotta dal corpo viene trasferita al terreno.



La sua posizione determina la direzione della reazione del suolo.

Una zampa che entra in contatto con il terreno in una configurazione differente modifica quindi l'intero vettore di forza.

Il sistema nervoso deve adattare rapidamente la posizione della zampa alla superficie.

La propulsione dipende anche dalla qualità dell'appoggio.

Gli arti posteriori non spingono sempre nello stesso modo

La funzione posteriore cambia con l'andatura.

Durante il passo la spinta viene distribuita in una sequenza relativamente lenta.

Nel trotto aumenta la componente dinamica e la coordinazione diagonale modifica la distribuzione delle forze.

Nel galoppo aumenta ulteriormente il contributo propulsivo e il rachide partecipa in modo più evidente alle oscillazioni.

La funzione dell'arto posteriore dipende dalla fase e dalla velocità.

Accelerazione e arti posteriori

Durante l'accelerazione il cane deve aumentare la forza diretta contro il terreno.

La parte posteriore ha un ruolo particolarmente importante.

Gli arti devono produrre una spinta sufficiente a modificare rapidamente la velocità del centro di massa.

Il bacino e il rachide devono contemporaneamente gestire l'aumento delle sollecitazioni.

La propulsione non è soltanto un aumento della forza muscolare.

Essa richiede un cambiamento coordinato dell'intero circuito.

Salita e arti posteriori

La salita aumenta il lavoro necessario contro la gravità.

Il sistema posteriore deve quindi produrre una componente propulsiva maggiore.

Il bacino deve trasferire efficacemente la spinta.

Il rachide deve adattare le proprie oscillazioni.

La zampa deve mantenere un contatto efficace con il terreno.

La salita rende quindi particolarmente evidente la specializzazione propulsiva della regione posteriore.

Gli arti anteriori ricevono il corpo che avanza

La funzione degli arti anteriori è differente.

Il corpo procede in avanti e la parte anteriore deve sostenerne il peso e controllarne l'inerzia.

Gli arti anteriori svolgono soprattutto funzioni di sostegno, frenata e assorbimento.



La regione anteriore deve ricevere la progressione prodotta dall'intero sistema senza interromperla bruscamente.

La scapola modifica la biomeccanica dell'arto anteriore

L'arto anteriore non possiede un collegamento osseo diretto con il torace.

La scapola rimane sospesa attraverso muscoli e fasce e può scorrere sulla parete toracica. Questa configurazione favorisce scorrimento, assorbimento, stabilizzazione e modulazione delle rotazioni.

Questa caratteristica aumenta la capacità del sistema anteriore di adattarsi alle forze provenienti dal terreno.

Il movimento della scapola diventa parte integrante del movimento dell'intero arto.

La spalla non coincide con il solo movimento scapolo-omerale

L'escursione funzionale dell'arto anteriore dipende dalla combinazione tra movimento dell'articolazione scapolo-omerale e scorrimento della scapola sul torace.

Una valutazione limitata alla sola articolazione della spalla può sottostimare la complessità del gesto.

La scapola partecipa all'avanzamento dell'arto e alla fase di arretramento.

Il sistema anteriore utilizza quindi una mobilità distribuita.

Il gomito trasferisce e modula il carico

Il gomito deve permettere il movimento dell'arto ma deve anche partecipare al controllo della reazione del terreno.

Durante l'appoggio esso riceve una parte importante delle sollecitazioni.

La sua posizione influenza la direzione della forza verso la spalla e la scapola.

Il gomito è un nodo di trasmissione tra estremità distale e cingolo.

Carpio e metacarpo partecipano all'assorbimento

Le strutture distali dell'arto anteriore devono adattarsi rapidamente al contatto con il terreno.

Il carpo e il metacarpo partecipano alla deformazione controllata del sistema.

Questa deformazione contribuisce all'assorbimento del carico.

La risposta non deve essere eccessivamente rigida.

Un certo grado di adattamento permette di distribuire meglio la sollecitazione.

La zampa anteriore apre la fase di assorbimento

Quando la zampa anteriore entra in contatto con il terreno, la reazione del suolo risale lungo l'arto.

La forza raggiunge gomito, spalla e scapola.

La sospensione muscolo-fasciale del cingolo distribuisce la sollecitazione al torace.

Il sistema anteriore funziona come una sequenza di strutture che trasformano gradualmente il carico.



Frenata non significa soltanto fermarsi

La frenata compare ogni volta che il corpo deve controllare la propria progressione.

Il cane non deve essere necessariamente in una vera fase di arresto.

Anche durante una locomozione continua, l'arto anteriore deve controllare una parte della velocità del corpo quando entra in appoggio.

La frenata costituisce una componente fisiologica del ciclo.

Il sistema deve assorbire energia senza interrompere la fluidità del movimento.

La contrazione eccentrica assume un ruolo importante

Il controllo del carico richiede frequentemente contrazioni eccentriche.

Un muscolo che lavora eccentricamente sviluppa tensione mentre si allunga.

Questa modalità permette di controllare il movimento e di dissipare o redistribuire una parte dell'energia.

Gli arti anteriori possono utilizzare in modo rilevante il lavoro eccentrico durante frenata e assorbimento.

La funzione non deve però essere attribuita a un solo gruppo muscolare.

L'intero arto partecipa al controllo.

La sospensione scapolare distribuisce il carico nel tempo

La scapola può scorrere mentre i muscoli della cintura modificano la propria tensione.

Questa possibilità aumenta il tempo nel quale la forza viene gestita.

Una forza distribuita su un intervallo temporale maggiore produce un picco differente rispetto a una forza trasferita istantaneamente.

La cintura scapolare contribuisce quindi alla modulazione dinamica del carico.

Il torace riceve la forza anteriore

La sospensione muscolo-fasciale trasferisce la sollecitazione al torace.

Il torace non rappresenta però una struttura immobile.

Le coste si muovono.

La respirazione modifica la sua geometria.

Il rachide toracico partecipa alle oscillazioni.

La forza anteriore entra in un sistema già dinamico.

Il torace contribuisce così alla distribuzione delle sollecitazioni verso il rachide.

Il rachide integra i due sistemi

Il rachide integra e coordina entrambe le funzioni.

Posteriormente il rachide riceve una componente fortemente associata alla propulsione.



Anteriormente riceve invece una componente prevalentemente associata a sostegno e assorbimento.

Il sistema assiale deve integrare entrambe senza perdere continuità.

Il rachide rappresenta il collegamento funzionale tra le due specializzazioni.

Il cane funziona come un sistema longitudinale

La locomozione canina può essere letta come un sistema nel quale le funzioni cambiano lungo l'asse del corpo.

Posteriormente prevale la produzione della spinta.

Centralmente il rachide integra e trasmette.

Anteriormente prevalgono assorbimento e controllo.

Questa differenziazione longitudinale rende il cane biomeccanicamente molto diverso da un semplice quadrupede simmetrico.

Il sistema utilizza la specializzazione delle diverse regioni per aumentare l'efficienza globale.

La distribuzione del peso influenza la funzione degli arti anteriori

La regione anteriore sostiene una parte importante della massa corporea.

La posizione della testa e del collo può modificare ulteriormente questa distribuzione.

Quando il centro di massa si sposta anteriormente, gli arti anteriori devono aumentare il lavoro di sostegno.

La cintura scapolare deve adattare la propria tensione.

Il carico anteriore non rimane costante durante tutti i movimenti.

La testa modifica il carico in tempo reale

Un abbassamento della testa modifica la distribuzione della massa.

Un sollevamento modifica nuovamente l'assetto.

Una rotazione del collo cambia l'organizzazione delle tensioni tra parte destra e sinistra.

Gli arti anteriori devono adattarsi anche al comportamento della regione cefalica.

La biomeccanica anteriore non può essere separata dal collo.

Decelerazione e arti anteriori

Durante la decelerazione aumenta la necessità di controllare l'inerzia del corpo.

Gli arti anteriori devono quindi svolgere una funzione frenante particolarmente importante.

La zampa entra in contatto con il terreno.

L'arto assorbe.

La scapola scorre.

La sospensione muscolare modula.



Il torace riceve la forza.

Il rachide integra la risposta.

La decelerazione rende quindi particolarmente evidente la funzione del sistema anteriore.

Discesa e arti anteriori

La discesa sposta una parte maggiore della richiesta biomeccanica verso la regione anteriore.

Il cane deve infatti impedire che il corpo acceleri eccessivamente in direzione della pendenza.

Gli arti anteriori devono sostenere e frenare.

La cintura scapolare deve aumentare la capacità di assorbimento.

La parte anteriore affronta quindi una richiesta molto diversa rispetto alla salita.

Il terreno modifica il rapporto tra anteriore e posteriore

Un terreno morbido cambia la risposta della zampa.

Un terreno duro modifica il modo in cui il carico viene restituito.

Una superficie scivolosa modifica l'attrito disponibile.

Un terreno irregolare modifica costantemente la posizione degli arti.

Le funzioni prevalenti di anteriore e posteriore devono adattarsi alla superficie.

Il sistema non utilizza una distribuzione fissa del lavoro.

Gli arti devono collaborare lateralmente

La distinzione tra anteriore e posteriore rappresenta soltanto una parte della locomozione.

Il cane deve anche coordinare lato destro e sinistro.

Un cambio di direzione modifica il carico sugli arti interni ed esterni alla curva.

Una perturbazione può richiedere un aumento improvviso della funzione stabilizzatrice di un singolo arto.

Il sistema utilizza una distribuzione tridimensionale e temporale delle funzioni.

Il trotto mostra bene l'integrazione diagonale

Durante il trotto il cane utilizza una coordinazione diagonale.

Un arto posteriore e l'arto anteriore controlaterale entrano in una relazione temporale particolarmente evidente.

Il rachide deve integrare questa organizzazione.

La propulsione posteriore e il controllo anteriore vengono distribuiti diagonalmente attraverso il corpo.

Il trotto mostra quindi chiaramente che il sistema non funziona come due metà longitudinali indipendenti.

Il galoppo accentua la differenziazione funzionale

Nel galoppo la potenza richiesta aumenta.



La parte posteriore deve contribuire in modo rilevante all'accelerazione e alla spinta.

La parte anteriore deve ricevere il corpo durante il contatto e controllare l'atterraggio.

Il rachide modifica notevolmente la propria configurazione.

La differenza funzionale tra anteriore e posteriore diventa quindi particolarmente evidente.

La statica utilizza gli stessi principi

Anche nella stazione apparentemente ferma gli arti non svolgono un lavoro identico.

Il peso viene distribuito tra i quattro appoggi.

La testa modifica l'assetto.

Il tronco oscilla.

La respirazione modifica le tensioni.

Il sistema posteriore e quello anteriore mantengono le proprie caratteristiche strutturali anche quando la locomozione evidente scompare.

La statica rimane una condizione dinamica.

Forza e coordinazione devono crescere insieme

Un cane può possedere arti posteriori molto forti ma utilizzare male la forza se il bacino e il rachide non riescono a integrarla; può anche possedere arti anteriori robusti ma assorbire male il carico se la cintura scapolare perde scorrimento o controllo.

La prestazione dipende dall'intero sistema.

Allenare soltanto la forza non garantisce una biomeccanica efficiente.

Coordinazione, mobilità e propriocezione devono accompagnare lo sviluppo della forza.

Le compensazioni modificano la distribuzione del lavoro

Quando un arto riduce la propria funzione, gli altri arti possono compensare.

La compensazione rende possibile mantenere la locomozione ma modifica la distribuzione del carico.

Un deficit posteriore può aumentare la richiesta anteriore.

Un deficit anteriore può modificare la strategia propulsiva o la traiettoria.

Anche il rachide può cambiare il proprio comportamento.

La valutazione deve considerare l'intero circuito e non soltanto il segmento apparentemente coinvolto.

Funzione prevalente non significa funzione esclusiva

La distinzione finale deve rimanere chiara.

Gli arti posteriori **prevalgono** nella propulsione ma possono anche assorbire e stabilizzare.

Gli arti anteriori **prevalgono** nel sostegno, nella frenata e nell'assorbimento ma possono anche contribuire alla progressione.



La funzione dipende dall'andatura, dal terreno, dalla pendenza e dalla fase.

La biomeccanica reale rimane sempre dinamica.

Il confronto con l'uomo

Nell'uomo i due arti inferiori devono svolgere durante il ciclo sia funzioni propulsive sia funzioni di assorbimento.

La bipedia concentra quindi sullo stesso arto funzioni che nel cane sono maggiormente differenziate tra posteriore e anteriore.

Questa differenza costituisce un punto fondamentale della biomeccanica comparata.

Il piede umano deve partecipare sia all'accettazione del carico sia alla restituzione propulsiva.

Nel cane parte di questa specializzazione viene distribuita longitudinalmente tra due coppie di arti.

Una specializzazione che aumenta la versatilità

La differenziazione tra arti posteriori e anteriori permette al cane di combinare potenza e adattabilità.

Il posteriore può produrre una spinta efficace.

L'anteriore può controllare il corpo che avanza.

Il rachide può integrare i due sistemi.

La cintura scapolare può modulare il carico.

La locomozione quadrupede utilizza quindi una vera divisione funzionale del lavoro.

Take home message

Gli arti posteriori e anteriori del cane non rappresentano due coppie funzionalmente equivalenti.

Gli arti posteriori partecipano soprattutto alla produzione e alla trasmissione della propulsione attraverso il bacino e il rachide lombosacrale.

Gli arti anteriori partecipano soprattutto al sostegno, alla frenata e all'assorbimento e trasferiscono il carico al torace attraverso una cintura scapolare sospesa muscolo-fascialmente.

Il rachide integra entrambe le funzioni.

La locomozione canina utilizza una vera specializzazione longitudinale: il posteriore produce soprattutto la spinta mentre l'anteriore controlla soprattutto ciò che quella spinta mette in movimento.

Fermati un attimo

Immagina un'automobile.

Il motore può produrre molta potenza ma la vettura rimane inutilizzabile se sospensioni e freni non riescono a controllarla.

Il paragone non deve essere preso alla lettera ma aiuta a comprendere il cane.

Gli arti posteriori possono produrre una grande spinta.

Gli arti anteriori devono ricevere, sostenere e controllare il corpo che quella spinta porta in avanti.



Il rachide collega i due sistemi.

La prestazione non dipende da quanto il posteriore riesce a spingere ma da quanto bene l'intero corpo riesce a gestire quella spinta.

Messaggi chiave

- Gli arti posteriori e anteriori del cane possiedono funzioni prevalenti differenti.
- Gli arti posteriori partecipano soprattutto a spinta e propulsione.
- Il bacino trasferisce una parte importante delle forze posteriori al rachide.
- Anca, ginocchio, garretto e zampa funzionano come un sistema coordinato.
- La direzione della propulsione dipende dalla configurazione dell'intero arto.
- La zampa posteriore rappresenta l'interfaccia tra forza interna e terreno.
- La funzione posteriore aumenta durante accelerazione e salita.
- Gli arti anteriori svolgono soprattutto funzioni di sostegno, frenata e assorbimento.
- La scapola sospesa modifica profondamente la biomeccanica dell'arto anteriore.
- Lo scorrimento scapolare contribuisce all'escursione funzionale dell'arto.
- Gomito, carpo e metacarpo partecipano alla gestione del carico.
- La frenata rappresenta una componente fisiologica della locomozione e non soltanto dell'arresto.
- La contrazione eccentrica contribuisce al controllo del carico.
- La cintura scapolare distribuisce una parte delle sollecitazioni nel tempo.
- Il torace riceve e redistribuisce le forze provenienti dagli arti anteriori.
- Il rachide integra propulsione posteriore e assorbimento anteriore.
- La posizione della testa modifica la distribuzione del carico sugli arti anteriori.
- Decelerazione e discesa aumentano il lavoro del sistema anteriore.
- Terreno, velocità e direzione modificano in modo continuo la distribuzione dei compiti.
- Il trotto mostra una forte integrazione diagonale tra posteriore e anteriore.
- Il galoppo accentua la specializzazione funzionale delle due regioni.
- Anche nella statica i due cingoli mantengono caratteristiche biomeccaniche differenti.
- Forza, coordinazione, mobilità e propriocezione devono essere considerate insieme.
- Le compensazioni di un arto modificano il lavoro dell'intero circuito.
- Le funzioni descritte sono prevalenti e non esclusive.
- Nell'uomo lo stesso arto inferiore deve svolgere in successione funzioni che nel cane sono maggiormente distribuite tra posteriore e anteriore.

Capitolo 16 — Piede umano e zampa canina



www.giovannichetta.it

Figura — Adattamento al terreno: uomo e cane utilizzano strategie differenti.

Due interfacce con il terreno, due strategie biomeccaniche

Il piede umano e la zampa canina svolgono entrambi una funzione fondamentale: essi rappresentano l'interfaccia tra organismo e terreno. La soluzione anatomica e biomeccanica utilizzata dalle due specie è però profondamente differente.

La differenza può essere sintetizzata attraverso due modelli. Nell'uomo prevale un piede molto articolato, capace di adattamento tridimensionale e organizzato secondo una logica elicoidale; nel cane prevale invece una zampa con dita e cuscinetti, mentre una parte maggiore dell'adattamento e delle rotazioni viene distribuita lungo l'intera catena locomotoria.

Questa differenza non significa che il piede umano lavori da solo oppure che la zampa canina non possieda capacità adattative. Il concetto fondamentale riguarda piuttosto il luogo nel quale le due specie concentrano maggiormente la trasformazione delle forze.

Nell'uomo una parte molto rilevante della trasformazione avviene nel piede.

Nel cane una quota maggiore della trasformazione viene distribuita tra zampa, arto, bacino, rachide e, anteriormente, cintura scapolare.

Il piede umano rappresenta una struttura altamente articolata

Il piede umano deve affrontare un problema biomeccanico particolarmente complesso perché la bipedia concentra il carico del corpo su due sole estremità.



Durante alcune fasi del passo un solo piede deve sostenere quasi interamente il corpo.

Il piede deve adattarsi al terreno ma deve contemporaneamente fornire una base sufficientemente stabile.

Esso deve assorbire una parte delle sollecitazioni ma deve successivamente diventare abbastanza efficiente da partecipare alla propulsione.

Queste funzioni richiedono una struttura capace di cambiare comportamento durante il ciclo del passo.

La rappresentazione dedicata all'adattamento al terreno sottolinea proprio il carattere molto articolato del piede e ne associa la funzione a un adattamento tridimensionale.

Retropiede, mesopiede e avampiede cooperano

Il piede può essere letto funzionalmente attraverso tre grandi regioni:

- retropiede;
- mesopiede;
- avampiede.

Queste regioni non lavorano come blocchi indipendenti.

Il retropiede entra in relazione con la gamba e riceve una parte importante delle forze provenienti dall'alto.

Il mesopiede partecipa alla trasformazione e alla distribuzione delle sollecitazioni.

L'avampiede completa la relazione con il terreno e ha un ruolo crescente nelle fasi finali dell'appoggio.

La figura 25 rappresenta esplicitamente questa suddivisione e la inserisce all'interno del concetto di adattamento tridimensionale.

Il piede deve essere mobile e stabile nello stesso passo

Durante la prima parte dell'appoggio il piede deve accettare il carico.

Una certa capacità di deformazione permette di adattarsi alla superficie e di distribuire le pressioni.

Durante la progressione il comportamento cambia.

Il piede deve diventare nel tempo più efficace nella trasmissione delle forze e nella preparazione della fase propulsiva.

Mobilità e rigidità funzionale non sono due condizioni alternative.

Il piede deve possedere entrambe e deve saper passare dall'una all'altra nel momento appropriato.

La funzione dipende quindi dalla sequenza temporale.

Il piede è un trasformatore di rotazioni

Una forza che arriva al piede dal terreno non rimane confinata nel piede.

La configurazione delle articolazioni modifica infatti la rotazione della gamba e dell'intero arto inferiore.

Anche il fenomeno opposto è vero.

Le rotazioni provenienti da bacino, femore e tibia modificano il comportamento del piede.



Il piede funziona come un trasformatore bidirezionale.

Esso converte una parte delle rotazioni tra piano di appoggio e catena superiore.

Questo principio permette di comprendere il significato dell'elica podalica.

L'elica podalica

La locomozione umana viene qui collegata direttamente al concetto di Podalic helix.

L'elica descrive una struttura nella quale rotazione e avanzamento sono integrati.

Il piede umano non si limita ad abbassarsi e sollevarsi.

Le sue diverse regioni modificano reciprocamente il proprio orientamento.

Queste trasformazioni si integrano con le rotazioni dell'arto inferiore e del bacino.

Il piede diventa il punto terminale di un sistema rotazionale molto più ampio.

Un'elica a comportamento variabile

La rappresentazione dedicata all'adattamento al terreno definisce il piede umano attraverso l'espressione "elica a passo variabile".

Questa immagine descrive bene una caratteristica fondamentale.

L'elica del piede non possiede infatti una configurazione fissa.

La sua geometria cambia durante il carico.

La tensione dei tessuti cambia.

L'orientamento delle articolazioni cambia.

La rigidità funzionale cambia.

Il piede modifica continuamente il proprio comportamento in relazione alla fase del passo.

Il piede guida una parte importante della torsione

La figura 26 sviluppa ulteriormente il confronto e sottolinea che nell'uomo l'elica viene costruita in larga misura nel piede.

Questo concetto possiede un grande valore comparativo.

La torsione generata e ricevuta dal piede può propagarsi verso tibia, femore, bacino e rachide.

La figura mostra una rotazione ascendente che coinvolge progressivamente arto inferiore, bacino e colonna.

Il piede non è la fine della catena.

Esso rappresenta uno dei principali punti nei quali il terreno entra nella dinamica rotazionale dell'intero organismo.



La reazione del terreno umano assume una componente elicoidale

Il circuito oscillatorio umano comprende una reazione del terreno definita elicoidale e una successiva risalita elicoidale attraverso arto, bacino e tronco.

La forza di reazione del terreno non deve essere immaginata come una semplice freccia verticale.

La configurazione del piede e dell'arto modifica infatti la risultante tridimensionale.

Compressione, rotazione e componenti tangenziali vengono integrate nel sistema.

Il corpo riceve quindi dal terreno una sollecitazione tridimensionale.

Il piede umano svolge anche una funzione sensoriale

Il piede possiede una ricca innervazione cutanea e propriocettiva.

La superficie plantare informa continuamente il sistema nervoso sulla distribuzione delle pressioni e sulle caratteristiche del terreno.

L'adattamento biomeccanico dipende anche dalla qualità dell'informazione sensoriale.

Il piede non deve soltanto deformarsi correttamente.

Il sistema nervoso deve anche sapere come il piede si sta deformando.

La funzione meccanica e quella sensoriale sono strettamente integrate.

La zampa canina utilizza un'altra soluzione

La zampa del cane deve anch'essa interagire con il terreno ma lo fa all'interno di una locomozione quadrupede e digitaligrada.

Il cane non appoggia l'intera estremità secondo la stessa configurazione utilizzata dall'uomo.

Le dita e i cuscinetti costituiscono invece una parte fondamentale dell'interfaccia.

La figura 25 identifica proprio dita e cuscinetti, assorbimento e stabilità e integrazione con tutta la catena come caratteristiche principali della strategia canina.

La zampa è una struttura adattativa ma il suo ruolo deve essere letto all'interno di una catena più distribuita.

I cuscinetti partecipano all'interazione con il terreno

I cuscinetti costituiscono una regione deformabile tra scheletro distale e superficie.

La loro deformazione contribuisce alla distribuzione delle pressioni.

Essi aumentano inoltre la superficie di contatto utile e partecipano alla gestione delle piccole irregolarità del terreno.

La zampa canina possiede un sistema di adattamento locale.

Questo sistema non svolge però da solo tutte le trasformazioni biomeccaniche.

Una parte importante dell'adattamento viene distribuita verso le articolazioni superiori.



Le dita aumentano adattabilità e controllo

Le dita possono modificare la propria posizione in risposta alla superficie.

Il cane può quindi adattare la base di appoggio a piccole variazioni del terreno.

Questa capacità è particolarmente utile su superfici irregolari.

La zampa non costituisce una struttura rigida.

Essa modifica costantemente la propria geometria.

Il sistema nervoso utilizza contemporaneamente le informazioni sensoriali provenienti dall'appoggio per correggere l'intero arto.

La zampa fa parte di una catena più lunga

La differenza più importante rispetto all'uomo emerge quando si osserva ciò che avviene sopra la zampa.

La figura 26 afferma che il cane non perde l'elica ma modifica il luogo nel quale essa viene costruita. Nel cane la rotazione viene descritta come maggiormente distribuita lungo arto, bacino e rachide.

Questo concetto rappresenta uno dei punti centrali dell'intera biomeccanica comparata.

Il cane non rinuncia alla torsione.

Esso la distribuisce diversamente.

Nel cane l'elica si sposta verso l'alto

La zampa canina e il tarso presentano una funzione relativamente più orientata alla progressione sagittale rispetto alla complessa trasformazione tridimensionale del piede umano.

La figura 26 sintetizza questo concetto definendo il tarso canino più semplice e più parasagittale.

La conseguenza funzionale è importante.

Una parte maggiore delle rotazioni necessarie alla locomozione viene gestita attraverso articolazioni e segmenti più prossimali.

Arto, bacino e rachide diventano componenti ancora più importanti del sistema elicoidale.

L'elica canina è distribuita

La figura 26 rappresenta il percorso canino attraverso:

zampa e tarso → garretto → arto posteriore → bacino → rachide.

Questa sequenza mostra che la torsione non si concentra in un unico distretto.

La rotazione emerge progressivamente dalla relazione tra più segmenti.

Il cane utilizza quindi un'elica distribuita.

La definizione aiuta a comprendere perché la mobilità del rachide possieda una rilevanza così grande nella locomozione quadrupede.



La differenza tra uomo e cane non è “elica contro non elica”

Una lettura superficiale potrebbe suggerire che l'uomo utilizzi un movimento elicoidale mentre il cane utilizzi un movimento prevalentemente lineare.

Questa interpretazione non è corretta.

Il cane conserva l'elica ma cambia il luogo nel quale la costruisce.

La differenza riguarda la distribuzione anatomica della torsione.

Nell'uomo il piede contribuisce in modo molto importante alla costruzione dell'elica.

Nel cane una parte maggiore della torsione emerge da arto, bacino e rachide.

La quadrupedia permette di distribuire il problema su quattro estremità

L'uomo deve gestire l'intero peso corporeo attraverso due piedi.

Il cane distribuisce invece il carico tra quattro zampe.

Questa differenza modifica profondamente la richiesta funzionale di ogni singola estremità.

Il piede umano deve concentrare una grande quantità di adattamento, stabilizzazione e trasformazione.

La zampa canina può invece condividere una parte maggiore del compito con il resto della catena locomotoria.

La differenza nasce dall'intera architettura del corpo e non soltanto dalla forma dell'estremità.

La zampa posteriore e quella anteriore non svolgono esattamente lo stesso compito

Anche nel cane occorre distinguere tra zampa posteriore e zampa anteriore.

La zampa posteriore appartiene soprattutto al sistema propulsivo.

Essa deve trasferire efficacemente al terreno la forza prodotta dall'arto e dal complesso bacino-rachide.

La zampa anteriore appartiene invece maggiormente al sistema di sostegno, frenata e assorbimento.

La stessa struttura di base viene quindi utilizzata all'interno di due contesti biomeccanici differenti.

La zampa posteriore deve trasmettere la spinta

Durante la propulsione la zampa posteriore deve creare un'interazione efficace con la superficie.

La capacità di generare progressione dipende infatti dalla possibilità di trasferire la forza al terreno senza perdere eccessivamente aderenza.

La configurazione delle dita e dei cuscinetti partecipa a questo processo.

Il risultato dipende però anche dall'orientamento dell'intero arto.

La zampa rappresenta l'ultimo segmento di una strategia propulsiva che inizia molto più prossimalmente.

La zampa anteriore deve soprattutto ricevere il carico

Anteriormente il contatto con il terreno assume una funzione relativamente diversa.



La zampa deve ricevere la forza di reazione mentre il corpo procede in avanti.

Le strutture distali devono adattarsi.

L'arto deve assorbire.

La scapola deve scorrere.

La sospensione muscolo-fasciale deve modulare.

La zampa anteriore è l'inizio di una catena di assorbimento che prosegue fino al torace e al rachide.

La superficie modifica entrambe le strategie

Un terreno duro restituisce la forza in modo differente rispetto a un terreno cedevole.

Un terreno irregolare richiede maggiore adattamento.

Una superficie scivolosa riduce l'attrito disponibile.

Una salita modifica la direzione della risultante.

Una discesa aumenta la richiesta di frenata.

Piede umano e zampa canina devono adattarsi in modo continuo alle caratteristiche della superficie.

Il terreno costituisce una parte integrante della biomeccanica di entrambe le specie.

L'uomo concentra l'adattamento, il cane lo distribuisce

La figura 25 riassume efficacemente il confronto: nell'uomo l'adattamento nasce soprattutto nel piede mentre nel cane l'adattamento nasce nella zampa ma si distribuisce lungo tutta la catena.

Questa formulazione non deve essere interpretata in senso assoluto.

Anche l'uomo distribuisce le rotazioni attraverso arto e rachide.

Anche il cane possiede adattamento locale nella zampa.

La differenza riguarda il peso relativo delle due strategie.

Il piede umano possiede una maggiore specializzazione locale nella trasformazione tridimensionale.

Il cane utilizza una maggiore distribuzione del fenomeno lungo la catena.

Dal piede umano nasce una risalita elicoidale

Nel circuito umano la reazione del terreno viene descritta come elicoidale e la successiva risalita attraversa arto, bacino e tronco.

Il piede partecipa attivamente alla costruzione del movimento superiore.

Una variazione dell'appoggio può modificare la rotazione della tibia.

La tibia modifica la relazione con il femore.

Il femore modifica la relazione con il bacino.

Il bacino modifica la relazione con il rachide.

Il sistema è una continuità rotazionale.



Nel cane la torsione emerge maggiormente dalla catena

Nel cane la zampa modifica la propria configurazione ma la torsione significativa viene maggiormente distribuita verso garretto, arto, bacino e rachide.

Il rachide ha un ruolo particolarmente importante.

La quadrupedia permette inoltre di distribuire le rotazioni tra quattro arti e due cingoli.

La zampa deve essere interpretata come parte di questa architettura complessiva.

La sospensione scapolare completa la differenza

La catena anteriore del cane possiede una caratteristica ulteriore che non esiste nel sistema inferiore umano.

La scapola non è collegata osseamente al torace.

Una parte delle rotazioni e delle sollecitazioni può quindi essere modulata attraverso lo scorrimento scapolare e la sospensione muscolo-fasciale.

Questa caratteristica contribuisce a spiegare perché il cane possa distribuire più ampiamente la torsione lungo il corpo.

L'elica canina non appartiene soltanto alla zampa e all'arto.

Essa coinvolge l'intero sistema locomotorio.

Piede e zampa rappresentano anche organi percettivi

Entrambe le strutture trasmettono informazioni al sistema nervoso.

Il piede umano rileva distribuzione delle pressioni, caratteristiche della superficie e variazioni del carico.

La zampa canina svolge una funzione analoga attraverso cuscinetti, dita e recettori presenti nei tessuti.

La locomozione richiede contemporaneamente forza e informazione.

Un appoggio efficiente non dipende soltanto dalla struttura meccanica.

Esso dipende anche dalla capacità del sistema nervoso di interpretare correttamente ciò che accade al contatto con il terreno.

Un appoggio povero di informazioni modifica il movimento

Quando la qualità delle informazioni provenienti dal terreno cambia, il sistema nervoso può modificare la propria strategia.

Una superficie molto uniforme produce stimoli differenti rispetto a una superficie variabile.

Un terreno instabile richiede invece un maggiore adattamento.

Il sistema locomotorio utilizza queste informazioni per modificare rigidità, posizione articolare e distribuzione del carico.

Il piede e la zampa appartengono anche al sistema propriocettivo ed esterocettivo.



La differenza biomeccanica può essere sintetizzata in una frase

La figura 25 propone una sintesi particolarmente efficace:

Nell'uomo prevale il piede-elica; nel cane prevale la zampa con cuscinetti e dita integrata nell'intera catena locomotoria.

Questa frase non oppone due sistemi.

Essa descrive due distribuzioni differenti dello stesso problema biomeccanico.

Entrambi devono adattarsi.

Entrambi devono assorbire.

Entrambi devono trasmettere.

Entrambi devono produrre informazioni.

Il luogo nel quale queste funzioni vengono concentrate è però differente.

Una differenza che deriva dall'evoluzione della locomozione

La bipedia ha trasformato il piede umano in una struttura altamente specializzata.

Il piede deve sostenere, adattare e propellere una struttura verticale.

La quadrupedia canina distribuisce invece il problema tra quattro arti e mantiene una maggiore partecipazione dell'intero rachide alla locomozione.

La forma delle estremità riflette l'organizzazione globale delle due specie.

La biomeccanica del piede e della zampa non può essere compresa separandola dal resto del corpo.

Il terreno chiude il confronto

Il terreno è il punto nel quale le due strategie incontrano la stessa realtà fisica.

L'uomo utilizza il piede-elica per trasformare una parte importante delle sollecitazioni.

Il cane utilizza dita e cuscinetti e distribuisce maggiormente la trasformazione lungo la catena.

Il terreno restituisce a entrambi una forza.

Da quel momento la risposta percorre però due architetture differenti.

La stessa legge fisica produce quindi due soluzioni biologiche diverse.

Take home message

Piede umano e zampa canina rappresentano due strategie differenti di interazione con il terreno.

Nell'uomo il piede molto articolato concentra una parte importante dell'adattamento tridimensionale e della trasformazione elicoidale.

Nel cane la zampa utilizza dita e cuscinetti per adattarsi e assorbire localmente ma una parte maggiore della torsione viene distribuita lungo arto, bacino e rachide.

Il cane quindi **non perde l'elica: ne sposta e ne distribuisce la costruzione lungo il corpo.**



Fermati un attimo

Immagina di osservare soltanto il punto di contatto con il terreno.

Nel piede umano vedresti una struttura complessa che modifica continuamente la propria forma e trasforma le rotazioni.

Nella zampa canina vedresti invece un'estremità più compatta, dotata di dita e cuscinetti.

Potresti concludere che l'uomo utilizza la torsione e il cane no.

Ora allarga lo sguardo.

Osserva il garretto.

Osserva l'arto.

Osserva il bacino.

Osserva il rachide.

La torsione ricompare.

Il cane non elimina l'elica: la distribuisce.

Messaggi chiave

- Piede umano e zampa canina rappresentano due interfacce biomeccaniche differenti con il terreno.
- Il piede umano è una struttura altamente articolata e tridimensionale.
- Retropiede, mesopiede e avampiede cooperano durante l'intero ciclo dell'appoggio.
- Il piede deve alternare adattabilità e rigidità funzionale.
- Il piede umano partecipa alla trasformazione delle rotazioni tra terreno e arto.
- Il piede umano può essere interpretato attraverso il concetto di elica podalica.
- L'elica podalica viene descritta come una struttura funzionale a passo variabile.
- Nell'uomo una parte importante della torsione viene costruita nel piede.
- La rotazione può propagarsi dal piede verso tibia, femore, bacino e rachide.
- Il circuito umano comprende una reazione del terreno e una risalita elicoidali.
- La zampa canina utilizza principalmente dita e cuscinetti nell'interazione locale con il terreno.
- I cuscinetti partecipano alla distribuzione delle pressioni e all'assorbimento.
- Le dita aumentano l'adattabilità della base di appoggio.
- Nel cane una parte maggiore dell'adattamento viene distribuita lungo l'intera catena locomotoria.
- il tarso canino come relativamente più semplice e parasagittale rispetto al piede umano.
- Nel cane l'elica viene distribuita soprattutto lungo arto, bacino e rachide.
- La differenza non riguarda la presenza o l'assenza di torsione ma il luogo nel quale la torsione viene costruita.



Le Guide Love Your Life

- La zampa posteriore appartiene maggiormente al sistema propulsivo.
- La zampa anteriore appartiene maggiormente al sistema di sostegno e assorbimento.
- La sospensione scapolare contribuisce ulteriormente alla distribuzione delle rotazioni nel cane.
- Piede e zampa svolgono anche una funzione sensoriale.
- Il terreno modifica continuamente la risposta biomeccanica di entrambe le strutture.
- Nell'uomo prevale il concetto di piede-elica.
- Nel cane prevale il concetto di zampa integrata nell'intera catena locomotoria.

Capitolo 17 — L'elica come principio biomeccanico



www.giovannichetta.it

Figura — Nell'uomo e nel cane l'elica cambia sede ma non scompare.

Sezione aurea e serie di Fibonacci

La sezione aurea e la serie di Fibonacci possono essere lette come modelli geometrici di ordine, progressione e proporzione. In biomeccanica questi riferimenti non vanno letti come una legge rigida ma come una chiave interpretativa utile per descrivere l'armonia delle forme e alcune ricorrenze morfologiche.

Quando questi schemi vengono osservati nel piede umano, nel profilo del cane o nelle catene di trasmissione del movimento, essi suggeriscono un legame fra geometria, efficienza funzionale e distribuzione delle forze.

Sezione aurea e serie di Fibonacci

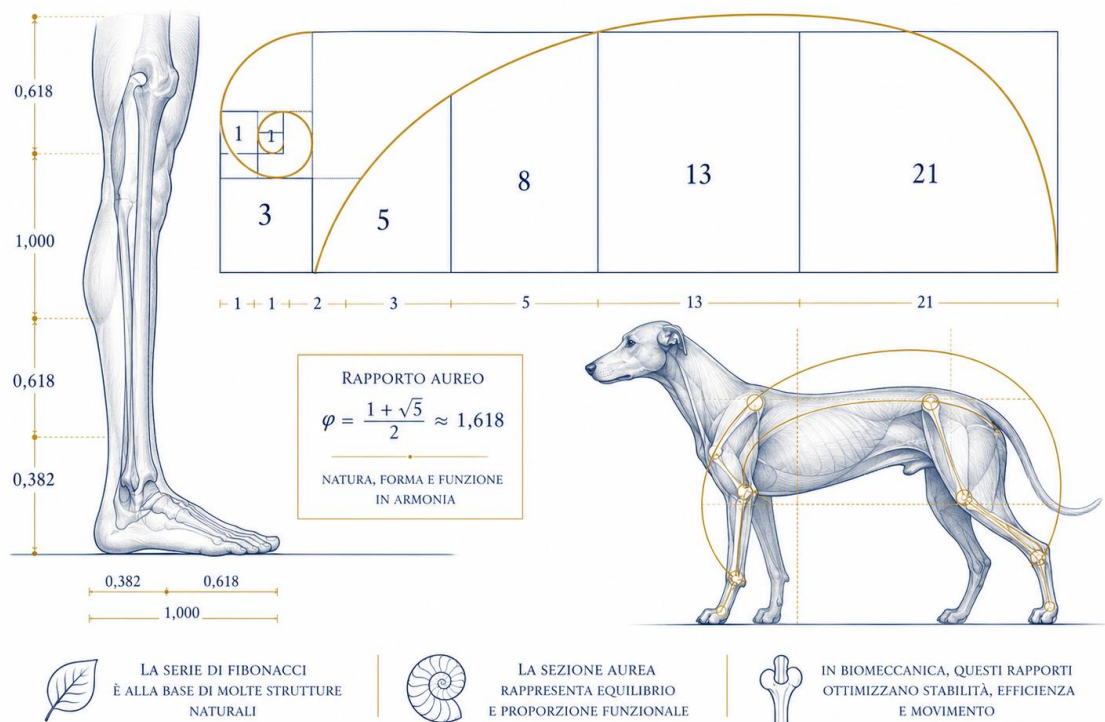


Figura — Sezione aurea e serie di Fibonacci come richiamo geometrico all'organizzazione del movimento.

Il movimento biologico raramente è soltanto lineare

Quando osserviamo un organismo che avanza, la traiettoria generale può apparire lineare. Le strutture che producono quella progressione compiono però movimenti molto più complessi.

Il bacino ruota.

Gli arti modificano il proprio orientamento.

Il rachide oscilla.

Le strutture connettivali vengono gradualmente tese e detese.

Il corpo combina quindi traslazione e rotazione.

L'elica rappresenta una forma geometrica particolarmente utile per descrivere questa combinazione.

Nel modello proposto il concetto compare in modo esplicito nel modello umano attraverso la Podalic helix e viene successivamente esteso al confronto con il cane.

La differenza fondamentale non consiste nella presenza dell'elica nell'uomo e nella sua assenza nel cane. Nel cane l'organizzazione elicoidale non scompare ma viene costruita e distribuita in sedi differenti.

Questo principio costituisce il punto centrale del confronto.

Che cosa significa movimento elicoidale

Un'elica combina due componenti.



La prima componente è una traslazione lungo un asse.

La seconda componente è una rotazione attorno allo stesso asse o attorno a un asse funzionalmente correlato.

Quando queste due componenti avvengono contemporaneamente, il percorso risultante assume una geometria elicoidale.

Il corpo utilizza frequentemente combinazioni di questo tipo.

Un segmento avanza mentre ruota.

Un'articolazione modifica contemporaneamente l'angolo e l'orientamento.

Il bacino procede nello spazio mentre ruota.

Il tronco avanza mentre produce controrotazioni.

L'elica costituisce un modello utile per descrivere il movimento tridimensionale continuo.

L'elica non rappresenta una struttura anatomica isolata

Il corpo non contiene necessariamente una singola struttura che possa essere identificata come "l'elica".

L'elica rappresenta soprattutto una modalità di organizzazione del movimento.

Una successione coordinata di rotazioni può infatti produrre un comportamento elicoidale anche quando nessun singolo segmento possiede una forma geometrica perfettamente elicoidale.

Questa distinzione evita una semplificazione eccessiva.

La biomeccanica elicoidale deve essere osservata come risultato della relazione tra più segmenti.

Dalla rotazione segmentaria alla torsione globale

Una rotazione locale modifica spesso la configurazione delle strutture adiacenti.

Nel corpo umano la rotazione del piede può accompagnarsi a modificazioni della tibia.

La tibia modifica la propria relazione con il femore.

Il femore modifica la relazione con il bacino.

Il bacino interagisce con il rachide.

Il movimento locale entra in una continuità rotazionale più ampia.

Nel cane la stessa logica viene distribuita su una catena differente.

La zampa interagisce con il terreno.

Il garretto modifica la propria posizione.

L'arto cambia orientamento.

Il bacino ruota.

Il rachide distribuisce ulteriormente la torsione.

La figura comparativa rappresenta proprio questa differenza tra un'elica umana fortemente costruita nel piede e un'elica canina maggiormente distribuita lungo arto, bacino e rachide.



La torsione non equivale a una rotazione isolata

Una rotazione riguarda il cambiamento di orientamento di un segmento.

La torsione descrive invece una condizione nella quale differenti regioni di una struttura ruotano in modo relativo tra loro.

Il movimento del corpo contiene costantemente entrambe le componenti.

Il bacino può ruotare rispetto al terreno.

Il torace può controrotare rispetto al bacino.

Il piede può modificare la propria configurazione mentre l'arto continua a ruotare.

La torsione permette al sistema di distribuire il movimento nello spazio.

Il corpo utilizza rotazioni complementari

Nel modello dello Human vortex la rotazione del bacino si accompagna a una controrotazione della regione superiore e alla stabilizzazione della testa.

Questa rappresentazione evidenzia un principio generale.

Il corpo non deve necessariamente ruotare tutto nella stessa direzione.

Segmenti differenti possono ruotare in direzioni opposte.

Queste rotazioni complementari permettono di controllare il momento angolare e di mantenere una progressione efficiente.

La locomozione utilizza un'alternanza organizzata di torsioni.

L'elica permette di collegare piani differenti

Un movimento puramente sagittale rimarrebbe confinato alla flessione e all'estensione.

Il movimento reale deve però adattarsi a superfici, direzioni e perturbazioni tridimensionali.

La rotazione permette di collegare i differenti piani.

L'elica rappresenta una soluzione geometrica attraverso la quale il sistema integra movimento longitudinale e rotazione.

Questa integrazione consente una maggiore continuità rispetto a una sequenza di movimenti completamente separati.

Elogio all'elica: perché questa forma ricorre in natura

L'elica e la spirale ricorrono frequentemente in natura a scale molto diverse. La doppia elica del DNA, la tripla elica del collagene, i viticci delle piante, numerose conchiglie e corna, le disposizioni spiraliformi di foglie e semi e molti vortici nei fluidi mostrano che la combinazione tra rotazione e progressione rappresenta una soluzione geometrica ricorrente. Spirale ed elica non sono però sinonimi: una spirale può svilupparsi prevalentemente su un piano o su una superficie mentre un'elica avanza nello spazio attorno a un asse.

La natura non "sceglie" consapevolmente l'elica e questa forma non rappresenta una legge universale. Essa emerge ripetutamente perché, in determinate condizioni, offre vantaggi geometrici e meccanici: consente

di distribuire le deformazioni lungo una traiettoria continua, consente di combinare flessibilità e stabilità, trasmette torsione senza concentrare tutto il movimento in un solo punto e può racchiudere una grande lunghezza strutturale in uno spazio relativamente contenuto.

Nei sistemi biologici la configurazione elicoidale può inoltre accompagnare la crescita progressiva senza richiedere brusche discontinuità geometriche. Nei fluidi la rotazione organizza il trasferimento di quantità di moto e genera vortici; nelle strutture fibrose l'avvolgimento può aumentare la capacità di deformarsi e ritornare verso la configurazione precedente. Il vantaggio non consiste quindi in una generica "perfezione" dell'elica ma nella sua capacità di integrare continuità, torsione, adattabilità e distribuzione delle sollecitazioni.

Questa ricorrenza naturale rende l'elica un modello particolarmente utile per la biomeccanica. Il corpo che cammina non procede come una struttura rigida lungo una linea retta: avanza mentre bacino, arti, rachide e tessuti connettivi ruotano, contro-ruotano e si deformano. La geometria elicoidale permette di descrivere questa organizzazione senza ridurla a una semplice somma di rotazioni isolate.



Figura — "Elogio all'elica": esempi di configurazioni elicoidali e spiraliformi presenti in natura e nelle strutture biologiche.

L'elica e il concetto di 4D

L'elica possiede già una geometria tridimensionale.

Nel corpo però essa cambia in modo continuo nel tempo.

L'ampiezza della rotazione varia.

La velocità varia.

Il punto di applicazione delle forze varia.



La direzione cambia durante il ciclo.

L'elica biologica deve essere interpretata in quattro dimensioni.

Essa non è una forma statica.

Essa rappresenta una **forma che si costruisce, si modifica e si dissolve nel tempo.**

Due architetture, due modi di costruire l'elica

Il capitolo precedente ha già mostrato nel dettaglio che l'uomo concentra una parte importante dell'adattamento torsionale nel piede mentre il cane distribuisce maggiormente la torsione lungo zampa, arto, bacino e rachide. Non è utile ripetere qui l'anatomia delle due soluzioni.

Ai fini del principio elicoidale basta fissare una differenza: nell'uomo l'elica possiede un importante condensatore distale nel piede; nel cane emerge in modo più diffuso dalla cooperazione dell'intera catena locomotoria. In entrambe le specie l'efficacia dipende dal controllo delle rotazioni, dal timing e dalla possibilità di trasferire il carico senza irrigidire il sistema.

Movimento elicoidale e fascia

Le rotazioni deformano la rete fasciale.

Una torsione del bacino modifica le tensioni nella regione toracolombare.

Una controrotazione toracica modifica nuovamente la configurazione.

Gli arti modificano le tensioni lungo le strutture miofasciali.

La fascia partecipa alla continuità della torsione.

Il sistema connettivo viene descritto nel modello come una rete ubiquitaria che forma con i muscoli catene miofasciali e contribuisce a una struttura di tensegrità.

L'elica si inserisce naturalmente in questa organizzazione.

Le fibre non devono essere immaginate come cavi rigidi

La continuità fasciale non implica che una torsione percorra una singola linea predeterminata.

Le fibre possiedono orientamenti differenti.

Le articolazioni cambiano posizione.

I muscoli modificano la propria tensione.

La direzione prevalente della forza cambia quindi durante il movimento.

L'elica biologica nasce da una rete adattativa e non da un sistema di cavi rigidi.

Tensegrità ed elica

La tensegrità aiuta a comprendere perché una rotazione locale possa modificare l'equilibrio di una regione più ampia.

La rete pretensionata risponde infatti alla modificazione delle tensioni.

Una torsione cambia la lunghezza relativa delle strutture.



Queste modificazioni alterano la distribuzione delle forze.

Il sistema raggiunge una nuova configurazione.

L'elica può essere interpretata come una delle modalità dinamiche attraverso le quali una struttura di tensegrità cambia forma senza perdere la propria continuità.

L'elica permette deformazione senza collasso

Una struttura locomotoria deve deformarsi ma deve mantenere contemporaneamente una sufficiente stabilità.

Il movimento elicoidale permette di distribuire la deformazione tra più piani e più segmenti.

Il carico non deve essere concentrato necessariamente in un unico punto.

La torsione può essere distribuita nel tempo.

Questa distribuzione contribuisce alla continuità del movimento.

L'elica e l'energia elastica

Quando una struttura elastica viene sottoposta a torsione, essa può accumulare energia.

Quando la tensione diminuisce, una parte dell'energia può essere restituita.

Muscoli, tendini e fascia partecipano in misura diversa a questi processi.

Il movimento locomotorio può utilizzare cicli di caricamento e scaricamento.

L'elica rappresenta una geometria compatibile con questa alternanza.

Il vantaggio dipende però dal timing.

L'energia restituita deve essere disponibile nella fase nella quale può contribuire al movimento.

La quarta dimensione decide se l'elica è efficace

La geometria da sola non basta.

Una rotazione corretta eseguita nel momento sbagliato può interferire con il movimento.

Il bacino deve ruotare nella fase appropriata.

Il piede deve cambiare rigidità nella fase appropriata.

Il rachide deve coordinarsi con gli arti.

La scapola deve scorrere in relazione al carico.

L'efficacia dell'elica dipende quindi dalla sincronizzazione.

Il principio elicoidale appartiene pienamente alla biomeccanica 4D.

L'elica non deve essere massima

Un errore interpretativo consiste nell'associare una maggiore rotazione a una migliore funzione.

Il corpo non ricerca la massima torsione possibile.

Esso ricerca la torsione necessaria.



Una rotazione eccessiva può richiedere compensazioni.

Una rotazione insufficiente può concentrare il movimento in altri distretti.

L'efficienza dipende dalla quantità appropriata di torsione distribuita nel momento appropriato.

La rigidità interrompe la distribuzione

Quando una regione perde mobilità, una parte della torsione deve essere gestita altrove.

Nell'uomo una riduzione dell'adattabilità del piede può modificare la richiesta rotazionale verso ginocchio, anca e bacino.

Nel cane una riduzione della mobilità del rachide può modificare il lavoro richiesto agli arti e ai cingoli.

Il sistema conserva spesso la progressione attraverso compensazioni.

La continuità apparente del movimento può nascondere una distribuzione meno efficiente delle rotazioni.

Anche l'eccessiva mobilità altera l'elica

Una regione eccessivamente mobile può assorbire una quota troppo grande della torsione.

Le strutture adiacenti ricevono una trasformazione differente.

Il sistema nervoso può aumentare la co-contrazione per controllare il segmento.

L'efficienza diminuisce.

La funzione elicoidale richiede quindi un equilibrio tra mobilità e controllo.

Il terreno determina una parte dell'elica

Il corpo non costruisce le rotazioni indipendentemente dalla superficie.

L'attrito modifica la possibilità di applicare forze tangenziali.

L'inclinazione modifica la direzione delle risultanti.

Le irregolarità modificano la posizione degli appoggi.

Una superficie cedevole modifica la deformazione.

L'elica deve adattarsi continuamente alle caratteristiche del terreno.

La geometria del movimento nasce dall'incontro tra struttura corporea e ambiente.

Il terreno non è soltanto il punto finale

Nel circuito oscillatorio il terreno restituisce una forza che entra nuovamente nel corpo.

L'elica viene influenzata dall'alto e dal basso.

Il corpo porta al terreno una determinata configurazione.

Il terreno restituisce una determinata reazione.

Questa reazione modifica la configurazione successiva.

La locomozione è una costruzione reciproca.



La propiocezione controlla l'elica

Il sistema nervoso deve conoscere continuamente la posizione delle articolazioni e la tensione dei tessuti.

La torsione modifica infatti numerosi segnali propriocettivi.

I recettori comunicano come il sistema si sta deformando.

Il cervello e i circuiti spinali utilizzano queste informazioni per modificare la risposta muscolare.

L'elica non è soltanto un fenomeno meccanico.

Essa rappresenta anche un fenomeno controllato sensorialmente.

Una superficie irregolare mostra il valore dell'elica

Su un terreno perfettamente uniforme il movimento può diventare relativamente prevedibile.

Una superficie irregolare obbliga invece il sistema a modificare costantemente orientamento e rigidità.

L'uomo utilizza in modo importante l'adattabilità del piede e dell'arto.

Il cane utilizza zampa, arti, bacino, rachide e cintura scapolare.

In entrambe le specie la capacità di distribuire tridimensionalmente il movimento permette di mantenere la progressione.

L'elica costituisce anche un principio di adattabilità.

Uomo e cane risolvono lo stesso problema fisico

Entrambi devono avanzare nel campo gravitazionale.

Entrambi devono produrre una forza contro il terreno.

Entrambi devono ricevere una reazione dal terreno.

Entrambi devono controllare torsioni e momenti angolari.

Le due specie utilizzano però architetture differenti.

L'uomo concentra una parte importante della trasformazione distale nel piede.

Il cane distribuisce maggiormente questa trasformazione lungo l'intera catena locomotoria.

Il principio fisico rimane comune mentre la soluzione biologica cambia.

L'elica umana

Il modello umano può essere sintetizzato nel seguente percorso:

piede → gamba → femore → bacino → rachide → controrotazione del tronco → stabilizzazione della testa.

Questa rappresentazione descrive una torsione che viene costruita in modo importante distalmente e successivamente integrata lungo il corpo.

Il circuito reale funziona naturalmente anche nella direzione opposta.

Le oscillazioni del tronco e del bacino modificano a loro volta il comportamento del piede.



L'elica umana è bidirezionale.

L'elica canina

Il modello canino può essere sintetizzato attraverso:

zampa → garretto → arto → bacino → rachide → cintura scapolare → arto anteriore → nuova interazione con il terreno.

La torsione viene distribuita progressivamente.

Il rachide ha un ruolo centrale.

La differenza tra bacino e cintura scapolare modifica ulteriormente la propagazione.

L'elica canina appartiene quindi all'intero circuito.

Dal principio dell'elica alla postura

Il movimento elicoidale non interessa soltanto la locomozione rapida.

Anche nella postura le piccole variazioni della distribuzione del peso producono rotazioni.

Il piede modifica l'appoggio.

Il bacino modifica leggermente la posizione.

Il rachide modifica le proprie tensioni.

Nel cane il carico cambia tra i quattro arti e i due cingoli devono adattarsi.

La statica conserva una componente tridimensionale e rotazionale.

Questo passaggio introduce direttamente la parte successiva della guida.

La **Parte V** analizzerà infatti postura, equilibrio, andature, cerniere e controllo della testa.

Take home message

L'elica rappresenta una modalità attraverso la quale il corpo integra avanzamento e rotazione.

Nell'uomo una parte molto importante della trasformazione elicoidale viene costruita nel piede e risale attraverso arto, bacino e rachide.

Nel cane la zampa partecipa all'adattamento ma una parte maggiore della torsione viene distribuita lungo garretto, arto, bacino e rachide e viene ulteriormente modulata dalla cintura scapolare.

La differenza fondamentale può essere sintetizzata in una frase:

L'uomo concentra maggiormente l'elica nel piede mentre il cane distribuisce maggiormente l'elica lungo il corpo.

Fermati un attimo

Osserva una vite.

Se la vite potesse soltanto avanzare senza ruotare, perderebbe il principio che le permette di trasformare efficacemente il movimento.



Ora osserva mentalmente un corpo che cammina.

Il bacino ruota.

L'arto cambia orientamento.

Il piede si deforma.

Il rachide risponde.

Nel cane la stessa logica continua attraverso una catena più estesa.

Il movimento non procede nonostante le rotazioni.

Il movimento procede anche grazie alla loro organizzazione.

Messaggi chiave

- L'elica combina traslazione e rotazione.
- Il movimento biologico utilizza frequentemente combinazioni elicoidali.
- L'elica deve essere interpretata come un principio funzionale e non come una singola struttura anatomica.
- La torsione nasce dalla rotazione relativa tra regioni differenti.
- Rotazioni e controrotazioni permettono di distribuire il momento angolare.
- L'elica collega i differenti piani del movimento.
- Il tempo trasforma l'elica tridimensionale in un fenomeno 4D.
- Nell'uomo il piede costruisce una parte importante dell'adattamento elicoidale.
- Il piede umano può essere descritto come un'elica a passo variabile.
- La reazione del terreno può essere integrata in una risalita rotazionale attraverso arto, bacino e tronco.
- Il bacino è un nodo fondamentale della continuità elicoidale umana.
- Il tronco utilizza controrotazioni mentre la testa viene stabilizzata.
- Nel cane l'elica non scompare.
- Nel cane la torsione viene maggiormente distribuita lungo zampa, garretto, arto, bacino e rachide.
- Il rachide canino ha un ruolo particolarmente importante nell'organizzazione elicoidale.
- La differenza strutturale tra bacino e scapola modifica la propagazione delle rotazioni.
- Posteriormente la torsione si integra soprattutto con la propulsione.
- Anteriormente la torsione si integra soprattutto con assorbimento e modulazione.
- La fascia partecipa alla distribuzione delle tensioni generate dalle rotazioni.
- La tensegrità permette di interpretare la torsione come una modificazione globale dell'equilibrio delle tensioni.
- L'energia elastica può essere accumulata e restituita durante i cicli di caricamento e scaricamento.



Le Guide Love Your Life

- Una torsione efficace richiede un timing appropriato.
- Una rotazione maggiore non significa necessariamente una funzione migliore.
- Rigidità e mobilità eccessive possono entrambe alterare la distribuzione elicoidale.
- Il terreno partecipa alla costruzione dell'elica.
- La propriocezione permette al sistema nervoso di controllarne in modo continuo la configurazione.
- Uomo e cane risolvono lo stesso problema fisico attraverso una diversa distribuzione anatomica della torsione.

PARTE V — POSTURA, EQUILIBRIO E ANDATURE

Capitolo 18 — Il sistema dell'equilibrio

L'equilibrio non appartiene a un singolo organo

L'equilibrio non dipende da una sola struttura e non nasce da un unico tipo di informazione.

Il sistema dell'equilibrio nasce dall'integrazione tra sistema nervoso, apparato uditivo-vestibolare, sistema oculare, sistemi esterocettivi e propriocettivi e sistema miofasciale.

Questa impostazione possiede un significato biomeccanico fondamentale.

Il corpo deve infatti conoscere continuamente la propria posizione, deve riconoscere le accelerazioni, deve valutare la superficie di appoggio e deve confrontare queste informazioni con il movimento che sta producendo.

L'equilibrio rappresenta un processo continuo di integrazione sensoriale e risposta motoria.

Equilibrio non significa immobilità

Una concezione intuitiva dell'equilibrio può associarlo alla capacità di rimanere perfettamente fermi.

Il corpo biologico non funziona in questo modo.

Anche durante una postura apparentemente immobile il centro di massa oscilla, i muscoli modificano la propria attività e le pressioni sugli appoggi cambiano continuamente.

Il sistema corregge queste variazioni attraverso piccoli aggiustamenti.

L'equilibrio rappresenta quindi una **stabilità dinamica**.

Il corpo rimane funzionalmente stabile proprio perché continua a muoversi.

L'equilibrio nasce dal rapporto con la gravità

Ogni organismo terrestre deve gestire costantemente la gravità.

Il centro di massa tende a muoversi in relazione alla base di appoggio.

Quando la proiezione del centro di massa si avvicina ai limiti della base di appoggio, il sistema deve modificare la propria configurazione.

Il corpo può spostare un segmento, modificare il tono muscolare, cambiare la distribuzione delle pressioni o creare un nuovo appoggio.

L'equilibrio è una risposta continua al campo gravitazionale.

Base di appoggio e stabilità

La base di appoggio rappresenta la regione delimitata dai punti di contatto con il terreno.

Una base più ampia offre generalmente una maggiore possibilità di mantenere la proiezione del centro di massa all'interno dell'area disponibile.

Una base più ridotta richiede invece un controllo più preciso.



Questa differenza è particolarmente rilevante nel confronto tra uomo e cane.

L'uomo utilizza normalmente due appoggi nella stazione eretta.

Il cane utilizza quattro appoggi.

La quadrupedia offre quindi una base di appoggio generalmente più ampia ma richiede contemporaneamente la coordinazione di un numero maggiore di arti.

L'uomo deve controllare una struttura verticale

La postura umana presenta un centro di massa relativamente elevato rispetto alla base di appoggio.

Questa configurazione aumenta la richiesta di controllo.

Il piede deve rilevare costantemente le variazioni di pressione.

La caviglia deve partecipare alle correzioni.

Il bacino deve modificare la propria posizione.

Il rachide deve distribuire le oscillazioni.

La testa deve mantenere un orientamento compatibile con la funzione visiva e vestibolare.

La bipedia è un equilibrio dinamico ottenuto attraverso correzioni continue.

Il cane utilizza quattro appoggi ma non possiede un equilibrio automatico

La presenza di quattro arti aumenta la base di appoggio ma non elimina la complessità del controllo.

Il cane deve distribuire il peso tra quattro estremità.

La posizione della testa modifica il carico anteriore.

Il movimento della coda può modificare la distribuzione delle masse.

Il rachide oscilla.

Il bacino e la cintura scapolare possiedono comportamenti differenti.

Il sistema nervoso deve quindi conoscere in modo continuo la relazione tra tutte queste componenti.

Il sistema nervoso integra le informazioni

Il sistema nervoso occupa una posizione centrale nell'integrazione del sistema dell'equilibrio.

Il sistema nervoso riceve informazioni provenienti da fonti differenti.

Il sistema nervoso deve confrontare le informazioni ricevute, stabilire quali segnali siano più affidabili ed elaborare una risposta.

La risposta deve modificare rapidamente il tono muscolare e la posizione dei segmenti corporei.

L'equilibrio costituisce un ciclo continuo tra percezione e azione.

Il sistema vestibolare rileva le accelerazioni della testa

L'apparato vestibolare fornisce informazioni sull'orientamento e sulle accelerazioni della testa.

Questa funzione è fondamentale perché la testa rappresenta una piattaforma sensoriale.



Quando il corpo accelera oppure cambia direzione, l'apparato vestibolare rileva queste variazioni.

Il sistema nervoso utilizza tali informazioni per modificare la risposta posturale.

Il controllo vestibolare non agisce isolatamente.

Esso viene confrontato con informazioni visive e somatosensoriali.

La stabilizzazione della testa assume un significato centrale

I capitoli dedicati allo Spine Engine hanno mostrato come il corpo possa produrre rotazioni del bacino e controrotazioni del tronco mentre la testa viene mantenuta relativamente stabile.

La stabilizzazione cefalica permette ai sistemi visivo e vestibolare di funzionare in condizioni più favorevoli.

La testa non deve essere completamente immobile.

Essa deve però evitare oscillazioni incompatibili con un controllo sensoriale efficace.

Il sistema cervicale svolge un ruolo importante nell'equilibrio globale.

La visione anticipa l'ambiente

Il sistema visivo fornisce informazioni sulla posizione degli oggetti, sulla pendenza del terreno e sulla traiettoria prevista.

Questa funzione permette al sistema nervoso di preparare il movimento prima del contatto.

Una persona può modificare il passo osservando un gradino.

Un cane può modificare la traiettoria osservando un ostacolo.

La visione contribuisce quindi in modo importante al controllo anticipatorio.

L'equilibrio utilizza non soltanto correzioni successive all'errore ma anche strategie preparatorie.

La proprioccezione descrive il corpo dall'interno

La proprioccezione informa il sistema nervoso sulla posizione delle articolazioni, sulla lunghezza muscolare, sulla tensione e sulle deformazioni tissutali.

Queste informazioni permettono al sistema di conoscere la configurazione corporea anche senza utilizzare la vista.

Un cane può modificare la posizione di un arto senza osservarlo.

Una persona può mantenere una postura a occhi chiusi.

La qualità dell'equilibrio dipende dalla precisione di questa rappresentazione interna.

L'esterocezione descrive il rapporto con il terreno

Cute, superficie plantare e cuscinetti trasmettono informazioni sulla pressione e sul contatto con l'ambiente.

Il terreno non produce soltanto una reazione meccanica.

Esso produce anche una grande quantità di informazione sensoriale.



Una superficie dura, morbida, inclinata o irregolare genera pattern di stimolazione differenti.

Il sistema nervoso utilizza questi segnali per modificare il controllo motorio.

L'appoggio rappresenta contemporaneamente un evento biomeccanico e sensoriale.

Il sistema miofasciale partecipa all'equilibrio

Il sistema miofasciale partecipa alle componenti integrate del sistema dell'equilibrio.

Questa inclusione è coerente con quanto sviluppato nei capitoli precedenti.

La fascia trasmette tensioni.

La fascia possiede una ricca innervazione sensoriale.

Le deformazioni della rete miofasciale modificano sia la distribuzione delle forze sia le informazioni ricevute dal sistema nervoso.

Il sistema miofasciale contribuisce così alla relazione tra struttura e controllo.

Informazione e tensione cambiano insieme

Quando il corpo modifica la propria posizione, la tensione dei tessuti cambia.

Il cambiamento di tensione stimola i recettori.

I recettori inviano nuove informazioni.

Il sistema nervoso modifica la risposta muscolare.

La risposta muscolare modifica nuovamente la tensione.

L'equilibrio emerge quindi da un circuito nel quale informazione e forza si modificano reciprocamente.

Il corpo deve decidere quali informazioni utilizzare

I differenti sistemi sensoriali non forniscono sempre informazioni perfettamente concordanti.

Una superficie instabile può rendere meno affidabile l'informazione proveniente dagli appoggi.

Una ridotta visibilità diminuisce il contributo visivo.

Un movimento rapido della testa modifica fortemente l'informazione vestibolare.

Il sistema nervoso deve modificare il peso relativo attribuito alle diverse fonti.

L'equilibrio rappresenta anche una capacità di selezionare le informazioni più utili per il contesto.

L'uomo può diventare eccessivamente dipendente dalla vista

Quando l'informazione propriocettiva è meno efficace, il sistema può aumentare l'utilizzo della visione.

Una persona può mantenere un buon controllo con gli occhi aperti ma mostrare maggiori difficoltà quando li chiude.

Il fenomeno mostra che la prestazione apparente non descrive necessariamente l'efficienza di tutti i sistemi coinvolti.

Un equilibrio robusto richiede una buona integrazione tra più fonti.



Nel cane l'olfatto influenza anche l'orientamento motorio

Il cane utilizza l'olfatto in modo molto più rilevante dell'uomo per l'esplorazione dell'ambiente.

La particolare specializzazione olfattiva canina merita una considerazione specifica.

L'olfatto non appartiene direttamente al sistema vestibolare o propriocettivo ma può orientare il comportamento e quindi modificare il movimento.

Un cane che segue una traccia modifica frequentemente la posizione di testa e collo.

Questa modifica altera la distribuzione del peso e il comportamento degli arti anteriori.

La percezione dell'ambiente può modificare indirettamente anche l'equilibrio biomeccanico.

Abbassare la testa cambia la distribuzione del peso

Quando il cane abbassa la testa verso il terreno, la massa cefalica si sposta anteriormente e inferiormente.

La cintura scapolare e gli arti anteriori devono adattare la propria funzione.

Il rachide cervicale cambia configurazione.

La tensione lungo il dorso cambia.

La posizione della testa è una variabile biomeccanica importante.

Il comportamento sensoriale può modificare direttamente la distribuzione delle forze.

L'equilibrio durante il movimento è più complesso della stazione

Durante la locomozione la base di appoggio cambia continuamente.

Un arto lascia il terreno.

Un altro entra in appoggio.

Il centro di massa continua ad avanzare.

Le forze inerziali aumentano.

Il sistema non deve quindi soltanto mantenere l'equilibrio.

Esso deve gestire volontariamente condizioni che sarebbero instabili se il movimento successivo non fosse già preparato.

La locomozione utilizza quindi un'instabilità controllata.

Camminare significa perdere e recuperare continuamente l'equilibrio

Durante il passo il corpo sposta il centro di massa verso una nuova base di appoggio.

Un arto viene alleggerito e avanza.

Il sistema deve prevedere dove avverrà il prossimo contatto.

La progressione richiede di accettare temporaneamente una configurazione meno stabile.

Il movimento efficace non elimina l'instabilità.

Esso la utilizza e la controlla.



Nel cane la sequenza è distribuita tra quattro arti

La locomozione quadrupede utilizza una continua modifica della base di appoggio.

Il numero e la disposizione degli arti a terra cambiano in relazione all'andatura.

Nel passo il cane conserva generalmente una base più ampia.

Nel trotto la base cambia e aumenta la richiesta di coordinazione diagonale.

Nel galoppo possono comparire fasi nelle quali nessun arto tocca il terreno.

L'equilibrio deve essere continuamente riorganizzato.

L'andatura modifica la strategia di equilibrio

Passo, trotto e galoppo non differiscono soltanto per velocità.

Essi modificano la geometria degli appoggi e il rapporto temporale tra gli arti.

La strategia utilizzata per controllare il centro di massa cambia con l'andatura.

Una stessa struttura corporea utilizza modalità differenti di stabilizzazione.

Il controllo dell'equilibrio deve quindi essere specifico per il compito.

Il trotto utilizza la coordinazione diagonale

Durante il trotto il cane organizza il movimento attraverso coppie diagonali.

La base di appoggio assume una geometria differente rispetto al passo.

Il rachide deve integrare le forze provenienti da regioni opposte del corpo.

Il controllo laterale diventa particolarmente importante.

La stabilità deriva dalla sincronizzazione temporale e non da una base di appoggio costantemente ampia.

Il galoppo utilizza fasi di instabilità estrema

Durante il galoppo possono comparire fasi di sospensione.

In quei momenti la base di appoggio scompare temporaneamente.

Il corpo conserva però una traiettoria prevedibile grazie all'inerzia e al controllo della configurazione.

Gli arti vengono preparati per il contatto successivo.

Il rachide modifica la propria forma.

La testa viene orientata.

Il sistema utilizza un equilibrio dinamico che non richiede necessariamente un contatto continuo con il terreno.

La velocità riduce il tempo disponibile per correggere

Quando la velocità aumenta, il sistema possiede meno tempo per reagire a un errore dopo che questo è comparso.



Il controllo deve diventare più anticipatorio.

Il sistema nervoso prepara la rigidità dell'arto, la posizione della zampa e la configurazione del rachide.

La capacità predittiva diventa quindi sempre più importante nelle andature rapide.

Feedback e feedforward cooperano

Il feedback utilizza le informazioni prodotte da ciò che è appena accaduto.

Il feedforward prepara invece il movimento sulla base di ciò che il sistema si aspetta che accada.

L'equilibrio efficiente utilizza entrambe le strategie.

Una superficie prevista permette una preparazione anticipatoria.

Una perturbazione inattesa richiede invece una correzione.

Il movimento reale combina costantemente previsione e adattamento.

L'equilibrio deve essere adattabile e non soltanto preciso

Un soggetto può imparare a mantenere una determinata posizione con grande precisione.

Questa capacità non garantisce però automaticamente un buon equilibrio in condizioni diverse.

Il sistema deve saper affrontare variazioni.

Il terreno cambia.

La velocità cambia.

La direzione cambia.

La posizione della testa cambia.

La capacità di adattamento è una caratteristica essenziale dell'equilibrio funzionale.

La rigidità può sostituire temporaneamente il controllo

Quando il sistema percepisce instabilità, può aumentare la co-contrazione muscolare.

Questa strategia riduce i gradi di libertà e rende il corpo più prevedibile.

L'aumento della rigidità può migliorare temporaneamente la sensazione di sicurezza.

Un uso eccessivo di questa strategia riduce però adattabilità e fluidità.

L'equilibrio efficiente richiede controllo senza una rigidità inutile.

Un buon equilibrio possiede libertà controllata

Un sistema funzionale deve essere sufficientemente mobile da adattarsi e sufficientemente stabile da non perdere il controllo; deve anche poter modificare rapidamente la relazione tra queste due qualità.

L'equilibrio non coincide con il massimo tono muscolare.

Esso coincide con la **quantità di controllo necessaria in quel preciso momento.**



Il sistema fasciale partecipa alla regolazione della rigidità

La rete fasciale possiede una pretensione di base.

La contrazione muscolare modifica la sua tensione.

La configurazione articolare modifica ulteriormente la rete.

Il corpo può aumentare o ridurre la propria rigidità funzionale attraverso una combinazione di controllo neuromuscolare e proprietà tissutali.

La tensegrità fornisce una chiave utile per interpretare questa capacità.

La respirazione modifica continuamente l'equilibrio

La respirazione modifica la geometria del torace e la pressione all'interno delle cavità corporee.

Il diaframma si muove.

Le coste si muovono.

Il centro di massa subisce piccole variazioni.

Il sistema posturale deve quindi integrare anche queste oscillazioni.

La postura apparentemente statica contiene pertanto una continua componente respiratoria.

Nel cane questa relazione deve essere integrata anche con lo scorrimento della cintura scapolare sulla parete toracica.

L'equilibrio non è separabile dalla postura

La postura rappresenta la configurazione nella quale il corpo organizza il proprio rapporto con gravità e ambiente.

L'equilibrio rappresenta il processo attraverso il quale quella configurazione viene mantenuta oppure modificata.

I due concetti sono strettamente collegati.

Una postura non è semplicemente una forma.

Essa è il risultato temporaneo di un sistema che continua a correggersi.

L'equilibrio non è separabile dalla locomozione

Anche la locomozione utilizza gli stessi sistemi.

Vista, vestibolo, propiocezione, esterocettori, fascia e sistema nervoso continuano a collaborare.

La differenza principale riguarda il fatto che il corpo utilizza oscillazioni più ampie e cambia in modo continuo la base di appoggio.

La locomozione può essere considerata una forma altamente dinamica di controllo dell'equilibrio.

Il "sistema cibernetico cane"

L'espressione "sistema cibernetico cane" può descrivere in modo metaforico l'integrazione tra sistemi nervoso, vestibolare, oculare, esterocettivo, propriocettivo e miofasciale.



Il termine cibernetico deve essere inteso qui nel suo significato funzionale.

Il sistema riceve informazioni, le confronta con l'obiettivo e produce una risposta.

La risposta modifica il corpo e l'ambiente.

Il nuovo stato produce nuove informazioni.

Il ciclo riparte.

L'equilibrio costituisce un circuito autoregolato.

Lo stesso principio vale per l'uomo

Anche l'uomo utilizza un sistema di controllo basato sulla continua relazione tra informazione e risposta.

La differenza riguarda l'architettura biomeccanica sulla quale il controllo agisce.

Nell'uomo il sistema deve mantenere la verticalità bipede.

Nel cane deve coordinare quattro arti e un tronco prevalentemente orizzontale.

I principi di controllo sono comuni ma le soluzioni motorie sono differenti.

L'equilibrio può essere allenato

L'equilibrio migliora quando il sistema viene esposto a compiti che richiedono adattamento.

Superfici differenti, cambi di direzione e variazioni controllate della base di appoggio possono aumentare la richiesta sensoriale e coordinativa.

Il compito deve però mantenere una difficoltà compatibile con la qualità del movimento.

Un esercizio troppo semplice produce uno stimolo limitato.

Un esercizio troppo difficile può indurre rigidità e compensazioni.

L'allenamento dell'equilibrio deve rispettare una progressione.

L'obiettivo non è creare instabilità a ogni costo

Una superficie instabile non rappresenta automaticamente un esercizio migliore.

Il valore dell'esercizio dipende dall'obiettivo.

Una perturbazione moderata può migliorare l'integrazione sensoriale.

Una perturbazione eccessiva può invece cambiare completamente il gesto e ridurre la specificità del lavoro.

L'equilibrio deve essere allenato come capacità di controllo e non come semplice capacità di sopravvivere all'instabilità.

L'equilibrio del cane deve rispettare la sua biomeccanica

Un esercizio destinato al cane deve considerare la distribuzione del carico tra quattro arti, la differenza tra cingolo pelvico e cintura scapolare, il ruolo del rachide e la posizione della testa.

Un compito che altera eccessivamente uno di questi elementi può produrre strategie compensatorie.

L'allenamento propriocettivo deve quindi rispettare l'organizzazione globale della locomozione canina.



Il controllo dello sguardo anticipa il prossimo capitolo

La testa è un elemento particolarmente importante del sistema dell'equilibrio.

La sua posizione modifica la distribuzione delle masse.

La sua stabilizzazione influenza la qualità dell'informazione visiva e vestibolare.

Il collo collega inoltre la testa alle oscillazioni del rachide.

Questa relazione verrà sviluppata più avanti nel capitolo dedicato a collo, testa e controllo dello sguardo.

Prima di arrivare a quel punto occorre però chiarire un concetto ancora più generale: **la postura non rappresenta l'opposto del movimento ma una sua particolare espressione.**

Questo sarà il tema del prossimo capitolo.

Take home message

L'equilibrio è un processo dinamico che nasce dall'integrazione tra sistema nervoso, apparato vestibolare, visione, propriocizione, esterocettori e sistema miofasciale.

Il corpo non mantiene l'equilibrio eliminando il movimento.

Esso mantiene l'equilibrio attraverso continue correzioni del movimento.

Nell'uomo questo sistema controlla una struttura bipede prevalentemente verticale mentre nel cane controlla quattro arti, due cingoli biomeccanicamente differenti e un rachide prevalentemente orizzontale.

L'equilibrio non è assenza di oscillazione: è capacità di governare l'oscillazione.

Fermati un attimo

Prova a immaginare un corpo perfettamente immobile.

Nessun movimento della caviglia.

Nessuna variazione del tono muscolare.

Nessun movimento respiratorio.

Nessuna oscillazione del rachide.

Nessuna modifica delle pressioni sugli appoggi.

Quel corpo non sarebbe in equilibrio.

Sarebbe semplicemente rigido.

Un organismo vivo mantiene invece la propria posizione attraverso migliaia di piccole correzioni.

La stabilità biologica nasce dal movimento controllato e non dalla sua eliminazione.

Messaggi chiave

- L'equilibrio deriva dall'integrazione di più sistemi e non da un singolo organo.
- Il controllo dell'equilibrio coinvolge sistema nervoso, apparato vestibolare, sistema oculare, esterocettori, propriocettori e sistema miofasciale.



- L'equilibrio rappresenta una stabilità dinamica.
- La gravità costituisce il riferimento fisico costante del sistema posturale.
- La base di appoggio influenza la richiesta di controllo.
- L'uomo deve controllare una struttura bipede e prevalentemente verticale.
- Il cane utilizza quattro appoggi ma deve coordinare una struttura locomotoria più articolata.
- Il sistema vestibolare informa sulle accelerazioni e sull'orientamento della testa.
- La visione permette un importante controllo anticipatorio.
- La proprioccezione informa sulla configurazione interna del corpo.
- L'esterocezione informa sul rapporto con la superficie.
- Il sistema miofasciale partecipa sia alla trasmissione delle forze sia alla raccolta delle informazioni.
- L'equilibrio nasce da un circuito continuo tra informazione e risposta motoria.
- Il sistema nervoso deve modificare il peso attribuito alle diverse informazioni in relazione al contesto.
- Nel cane la posizione della testa può modificare significativamente la distribuzione del carico.
- La locomozione utilizza un'instabilità controllata.
- Passo, trotto e galoppo richiedono strategie di equilibrio differenti.
- L'aumento della velocità aumenta l'importanza del controllo anticipatorio.
- Feedback e feedforward collaborano continuamente.
- Una rigidità eccessiva può compensare temporaneamente una sensazione di instabilità ma riduce l'adattabilità.
- Un equilibrio efficiente richiede libertà di movimento controllata.
- La respirazione modifica continuamente la configurazione posturale.
- Postura, equilibrio e locomozione appartengono allo stesso sistema.
- L'allenamento dell'equilibrio deve migliorare l'integrazione sensoriale senza generare compensazioni inutili.



Capitolo 19 — La postura come movimento

La postura non è una fotografia del corpo

La postura viene spesso descritta come una posizione.

Questa definizione è utile soltanto se ricordiamo che ogni posizione corporea rappresenta un istante di un processo dinamico.

Un organismo vivo non mantiene mai una configurazione perfettamente immobile.

La respirazione modifica costantemente il torace.

Il tono muscolare varia.

Le pressioni sugli appoggi cambiano.

Il centro di massa oscilla.

Il sistema nervoso produce continue correzioni.

La postura rappresenta quindi **un movimento di piccola ampiezza organizzato attorno a una configurazione funzionale**.

Questa prospettiva permette di collegare direttamente postura e locomozione.

La statica rappresenta un caso particolare della dinamica

La distinzione tra statica e dinamica possiede un valore didattico ma non descrive una separazione assoluta presente nell'organismo.

La cosiddetta statica contiene infatti movimento.

La differenza riguarda soprattutto l'ampiezza e la velocità delle oscillazioni.

Quando una persona rimane in piedi, il corpo continua a modificare la propria posizione.

Quando un cane rimane fermo sui quattro arti, il peso continua a essere redistribuito e la respirazione modifica in modo continuo la configurazione del tronco.

La statica può quindi essere considerata una **dinamica a bassa ampiezza**.

Il corpo non ricerca una posizione immutabile

Un sistema biologico deve poter modificare la propria postura.

Una postura mantenuta troppo a lungo può diventare problematica mentre la possibilità di cambiare configurazione rappresenta una condizione favorevole alla sicurezza meccanica.

Questo messaggio deve essere interpretato nel contesto delle proprietà viscoelastiche dei tessuti.

Un carico mantenuto nel tempo produce effetti differenti rispetto a un carico che varia continuamente.

La postura fisiologica non coincide con la capacità di conservare indefinitamente una posizione considerata ideale.

Essa coincide soprattutto con la capacità di **modificare la posizione senza perdere il controllo**.



La postura nasce dall'equilibrio delle forze

Il corpo è sottoposto alla gravità.

Il terreno produce forze di reazione.

I muscoli generano tensione.

La rete connettivale distribuisce parte delle sollecitazioni.

Le articolazioni orientano i segmenti corporei.

Il sistema nervoso coordina queste componenti.

La postura emerge dall'equilibrio temporaneo tra tutte queste forze.

Quando una componente cambia, il resto del sistema deve adattarsi.

La postura rappresenta un equilibrio continuamente rinegoziato.

Il sistema connettivo partecipa al mantenimento posturale

Il sistema connettivo contribuisce anche al mantenimento della postura.

Questa indicazione è coerente con il modello sviluppato nei capitoli precedenti.

La fascia e gli altri tessuti connettivi possiedono una tensione di base.

La loro disposizione contribuisce a mantenere la relazione tra i segmenti corporei.

Il sistema muscolare modifica costantemente queste tensioni.

La postura nasce dall'interazione tra struttura connettivale e controllo neuromuscolare.

Il tono muscolare non deve essere massimo

La postura richiede attività muscolare ma non richiede la contrazione massima dei muscoli.

Un sistema efficiente utilizza la quantità di tono necessaria per mantenere il controllo.

Un aumento eccessivo della co-contrazione può rendere il corpo più rigido.

La rigidità può aumentare temporaneamente la sensazione di stabilità ma aumenta anche il costo energetico e riduce l'adattabilità.

La postura efficiente utilizza un tono modulato.

Postura e tensegrità

Il concetto di tensegrità permette di interpretare la postura come una configurazione ottenuta attraverso una distribuzione di tensioni e compressioni.

Le ossa forniscono elementi relativamente rigidi.

La rete muscolo-fasciale modifica le tensioni.

La gravità produce un carico continuo.

Il terreno restituisce forze.

La forma corporea emerge dall'equilibrio tra queste componenti.



Una modifica locale può quindi richiedere una riorganizzazione globale.

La postura non appartiene a una singola articolazione.

Essa appartiene all'intero sistema.

La postura possiede una storia

La configurazione osservata in un determinato momento deriva anche da ciò che il corpo ha fatto precedentemente.

I tessuti possiedono proprietà viscoelastiche.

Il collagene si adatta alle sollecitazioni mantenute nel tempo.

Le nuove fibre collagene tendono a organizzarsi secondo lo stress meccanico applicato; un deficit prolungato di movimento può favorire un accorciamento adattativo.

La postura attuale è anche il risultato della storia meccanica dell'organismo.

Il tempo trasforma una posizione in un adattamento

Una posizione mantenuta per pochi secondi e la stessa posizione mantenuta per molte ore non producono necessariamente lo stesso effetto.

La variabile temporale cambia la risposta tissutale.

Il sistema nervoso può abituarsi a determinate strategie.

La fascia può modificare la propria tensione.

Il collagene può progressivamente riorganizzarsi.

Una postura ripetuta può diventare più facile da assumere.

Questa facilitazione non significa necessariamente che quella postura sia sempre vantaggiosa.

Significa che il corpo si è adattato alle richieste ricevute.

Non esiste una postura ideale valida per ogni momento

Una posizione può risultare appropriata per un determinato compito e poco efficace per un altro.

Un corpo che deve riposare utilizza una configurazione differente rispetto a un corpo che deve accelerare.

Un cane che osserva un oggetto modifica la posizione di testa e collo.

Un cane che si prepara a partire modifica la distribuzione del carico sugli arti.

Una persona che sta per camminare modifica la posizione del centro di massa prima ancora del primo passo.

La postura deve essere interpretata in relazione al compito.

La postura prepara il movimento

Ogni movimento nasce da una configurazione iniziale.

Quella configurazione determina la direzione nella quale il corpo può generare forza con maggiore efficacia.



Prima di saltare, il corpo modifica la posizione.

Prima di accelerare, il cane redistribuisce il peso.

Prima di cambiare direzione, il centro di massa viene spostato.

La postura è anche una preparazione meccanica all'azione.

La separazione tra postura e movimento diventa ancora meno netta.

Gli aggiustamenti posturali anticipatori

Il sistema nervoso può modificare la postura prima che inizi il movimento principale.

Questa strategia permette di limitare le perturbazioni che il gesto produrrà.

Quando una persona solleva rapidamente un arto, il resto del corpo deve prepararsi alla variazione del centro di massa.

Quando un cane si prepara a partire, modifica preventivamente la distribuzione del carico.

L'organismo non aspetta quindi sempre che l'equilibrio venga perturbato.

Esso può anticipare la perturbazione.

La postura possiede anche una componente predittiva.

Il centro di massa non rimane fermo

Durante la stazione il centro di massa oscilla in modo continuo.

Queste oscillazioni non rappresentano necessariamente errori.

Esse permettono al sistema di mantenere una continua attività sensoriale e motoria.

Una piccola variazione del centro di massa modifica infatti le pressioni sugli appoggi.

Queste variazioni producono nuove informazioni.

Il sistema nervoso utilizza quindi queste informazioni per generare una nuova correzione.

La postura rappresenta un circuito di feedback continuo.

Nell'uomo la postura si organizza sopra due piedi

La bipedia impone una base di appoggio relativamente ridotta.

Il piede ha un ruolo centrale.

Le pressioni plantari cambiano continuamente.

La caviglia modifica la propria posizione.

Il ginocchio e l'anca partecipano alle correzioni.

Il bacino modifica la propria configurazione.

Il rachide distribuisce le oscillazioni.

La testa viene stabilizzata.



La postura umana costituisce una forma a bassa ampiezza dello stesso circuito oscillatorio descritto per la locomozione.

Il piede umano non smette di funzionare quando siamo fermi

Anche in stazione eretta il piede continua ad adattarsi.

La distribuzione del carico tra retropiede e avampiede cambia.

Le pressioni mediali e laterali cambiano.

La tensione delle strutture connettivali cambia.

Il sistema nervoso riceve continuamente informazioni dalla superficie plantare.

Il piede rappresenta un'interfaccia posturale oltre che locomotoria.

Le oscillazioni salgono lungo l'uomo

Una modifica delle pressioni plantari può modificare la posizione della caviglia.

La caviglia modifica la posizione della gamba.

L'arto modifica la relazione con il bacino.

Il bacino modifica la configurazione del rachide.

La postura bipede utilizza una continuità ascendente.

Il fenomeno possiede naturalmente anche una direzione opposta.

Una modifica della posizione della testa oppure del tronco può cambiare la distribuzione delle pressioni sui piedi.

Il sistema funziona in entrambe le direzioni.

Nel cane la postura si distribuisce su quattro arti

Il cane utilizza una base di appoggio differente.

Il peso viene distribuito tra arti anteriori e posteriori e tra lato destro e sinistro.

La posizione del tronco modifica costantemente questa distribuzione.

La testa può aumentare oppure ridurre il carico anteriore.

Il bacino può modificare il carico posteriore.

La postura canina è una configurazione quadrupede dinamica.

Quattro appoggi non significano quattro colonne indipendenti

Gli arti del cane non sostengono il corpo come quattro pilastri separati.

Gli arti posteriori entrano in relazione con il bacino.

Gli arti anteriori entrano in relazione con una cintura scapolare sospesa.

Il rachide collega i due sistemi.

La rete miofasciale distribuisce tensioni.



Una variazione di carico su un arto modifica il comportamento degli altri.

La postura canina appartiene all'intero circuito.

La differenza tra anteriore e posteriore rimane presente anche nella postura

La specializzazione funzionale dei due cingoli non scompare quando il cane si ferma.

Posteriormente il bacino mantiene una continuità ossea con il rachide.

Anteriormente il tronco rimane sospeso attraverso la cintura muscolo-fasciale.

La gestione del peso avviene quindi attraverso due strategie strutturalmente differenti.

La postura quadrupede conserva la stessa architettura che verrà successivamente utilizzata nella locomozione.

La cintura scapolare sostiene il tronco anche nella statica

La sospensione muscolo-fasciale della scapola non serve soltanto durante il movimento.

Essa contribuisce anche al sostegno del torace tra gli arti anteriori.

Il sistema deve mantenere una tensione sufficiente.

Una tensione eccessiva aumenterebbe la rigidità.

Una tensione insufficiente ridurrebbe il controllo.

La postura canina richiede quindi una continua modulazione della sospensione scapolare.

Il bacino gestisce il collegamento posteriore

Il bacino riceve il peso proveniente dal tronco e lo distribuisce verso gli arti posteriori.

Contemporaneamente esso mantiene la relazione con il rachide.

Una variazione della posizione pelvica modifica la tensione del sistema lombosacrale.

La postura posteriore non riguarda soltanto gli angoli degli arti.

Essa riguarda l'intero rapporto tra bacino, rachide e terreno.

La testa modifica la postura canina

La massa della testa possiede un peso biomeccanicamente rilevante.

Un abbassamento della testa sposta il centro di massa.

Gli arti anteriori modificano il carico.

La cintura scapolare modifica la propria tensione.

Il rachide cervicale cambia configurazione.

La postura canina può cambiare significativamente anche senza che le zampe vengano spostate.

Il collo collega intenzione, percezione e postura

Il cane orienta frequentemente la testa verso stimoli visivi, acustici e olfattivi.



Il collo consente questi orientamenti.

Ogni movimento cervicale modifica però anche la distribuzione delle tensioni corporee.

La percezione dell'ambiente può quindi generare direttamente una modifica posturale.

Il sistema sensoriale e quello biomeccanico sono inseparabili.

La postura esprime anche intenzione motoria

Un cane che sta per partire assume una configurazione differente rispetto a un cane rilassato.

Un cane che prepara un salto modifica l'assetto.

Un cane che segue una traccia olfattiva abbassa e orienta la testa.

La postura contiene informazioni sul movimento che probabilmente seguirà.

Essa non descrive soltanto ciò che il corpo sta facendo.

Essa può descrivere anche ciò che il corpo si prepara a fare.

La respirazione impedisce l'immobilità

Ogni ciclo respiratorio modifica il torace.

Il diaframma cambia posizione.

Le pressioni interne cambiano.

Il rachide e la parete addominale devono adattarsi.

Il diaframma svolge la funzione respiratoria principale e può influenzare la postura.

Un organismo che respira non può essere biomeccanicamente immobile.

La respirazione costituisce una delle oscillazioni fondamentali della postura.

Movimento respiratorio e movimento locomotorio possono interagire

Durante l'attività locomotoria la respirazione aumenta.

La dinamica toracica diventa più evidente.

Nel cane questo fenomeno coinvolge una regione sulla quale scorrono anche le scapole.

Il torace deve quindi integrare contemporaneamente respirazione, sospensione scapolare e trasmissione delle forze.

Nell'uomo il torace deve invece integrarsi con le controrotazioni del tronco.

La postura è il risultato di più oscillazioni sovrapposte.

Il corpo utilizza una variabilità posturale fisiologica

La postura non rimane identica durante tutta la giornata.

Il soggetto cambia posizione, modifica il carico e alterna attività e riposo.

Questa variabilità ridistribuisce le sollecitazioni.



I tessuti ricevono stimoli differenti.

La variazione costituisce una caratteristica fisiologica del sistema.

Il principio può essere sintetizzato così: la postura deve poter cambiare.

La postura mantenuta riduce la variabilità

Quando una posizione viene conservata a lungo, le stesse strutture ricevono ripetutamente un carico simile.

La distribuzione delle tensioni cambia poco.

Alcuni tessuti rimangono sottoposti a deformazione prolungata.

Altri ricevono uno stimolo ridotto.

Il sistema può adattarsi gradualmente a quella configurazione.

Il problema non riguarda necessariamente la posizione in sé.

Il problema riguarda spesso la durata e la mancanza di variazione.

“Postura corretta” non dovrebbe significare postura immobile

L’espressione postura corretta viene spesso utilizzata come se esistesse una configurazione geometrica ideale da mantenere.

Una lettura funzionale suggerisce un concetto più utile.

Una buona postura deve consentire al corpo di respirare, percepire, muoversi e modificare rapidamente la propria configurazione.

La qualità posturale dipende anche dalla capacità di uscire facilmente da una posizione.

Una postura efficace è una postura disponibile al movimento.

L’asimmetria non rappresenta automaticamente una disfunzione

Il corpo non deve essere perfettamente simmetrico in ogni istante.

Una persona può spostare temporaneamente il peso su un arto.

Un cane può orientare la testa e trasferire maggiormente il carico su alcuni appoggi.

Queste asimmetrie possono essere fisiologiche.

Il problema deve essere valutato osservando durata, reversibilità e capacità di utilizzare anche strategie differenti.

Un’asimmetria temporanea può rappresentare adattamento.

Un’asimmetria rigida e persistente può invece indicare una perdita di variabilità.

La reversibilità rappresenta un criterio importante

Una postura funzionale deve poter essere modificata.



Il corpo deve riuscire a spostare il peso in entrambe le direzioni, ruotare, adattare gli appoggi e cambiare strategia.

La qualità della postura può quindi essere letta anche attraverso la sua reversibilità.

Un sistema che possiede molte soluzioni è generalmente più adattabile di un sistema che ne utilizza una sola.

Postura e dolore non coincidono

Una determinata postura non produce necessariamente dolore in ogni soggetto.

La relazione dipende dalla durata del carico, dalla capacità dei tessuti, dalla variabilità, dalla storia dell'organismo e dal controllo nervoso.

È possibile un rapporto tra postura fissa e comparsa di dolore.

Questo rapporto deve essere interpretato soprattutto come effetto della permanenza prolungata e della ridotta possibilità di variazione.

La postura costituisce un fattore del sistema e non una spiegazione unica del dolore.

Il movimento rappresenta una forma di protezione

Cambiare posizione redistribuisce le pressioni e varia tensione fasciale, lunghezza muscolare, stimolazione sensoriale e carico articolare.

Il movimento permette ai tessuti di non essere sottoposti indefinitamente alla stessa configurazione.

La variabilità è una forma importante di protezione biomeccanica.

Postura e 4D

La postura appartiene pienamente al modello 4D.

Lo spazio descrive la configurazione del corpo.

Il tempo descrive quanto quella configurazione viene mantenuta e come essa cambia.

Due posture geometricamente identiche possono possedere conseguenze differenti se una viene mantenuta per pochi secondi e l'altra per molte ore.

Il tempo è una componente essenziale anche della statica.

Dalla postura all'andatura

Quando il corpo inizia a muoversi, la postura non viene abbandonata.

Essa viene trasformata.

Il centro di massa cambia traiettoria.

La base di appoggio cambia.

Le oscillazioni aumentano.

La sequenza temporale diventa più evidente.

La locomozione è una successione di configurazioni posturali dinamiche collegate tra loro.



Questo principio prepara direttamente il tema del prossimo capitolo: **le andature del cane.**

Take home message

La postura non rappresenta una posizione immobile ma un equilibrio dinamico in modo continuo modificato da gravità, respirazione, attività neuromuscolare, tensioni fasciali e informazioni sensoriali.

La statica è un caso particolare della dinamica.

Una postura funzionale non deve essere giudicata soltanto dalla sua geometria perché devono essere considerate anche durata, variabilità, reversibilità e capacità di preparare il movimento.

La postura migliore non è quella che il corpo riesce a mantenere più a lungo: è quella dalla quale il corpo riesce a muoversi e ad adattarsi efficacemente.

Fermati un attimo

Immagina una statua perfettamente allineata.

La sua postura può essere geometricamente impeccabile.

La statua però non respira.

Non oscilla.

Non riceve informazioni.

Non corregge la propria posizione.

Non può cambiare strategia.

Ora osserva una persona oppure un cane apparentemente fermi.

Il corpo oscilla.

La respirazione modifica il tronco.

Le pressioni cambiano.

Il tono muscolare varia.

La postura biologica non è una forma da conservare: è un movimento da regolare.

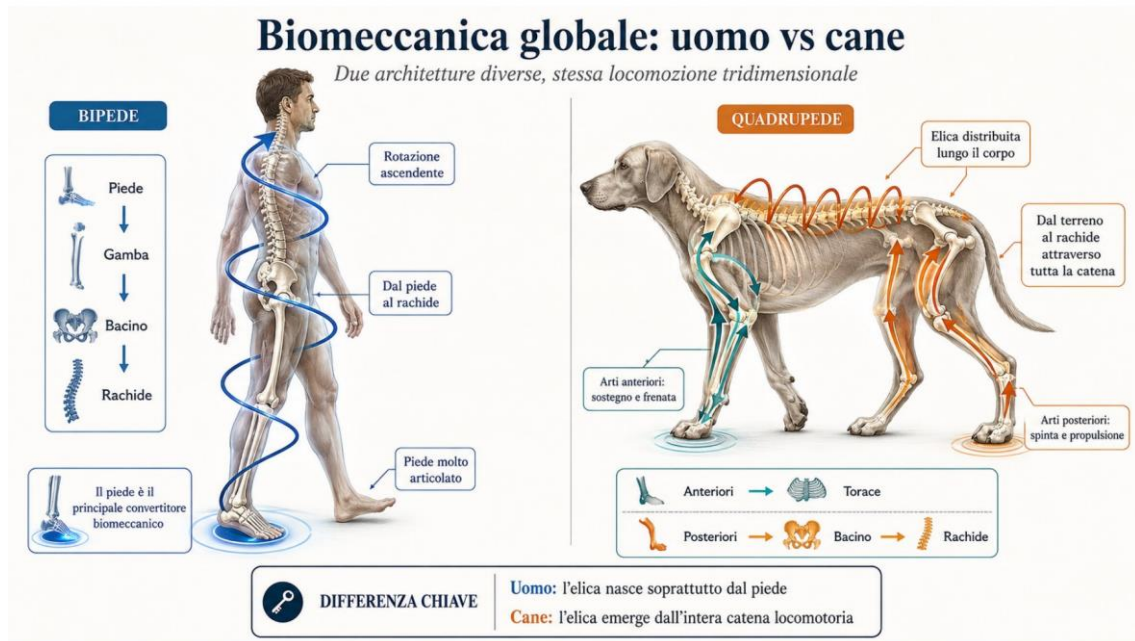
Messaggi chiave

- La postura è un processo dinamico.
- La statica costituisce una dinamica a bassa ampiezza.
- Il centro di massa oscilla anche durante la stazione apparentemente ferma.
- La postura nasce dall'interazione tra gravità, terreno, sistema muscolare, fascia, articolazioni e sistema nervoso.
- Il mantenimento posturale rientra tra le funzioni alle quali contribuisce il sistema connettivo.
- I tessuti si adattano anche alla durata delle sollecitazioni.
- Una postura mantenuta a lungo produce effetti differenti rispetto a una postura continuamente variata.



- il principio secondo cui la postura deve cambiare.
- Non esiste una singola postura ideale valida per ogni compito e ogni momento.
- La postura prepara il movimento successivo.
- Gli aggiustamenti posturali possono precedere il gesto volontario.
- Nell'uomo la postura si organizza soprattutto attraverso piede, arti inferiori, bacino e rachide.
- Nel cane la postura distribuisce il carico tra quattro arti e due cingoli biomeccanicamente differenti.
- La cintura scapolare canina partecipa al sostegno del tronco anche nella statica.
- Il bacino mantiene il collegamento posteriore tra arti e rachide.
- La posizione della testa può modificare significativamente la distribuzione del peso nel cane.
- La respirazione è una componente continua del movimento posturale.
- La variabilità posturale costituisce una caratteristica fisiologica.
- Il problema di una posizione dipende spesso più dalla persistenza che dalla posizione stessa.
- Una postura funzionale deve essere reversibile.
- L'asimmetria temporanea non rappresenta automaticamente una disfunzione.
- La rigidità persistente riduce le possibilità di adattamento.
- Postura e dolore non possiedono una relazione semplice e univoca.
- Cambiare posizione redistribuisce continuamente le sollecitazioni.
- La postura appartiene pienamente alla biomeccanica 4D perché il tempo modifica il significato del carico.
- La locomozione rappresenta una successione organizzata di posture dinamiche.

Capitolo 20 — Le andature del cane



www.giovanichetta.it

Figura — Confronto sintetico tra biomeccanica del cane e biomeccanica dell'uomo.

Un solo sistema locomotorio, differenti organizzazioni temporali

Il cane non utilizza una sola modalità per spostarsi. Quando cambiano velocità e compito, cambia anche l'organizzazione temporale degli appoggi. Il passo, il trotto e il galoppo non sono lo stesso movimento eseguito nel tempo più velocemente.

Ogni andatura modifica la sequenza degli arti, la distribuzione del carico, il comportamento del rachide, il ruolo relativo di propulsione e assorbimento e la relazione tra corpo e terreno. Il circuito oscillatorio 4D rimane però il principio comune. Nel cane questo circuito si sviluppa attraverso la continuità tra fascia e rachide toracolombare, bacino, arti posteriori, terreno, rachide, cintura scapolare e arti anteriori.

L'andatura modifica soprattutto **il modo e il momento nel quale le diverse parti del circuito intervengono**.

L'andatura è una soluzione biomeccanica

Ogni andatura risponde a un determinato problema locomotorio. Il cane deve sostenere il proprio peso, avanzare, controllare il centro di massa, produrre e assorbire energia, adattarsi al terreno e limitare il costo energetico.

L'organizzazione temporale degli arti modifica il rapporto tra queste esigenze; il passo privilegia soprattutto controllo e continuità degli appoggi.

Il trotto organizza il corpo secondo una maggiore regolarità dinamica. Il galoppo privilegia velocità, accelerazione e maggiore partecipazione delle oscillazioni spinali.

I tempi dell'andatura

Il termine “tempo” indica in questo contesto la successione riconoscibile degli appoggi all'interno di un ciclo. Il passo viene generalmente descritto come un'andatura a quattro tempi perché i quattro arti prendono contatto con il terreno secondo quattro eventi distinti. Il trotto viene generalmente descritto come un'andatura a due tempi perché gli arti vengono coordinati secondo coppie diagonali.

Il galoppo viene generalmente descritto come un'andatura a tre tempi, alla quale possono associarsi una o più fasi di sospensione in relazione al tipo di galoppo e alla velocità. Questa classificazione descrive però soltanto la struttura temporale degli appoggi. La biomeccanica completa richiede di osservare ciò che avviene contemporaneamente a rachide, bacino, cintura scapolare e centro di massa.

Il passo: quattro tempi e continuità

Nel passo i quattro arti entrano in appoggio in momenti differenti. La presenza di più contatti con il terreno durante gran parte del ciclo permette al cane di mantenere una base di sostegno relativamente ampia. Il centro di massa procede quindi con oscillazioni generalmente più controllate rispetto alle andature più rapide.

Il passo rappresenta una modalità particolarmente adatta all'esplorazione dell'ambiente. La velocità relativamente ridotta lascia più tempo al sistema nervoso per integrare informazioni visive, vestibolari, propriocettive ed esterolettive.

Il passo permette una grande capacità di adattamento

Il cane utilizza frequentemente il passo quando deve esplorare una superficie complessa. Ogni zampa può modificare il proprio appoggio in relazione al terreno. Gli altri arti mantengono contemporaneamente una base sufficientemente stabile.

Il sistema può correggere costantemente la traiettoria. Il passo è una condizione nella quale controllo posturale e locomozione rimangono particolarmente vicini. La differenza tra postura e movimento appare infatti soprattutto quantitativa.

Il centro di massa viene spostato progressivamente da una base di sostegno alla successiva.

Il rachide durante il passo

Il rachide partecipa anche al passo. Le sue oscillazioni sono però organizzate all'interno di una locomozione relativamente lenta. Il bacino modifica la propria posizione mentre gli arti posteriori avanzano e spingono.

La regione toracica e la cintura scapolare si adattano agli appoggi anteriori. Il complesso fascia-rachide toracolombare mantiene la continuità tra le due estremità del corpo. Lo Spine Engine non compare soltanto nelle andature veloci.

Esso rappresenta un principio del sistema locomotorio nel suo complesso. Il movimento spinale costituisce una componente fondamentale della locomozione.

Il passo mostra chiaramente la natura 4D del movimento

Osservando una fotografia del cane al passo possiamo identificare la posizione degli arti. La fotografia non permette però di comprendere quale arto abbia appena ricevuto il carico e quale stia per lasciarlo. Il significato biomeccanico della configurazione dipende dalla sequenza temporale.



Il passo mostra quindi chiaramente perché la cinematica non possa essere ridotta alla sola geometria. Lo stesso assetto spaziale può avere funzioni differenti in fasi differenti.

Il trotto: organizzazione diagonale

Nel trotto il cane coordina gli arti secondo coppie diagonali. Un arto anteriore e l'arto posteriore controlaterale partecipano quindi alla stessa unità temporale principale. La coppia diagonale opposta interviene nella fase successiva.

Questa organizzazione modifica radicalmente la base di appoggio rispetto al passo. La stabilità dipende maggiormente dalla precisione della sincronizzazione. Il trotto costituisce una forma particolarmente evidente di coordinazione 4D.

Il trotto collega anteriore e posteriore attraverso le diagonali

La relazione diagonale obbliga il sistema a integrare regioni opposte del corpo. La spinta prodotta posteriormente non viene gestita da un arto anteriore dello stesso lato come se esistesse una semplice linea longitudinale. Il circuito coinvolge invece una coordinazione incrociata.

Il rachide e la rete miofasciale partecipano a questa integrazione. La tensegrità corporea assume una configurazione temporaneamente differente a ogni diagonale. Il trotto rende particolarmente evidente la funzione del tronco come elemento di collegamento tra gli arti.

Il trotto richiede un controllo accurato del momento angolare

Il movimento simultaneo di arti diagonali genera una distribuzione particolare delle masse. Il tronco deve controllare le conseguenze rotazionali. Il bacino modifica la propria posizione.

La regione toracica risponde. Il collo e la testa vengono stabilizzati. La locomozione apparentemente regolare del trotto nasce da una complessa gestione delle rotazioni.

La simmetria visibile deriva da una precisa organizzazione dinamica.

Il trotto e la valutazione della simmetria

Proprio per la sua organizzazione relativamente regolare, il trotto consente di osservare bene eventuali differenze tra le due diagonali. Una differenza nella lunghezza del gesto, nel tempo di appoggio o nella capacità di sostenere il carico può modificare il ritmo complessivo. Il sistema può compensare attraverso rachide, bacino, testa oppure arti controlaterali.

La valutazione non dovrebbe quindi limitarsi alla zampa che appare diversa. Occorre osservare come l'intero circuito risponde a quella differenza.

Il trotto non significa rachide immobile

Una lettura molto semplificata potrebbe attribuire al trotto una funzione di stabilizzazione quasi rigida del rachide. Il tronco deve certamente controllare le oscillazioni ma controllo non significa assenza di movimento. Il rachide continua infatti a partecipare alla trasmissione delle forze e alla coordinazione tra le due diagonali.

La sua funzione cambia rispetto al galoppo ma non scompare. Il sistema rimane oscillatorio.



Il galoppo: tre tempi e maggiore dinamica

Nel galoppo la sequenza degli appoggi cambia profondamente. La successione viene generalmente organizzata in tre tempi principali e può includere fasi nelle quali nessuna zampa tocca il terreno. Il centro di massa presenta quindi variazioni più ampie.

Le accelerazioni aumentano. Le forze di reazione aumentano. Il sistema possiede meno tempo per effettuare correzioni dopo il contatto.

Il controllo anticipatorio assume un'importanza crescente.

Il galoppo introduce una marcata asimmetria funzionale

A differenza del trotto, il galoppo possiede una lateralità evidente. Un arto assume il ruolo di guida in relazione alla direzione e alla sequenza utilizzata. Il cane può cambiare questa organizzazione quando cambia direzione oppure quando modifica il compito.

La simmetria non rappresenta un requisito dell'andatura. Il galoppo utilizza invece un'asimmetria organizzata e funzionale.

L'asimmetria può essere fisiologica

Questo concetto è importante anche nella valutazione biomeccanica. Una posizione asimmetrica non rappresenta automaticamente una disfunzione. Il significato dipende dal contesto.

Nel galoppo l'asimmetria appartiene all'organizzazione normale dell'andatura. Il problema emerge quando il cane perde la capacità di utilizzare strategie alternative oppure quando una lateralità persiste anche in condizioni nelle quali dovrebbe poter cambiare. La funzione deve quindi essere valutata attraverso variabilità e reversibilità.

Il rachide assume un ruolo particolarmente evidente nel galoppo

L'aumento della velocità richiede una maggiore partecipazione dell'intero corpo. Il rachide può aumentare le proprie oscillazioni di flessione ed estensione. Il bacino e il torace modificano la propria distanza relativa durante il ciclo.

Gli arti vengono proiettati alternativamente sotto e davanti al corpo. Lo Spine Engine diventa particolarmente evidente. Il tronco non rappresenta una piattaforma che gli arti trasportano.

Esso partecipa direttamente alla costruzione della falcata.

La flessione del rachide raccoglie il corpo

Durante una fase del galoppo il rachide può aumentare la flessione. Questa configurazione permette agli arti posteriori di avanzare maggiormente sotto il tronco. Il sistema accumula così una configurazione utile alla successiva produzione di forza.

Il bacino modifica contemporaneamente la propria posizione. La fascia toracolombare cambia tensione. La fase di raccolta prepara la fase successiva.

L'estensione del rachide contribuisce alla proiezione

Nella fase successiva il rachide può aumentare l'estensione. La distanza funzionale tra cingolo pelvico e cintura scapolare aumenta. Gli arti posteriori trasferiscono la spinta.



Il corpo viene proiettato in avanti. Gli arti anteriori vengono preparati alla successiva ricezione del carico. Flessione ed estensione spinali fanno quindi parte di una sequenza coordinata.

La loro efficacia dipende soprattutto dal timing.

Il galoppo mostra chiaramente il circuito posteriore-anteriore

La parte posteriore genera una forte componente propulsiva. Il bacino trasferisce le forze verso il rachide. Il rachide modifica la propria configurazione.

La parte anteriore riceve il corpo che avanza. Gli arti anteriori devono sostenere, frenare e assorbire. La cintura scapolare modula le sollecitazioni.

La distinzione funzionale tra arti posteriori e anteriori diventa quindi particolarmente evidente alle alte velocità.

La sospensione rappresenta una fase del movimento

Durante alcune fasi del galoppo nessuna zampa mantiene il contatto con il terreno. Il cane continua però a seguire la propria traiettoria. L'inerzia trasporta il centro di massa.

Gli arti continuano la propria oscillazione. Il rachide continua a cambiare forma. La rete fasciale continua a cambiare tensione.

Il sistema nervoso prepara il contatto successivo. Il circuito locomotorio continua quindi anche quando il terreno non esercita temporaneamente una forza di reazione.

Il circuito non coincide con l'appoggio

La fase di sospensione chiarisce un concetto fondamentale. Il terreno rappresenta una componente essenziale della locomozione terrestre ma il circuito non coincide esclusivamente con il momento di contatto. Il sistema conserva energia cinetica.

I tessuti conservano tensioni. Gli arti possiedono velocità. Il sistema nervoso mantiene un programma motorio.

La fase aerea appartiene pienamente al circuito 4D.

Dall'appoggio alla sospensione e nuovamente all'appoggio

Nel galoppo il movimento può essere letto come un'alternanza tra scambio di forze con il terreno e riorganizzazione del corpo nello spazio. Durante l'appoggio il terreno modifica il corpo. Durante la sospensione il corpo prepara il nuovo incontro con il terreno.

Le due fasi sono inseparabili. La qualità del contatto successivo dipende dalla configurazione costruita durante la fase precedente.

La velocità aumenta il ruolo del feedforward

Durante il passo il sistema possiede relativamente più tempo per utilizzare le informazioni provenienti da ogni appoggio. Nel galoppo il tempo disponibile diminuisce. Il cane deve preparare anticipatamente molte caratteristiche del contatto.

La posizione della zampa deve essere prevista. La rigidità dell'arto deve essere preparata. La configurazione del rachide deve essere organizzata.



Il feedforward assume un peso crescente all'aumentare della velocità.

La propiocezione rimane indispensabile

Il controllo anticipatorio non sostituisce la propiocezione. Ogni contatto produce nuove informazioni. La zampa comunica le caratteristiche della superficie.

Le articolazioni comunicano posizione e tensione. La fascia rileva deformazioni. Il sistema vestibolare rileva accelerazioni.

La vista descrive la traiettoria. È proprio l'integrazione di questi differenti sistemi sensoriali a sostenere l'equilibrio e il movimento canino. Il sistema aggiorna continuamente la previsione sulla base di ciò che realmente accade.

Cambiare andatura significa riorganizzare il sistema

Il passaggio dal passo al trotto non consiste semplicemente nell'aumentare la frequenza degli appoggi. Il sistema deve cambiare la relazione temporale tra gli arti. Il passaggio dal trotto al galoppo richiede una riorganizzazione ancora maggiore.

Cambiano la sequenza, la base di appoggio, le oscillazioni spinali, la gestione del centro di massa e il rapporto tra stabilità e velocità. La transizione è una vera riorganizzazione coordinativa.

Il cane sceglie l'andatura in funzione del compito

La velocità rappresenta un fattore importante ma non rappresenta l'unica variabile. Il terreno modifica la scelta. La pendenza modifica la scelta.

La necessità di esplorare modifica la scelta. La necessità di accelerare modifica la scelta. Anche conformazione corporea e abitudine motoria possono influenzare la strategia.

L'andatura è una soluzione funzionale e non soltanto una velocità.

Il terreno irregolare modifica ogni andatura

Il corpo canino è fortemente adattato alla locomozione quadrupede nel campo gravitazionale e su un terreno incongruente. Questa caratteristica è particolarmente rilevante quando analizziamo le andature. Un terreno irregolare modifica continuamente il punto e l'orientamento degli appoggi.

Il cane deve quindi adattare la sequenza senza perdere il ritmo generale. La zampa modifica il contatto. L'arto modifica la rigidità.

Il bacino e la scapola modificano il proprio comportamento. Il rachide integra la perturbazione.

L'andatura reale non è un metronomo perfetto

Gli schemi didattici descrivono sequenze regolari. Il cane reale introduce però piccole variazioni in relazione al terreno e al compito. Il tempo di appoggio può cambiare.

L'ampiezza del gesto può cambiare. La posizione della testa può cambiare. La distribuzione del peso può cambiare.

Questa variabilità non rappresenta necessariamente un errore. Essa costituisce spesso una componente dell'adattamento.



La regolarità deve convivere con la variabilità

Un'andatura efficace possiede una struttura temporale riconoscibile ma non deve diventare una sequenza meccanicamente identica. Il sistema deve conservare il ritmo e contemporaneamente adattarsi. Troppa variabilità può indicare una perdita di controllo.

Troppa rigidità può indicare una perdita di adattabilità. La locomozione efficiente occupa quindi uno spazio intermedio. Il cane mantiene un pattern ma può modificarlo rapidamente.

Gli arti posteriori cambiano funzione relativa con l'andatura

La funzione propulsiva degli arti posteriori è presente nelle diverse andature ma la sua intensità cambia. Nel passo la spinta viene distribuita più gradualmente. Nel trotto la propulsione viene inserita nella coordinazione diagonale.

Nel galoppo la richiesta di potenza aumenta notevolmente. Il sistema posteriore deve produrre forze differenti all'interno di organizzazioni temporali differenti.

Gli arti anteriori cambiano funzione relativa con l'andatura

Anche la funzione anteriore cambia. Nel passo gli arti sostengono e modulano il carico all'interno di una base di appoggio relativamente stabile. Nel trotto devono coordinarsi con gli arti posteriori controlaterali.

Nel galoppo devono ricevere un corpo che possiede una maggiore energia cinetica. La richiesta di assorbimento e controllo aumenta quindi con la velocità. La cintura scapolare deve adattare in modo continuo la propria rigidità funzionale.

Il rachide cambia ampiezza ma non principio

Il comportamento del rachide cambia tra le diverse andature. L'ampiezza di alcuni movimenti aumenta. La frequenza cambia.

La relazione con gli arti cambia. Il principio generale rimane però lo stesso. Il rachide partecipa alla locomozione e integra i due sistemi appendicolari.

Lo Spine Engine deve essere considerato un principio adattabile a differenti regimi locomotori e non uno schema rigido identico in ogni andatura.

La fascia toracolombare segue le variazioni del rachide

Quando aumenta l'oscillazione spinale, cambia anche la deformazione della rete fasciale. La fascia toracolombare viene caricata e scaricata secondo sequenze differenti. Il bacino modifica le tensioni.

La muscolatura modifica l'attivazione. La risposta della fascia dipende anche dall'andatura. Il sistema fasciale partecipa alla continuità del movimento in tutti i regimi locomotori.

Anche la respirazione cambia con l'andatura

L'aumento della velocità aumenta la richiesta metabolica. La ventilazione cambia. Il diaframma modifica frequenza e ampiezza del proprio lavoro.

Il torace deve gestire contemporaneamente respirazione e forze provenienti dagli arti anteriori. Il rapporto tra movimento locomotorio e movimento respiratorio diventa particolarmente importante nelle andature veloci. Questa integrazione conferma che il corpo non può essere suddiviso in sistemi indipendenti.



La testa deve rimanere funzionalmente controllata

Il corpo può aumentare notevolmente le proprie oscillazioni ma la testa deve mantenere un controllo sufficiente. Vista, vestibolo e orientamento dell'ambiente dipendono infatti dalla regione cefalica. Il rachide cervicale deve quindi compensare parte dei movimenti del tronco.

La necessità aumenta quando accelerazioni e cambi di direzione diventano più importanti. Il collo è una vera cerniera di compensazione tra locomozione e percezione.

La coda può partecipare alle andature rapide

La coda modifica la distribuzione delle masse e può contribuire alla gestione dei cambi di direzione. Il suo contributo dipende dalla morfologia individuale e dal compito. La coda non è il principale generatore dell'equilibrio ma può partecipare alle correzioni dinamiche.

Il suo ruolo diventa più evidente quando le accelerazioni laterali aumentano. Il galoppo e i cambi rapidi di direzione ne mostrano bene il possibile contributo.

Andatura e conformazione corporea

Cani con proporzioni corporee differenti possono mostrare modalità differenti di esecuzione dello stesso schema generale. La lunghezza degli arti modifica la geometria della falcata. La lunghezza del rachide modifica le possibilità di oscillazione.

La massa corporea modifica l'inerzia. La conformazione toracica modifica la relazione con la cintura scapolare. Il pattern dell'andatura costituisce una struttura generale che ogni soggetto realizza attraverso la propria anatomia.

La valutazione deve osservare l'intero ciclo

Una singola fotografia può mostrare un angolo articolare. Essa non mostra però il ritmo. Non mostra la fase.

Non mostra il tempo di appoggio. Non mostra la transizione tra carico e scarico. La valutazione biomeccanica dell'andatura deve osservare il ciclo completo.

La dimensione temporale è indispensabile.

Il movimento della testa può nascondere una compensazione

Quando un arto modifica la propria capacità di carico, il cane può utilizzare testa e collo per modificare la distribuzione del peso. Una variazione ritmica della testa può essere parte di una strategia compensatoria. La regione apparentemente più evidente non coincide necessariamente con la regione che ha originato il problema.

Il circuito 4D obbliga quindi a osservare il corpo nel suo insieme.

Il rachide può compensare differenze degli arti

Una riduzione di mobilità oppure di forza in un arto può modificare le oscillazioni spinali. Il cane può ruotare maggiormente il bacino, modificare la flessione del tronco o cambiare lo scorrimento scapolare.

La locomozione può apparire ancora possibile ma il costo meccanico viene redistribuito. L'andatura è uno strumento privilegiato per osservare le compensazioni dell'intero sistema.

La transizione tra andature è informativa

Anche il modo nel quale il cane passa da un'andatura all'altra fornisce informazioni. Una transizione fluida richiede che il sistema riorganizzi rapidamente sequenza, tensione e controllo. Una transizione poco coordinata può evidenziare una difficoltà che non appare chiaramente quando l'andatura è già stabilizzata.

L'osservazione non dovrebbe quindi limitarsi al passo, al trotto oppure al galoppo isolati. La transizione rappresenta anch'essa una parte importante della biomeccanica.

Passo, trotto e galoppo appartengono allo stesso circuito 4D

Possiamo quindi sintetizzare le tre principali andature attraverso il diverso rapporto tra stabilità, sincronizzazione e potenza. Passo: quattro tempi, elevata continuità degli appoggi, controllo e adattamento. Trotto: due tempi, organizzazione diagonale, maggiore richiesta di sincronizzazione.

Galoppo: tre tempi, maggiore asimmetria funzionale, fasi di sospensione e marcata partecipazione delle oscillazioni spinali. Le differenze riguardano l'organizzazione temporale ma il circuito generale rimane continuo. Fascia, rachide, bacino, arti, cintura scapolare, terreno e sistema nervoso partecipano a tutte le andature.

Dalle andature alle cerniere

Le andature mostrano che il movimento non viene distribuito uniformemente lungo il corpo. Alcune regioni possiedono una particolare importanza nel trasferire oppure modificare le rotazioni. Il complesso lombosacrale rappresenta un nodo.

Il bacino è un nodo. La cintura scapolare è un nodo. Il passaggio cervico-toracico rappresenta un altro nodo.

Queste regioni possono essere considerate cerniere e snodi funzionali del circuito. Il prossimo capitolo analizzerà proprio il modo in cui cerniere, snodi e rotazioni organizzano la locomozione.

Take home message

Passo, trotto e galoppo non rappresentano semplicemente tre velocità dello stesso gesto. Ogni andatura utilizza una diversa organizzazione temporale degli appoggi e modifica il comportamento dell'intero circuito locomotorio. Il passo privilegia continuità e controllo, il trotto organizza il corpo attraverso una coordinazione diagonale mentre il galoppo aumenta la richiesta di potenza e rende particolarmente evidente il contributo del rachide.

Il cane non cambia soltanto la velocità: quando cambia andatura, cambia l'organizzazione 4D dell'intero corpo.

Fermati un attimo

Immagina quattro musicisti. Nel passo ciascun musicista entra in successione. Nel trotto i musicisti entrano a coppie.

Nel galoppo la sequenza cambia ancora e compaiono momenti nei quali nessuno produce un contatto con il terreno. Gli strumenti sono sempre gli stessi. Ciò che cambia è la partitura.

Il rachide, il bacino, la scapola e gli arti devono adattarsi a una nuova organizzazione temporale. L'andatura è la partitura con cui il cane organizza nello spazio e nel tempo il proprio circuito locomotorio.

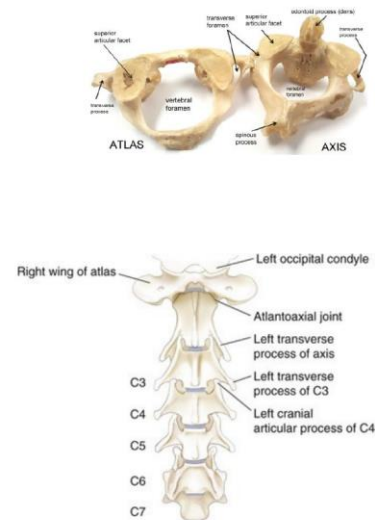
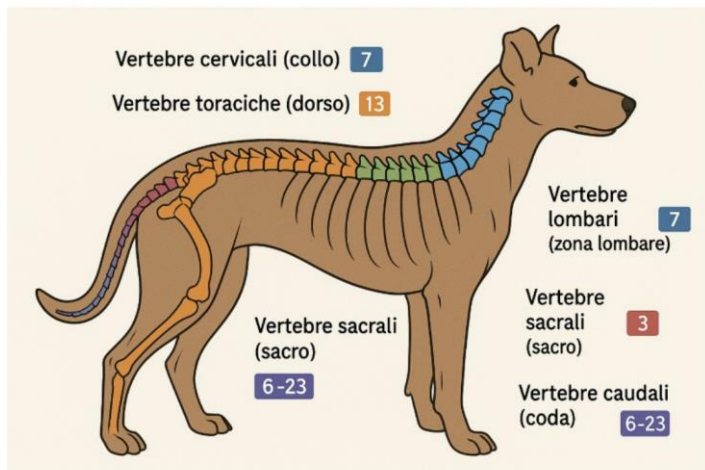


Messaggi chiave

- Le andature rappresentano differenti organizzazioni temporali dello stesso sistema locomotorio. Il circuito oscillatorio 4D rimane il principio comune. Il passo viene generalmente organizzato in quattro tempi.
- Il trotto viene generalmente organizzato in due tempi attraverso coppie diagonali. Il galoppo viene generalmente organizzato in tre tempi e può comprendere fasi di sospensione. Il passo privilegia continuità degli appoggi, controllo e adattamento.
- Il trotto richiede una precisa sincronizzazione diagonale. Il galoppo aumenta la richiesta di potenza e la partecipazione delle oscillazioni spinali. Lo Spine Engine partecipa a tutte le andature ma modifica ampiezza e organizzazione.
- Nel galoppo flessione ed estensione del rachide partecipano in modo particolarmente evidente alla costruzione della falcata. Gli arti posteriori mantengono una funzione prevalentemente propulsiva ma il loro contributo cambia con l'andatura. Gli arti anteriori mantengono una funzione prevalentemente di sostegno e assorbimento ma la richiesta aumenta alle velocità maggiori.
- La cintura scapolare modula il carico in tutte le andature. La fase di sospensione dimostra che il circuito locomotorio continua anche in assenza temporanea di contatto con il terreno. L'aumento della velocità aumenta l'importanza del controllo anticipatorio.
- Propriocezione, visione e vestibolo continuano comunque ad aggiornare il movimento. Il terreno irregolare modifica continuamente la realizzazione dell'andatura. Una certa variabilità del ciclo rappresenta una caratteristica adattativa.
- La simmetria perfetta non rappresenta sempre il criterio di normalità perché alcune andature utilizzano fisiologicamente organizzazioni asimmetriche. La capacità di cambiare strategia è un elemento fondamentale della funzione. Conformazione corporea e compito modificano l'espressione individuale dell'andatura.
- La valutazione biomeccanica deve osservare l'intero ciclo e non una singola fotografia. Le transizioni tra andature forniscono informazioni importanti sulla capacità coordinativa. Passo, trotto e galoppo rappresentano tre differenti "partiture" dello stesso circuito biomeccanico.

Capitolo 21 — Cerniere, snodi e rotazioni

Vertebre Rachide («colonna»)



www.giovannichetta.it

Figura — Il rachide canino e la sua organizzazione vertebrale.

Cerniere/Snodi

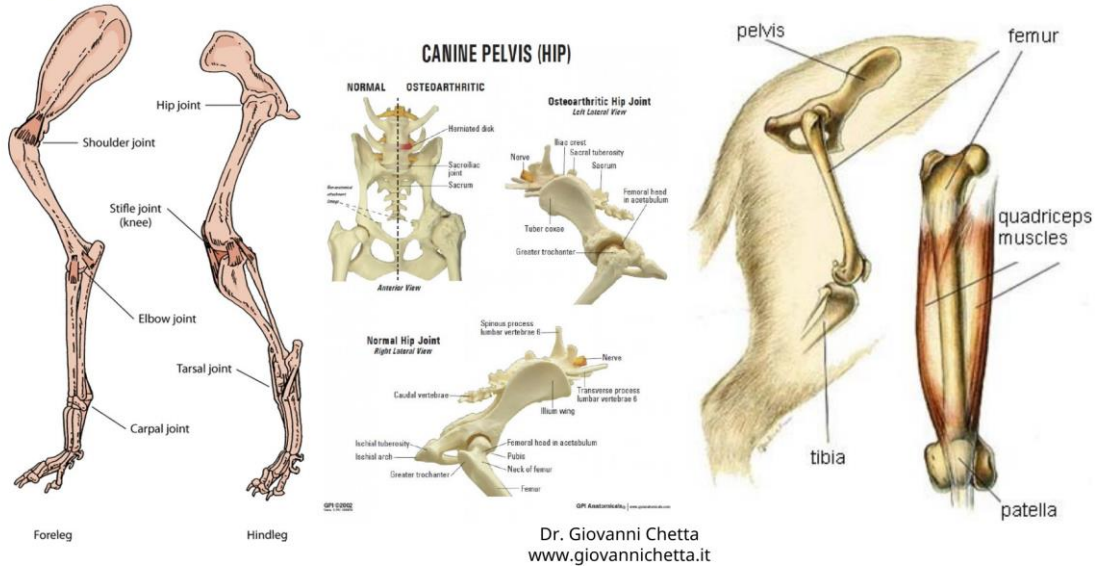
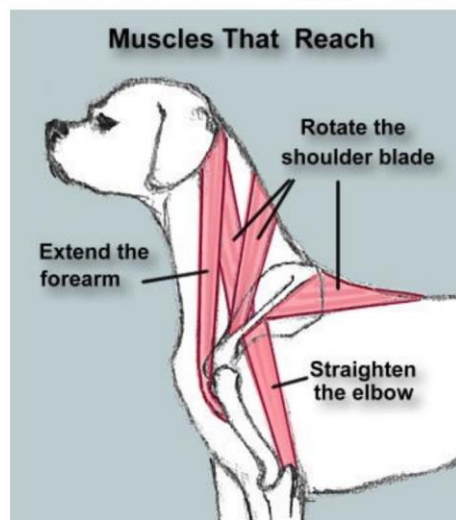
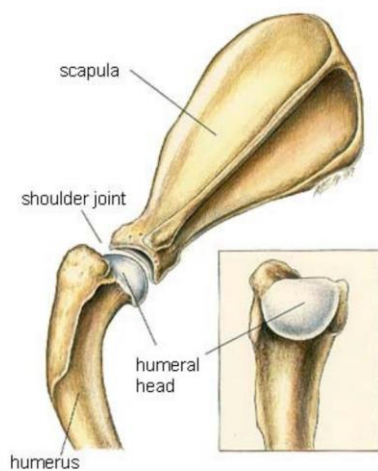


Figura — Snodi principali del sistema locomotorio canino.

Cerniere Snodi



Dr. Giovanni Chetta
www.giovannichetta.it

Figura — La cintura scapolare e i muscoli che raggiungono la scapola.

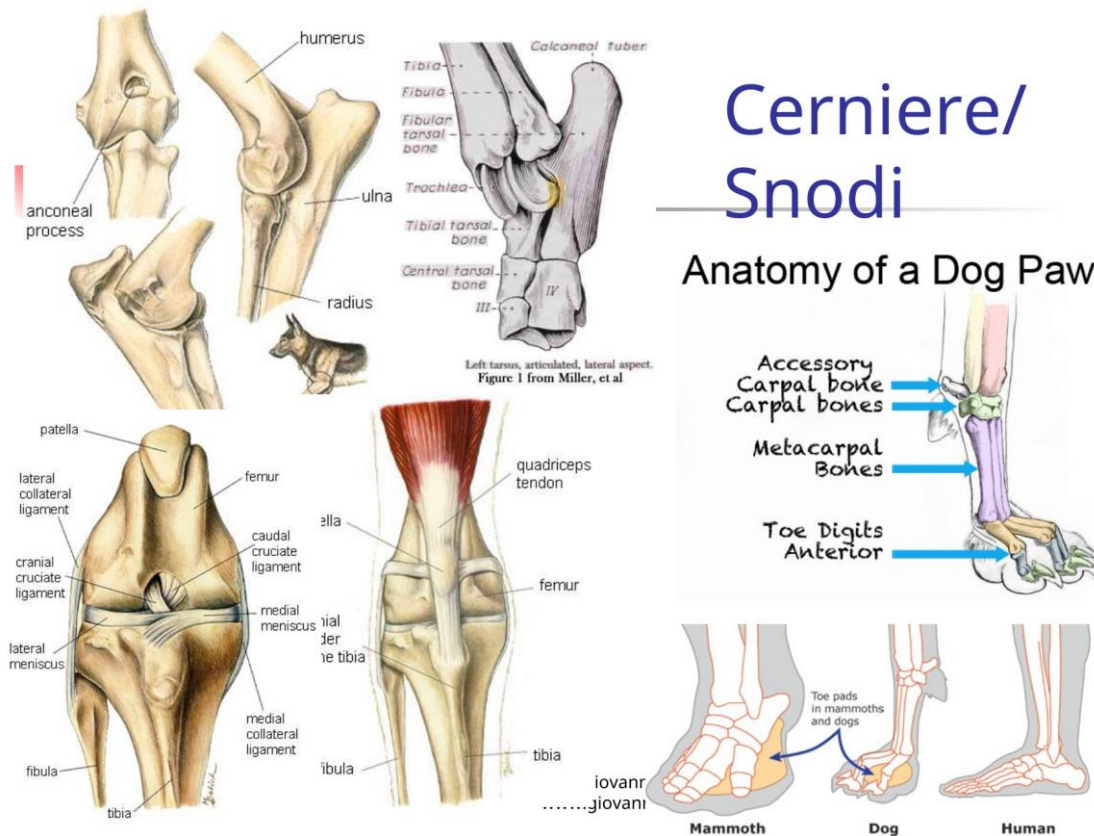


Figura — Cerniere articolari e zampa del cane.

Il movimento non viene distribuito uniformemente

Il corpo non possiede la stessa capacità di movimento in ogni punto. Alcune regioni permettono ampie rotazioni. Altre regioni privilegiano soprattutto flessione ed estensione.

Altre ancora trasferiscono il movimento tra segmenti differenti. Queste strutture possono essere riunite sotto il concetto di cerniere e snodi; tra le principali rientrano anca, ginocchio, spalla, gomito, tarso, carpo e articolazioni distali. Il significato biomeccanico è fondamentale.

Il circuito locomotorio non distribuisce le rotazioni in modo casuale. Esso utilizza regioni differenti per produrre, trasferire, limitare oppure modulare il movimento.

Cerniera e snodo non sono sinonimi perfetti

Il termine cerniera richiama una struttura nella quale prevale il movimento attorno a un asse principale. Il termine snodo descrive invece in modo più generale una regione nella quale segmenti differenti possono modificare reciprocamente il proprio orientamento. Nel corpo biologico questa distinzione non è assoluta.

Anche un'articolazione nella quale prevale la flessione-estensione può partecipare indirettamente alla gestione di rotazioni provenienti dalle strutture vicine. Il concetto utile consiste quindi nel riconoscere che ogni articolazione possiede una propria specializzazione cinematica.

Le articolazioni non devono fare tutte la stessa cosa

Una locomozione efficiente richiede una distribuzione differenziata dei gradi di libertà. Se tutte le articolazioni fossero estremamente mobili in tutte le direzioni, il sistema perderebbe precisione e



richiederebbe un enorme controllo muscolare. Se tutte le articolazioni fossero rigide, il corpo perderebbe invece adattabilità.

L'organismo utilizza una strategia intermedia. Alcune articolazioni consentono importanti rotazioni. Altre limitano la rotazione e trasferiscono il movimento verso regioni più adatte a gestirlo.

La funzione globale nasce dalla cooperazione tra queste differenze.

La rotazione deve essere distribuita

I capitoli precedenti hanno mostrato che il cane non elimina la torsione ma la distribuisce lungo arto, bacino e rachide. Questo principio richiede che alcune articolazioni possano ruotare mentre altre funzionino maggiormente come cerniere. La rappresentazione dedicata alle rotazioni riporta infatti capacità molto differenti tra le diverse articolazioni.

La biomeccanica canina possiede una vera geografia delle rotazioni.

La spalla rappresenta uno snodo importante

Per la spalla canina si possono considerare valori indicativi di circa 40–50° di rotazione interna ed esterna. La spalla possiede una significativa capacità di modificare l'orientamento dell'omero. Questa funzione è coerente con il ruolo della regione anteriore.

L'arto deve adattarsi al terreno e contemporaneamente trasmettere il carico verso la scapola. La rotazione della spalla permette una parte di questo adattamento.

La spalla non coincide con la sola articolazione scapolo-omerale

Nel cane la biomeccanica della spalla deve essere letta insieme al movimento della scapola sul torace. La scapola non possiede infatti un'articolazione ossea diretta con il torace. Essa può scorrere e modificare il proprio orientamento attraverso la sospensione muscolo-fasciale.

La rappresentazione dedicata alle cerniere mostra proprio la scapola e l'articolazione della spalla come componenti integrate della regione anteriore. La mobilità funzionale dell'arto anteriore nasce quindi dalla somma di più movimenti.

La scapola modula le rotazioni

Una rotazione proveniente dall'arto non deve essere trasferita rigidamente al torace. La scapola può modificarne una parte attraverso lo scorrimento. I muscoli che la collegano al tronco possono aumentare oppure ridurre la propria tensione.

La cintura scapolare funziona come un sistema capace di modulare le rotazioni prima che esse raggiungano il rachide. Questa funzione è una delle principali differenze rispetto al bacino.

Il gomito presenta un comportamento particolare

La rappresentazione dedicata alle rotazioni riporta per il complesso gomito-avambraccio valori importanti di supinazione e pronazione e associa al tratto distale ulteriori componenti di inversione ed eversione. Il dato mostra che la rotazione dell'arto anteriore non viene necessariamente concentrata in una sola articolazione. Il movimento può essere distribuito tra diversi segmenti.

La funzione del gomito deve essere letta insieme alla relazione tra radio, ulna e strutture distali.



Prono-supinazione e orientamento della zampa

La pronazione e la supinazione modificano l'orientamento dell'estremità rispetto al terreno. Questa capacità assume particolare valore su superfici irregolari. La zampa deve trovare un appoggio efficace anche quando la superficie non coincide perfettamente con il piano sagittale dell'arto.

Una quota di rotazione può essere assorbita e distribuita attraverso l'avambraccio. La zampa può così adattarsi senza richiedere che tutto il movimento venga prodotto dalla spalla.

Il carpo privilegia soprattutto altri movimenti

Nel quadro riassuntivo delle rotazioni, la rotazione assiale propria del polso-carpo viene considerata prossima a 0°. Questo valore deve essere letto come indicazione della scarsissima importanza della rotazione assiale propria del carpo rispetto ad altre articolazioni. Il carpo può naturalmente flettersi, estendersi e partecipare ad altri piccoli adattamenti ma non è il principale snodo rotazionale dell'arto.

Il sistema trasferisce quindi una parte della torsione verso strutture situate sopra oppure sotto questa regione.

Una cerniera può essere utile proprio perché limita la rotazione

La limitazione di un grado di libertà non rappresenta necessariamente un difetto. Una cerniera relativamente stabile permette infatti di trasmettere più efficacemente una forza. Il sistema nervoso deve controllare un numero inferiore di variabili.

La locomozione può quindi diventare più precisa. La funzione di alcune articolazioni consiste proprio nel consentire un movimento prevalente e limitare quelli meno utili.

L'anca rappresenta il grande snodo posteriore

Per l'anca si può considerare una notevole capacità di rotazione interna ed esterna, con valori orientativi di circa 50–60° internamente e 80–90° esternamente. L'anca è uno dei principali snodi rotazionali dell'arto posteriore. Questa caratteristica è coerente con la sua anatomia.

La testa del femore si articola con l'acetabolo e permette movimenti tridimensionali. L'arto posteriore può modificare significativamente il proprio orientamento rispetto al bacino.

L'anca orienta la propulsione

La forza propulsiva non deve possedere soltanto una certa intensità. Essa deve possedere anche una direzione utile. La rotazione dell'anca modifica l'orientamento del femore e quindi dell'intero arto.

Il sistema può così adattare la direzione della spinta. La funzione rotazionale dell'anca appartiene direttamente alla biomeccanica della propulsione.

L'anca collega rotazione appendicolare e rotazione pelvica

L'arto posteriore termina superiormente nel bacino. Una rotazione del femore modifica la relazione coxo-femorale. Il bacino può contemporaneamente ruotare rispetto al rachide.

L'anca è una regione di passaggio tra torsione dell'arto e torsione del sistema assiale. Il suo ruolo supera quindi la semplice flessione-estensione utilizzata per produrre la spinta.

Il ginocchio privilegia la funzione di cerniera

Nel quadro riassuntivo la rotazione assiale propria del ginocchio viene considerata prossima a 0°. Il dato sottolinea la prevalenza della funzione di cerniera dell'articolazione. Il ginocchio canino deve trasmettere efficacemente le forze tra femore e gamba.

Una grande libertà rotazionale potrebbe ridurre l'efficienza e aumentare la richiesta di stabilizzazione. La limitazione rotazionale diventa parte della specializzazione funzionale.

Il ginocchio non deve assorbire tutta la torsione dell'arto

Se l'anca e le strutture distali permettono una certa rotazione mentre il ginocchio la limita, la torsione deve essere organizzata intorno a questa cerniera. Il ginocchio diventa quindi un punto nel quale la rotazione deve essere controllata e trasferita. Una richiesta rotazionale eccessiva può rappresentare una condizione meccanicamente sfavorevole.

Il sistema deve distribuire la torsione nelle regioni più adatte.

Garretto, tarso e metatarso partecipano alla torsione distale

Per il complesso caviglia-metatarso si possono considerare valori indicativi di circa 40–50° di inversione ed eversione. Questa mobilità permette alla parte distale dell'arto posteriore di adattarsi alle caratteristiche del terreno. La zampa può modificare il proprio orientamento senza richiedere che tutta la correzione avvenga nell'anca.

La torsione viene distribuita tra estremità e articolazioni superiori.

Una catena alterna snodi e cerniere

L'arto posteriore può essere letto attraverso una sequenza funzionale. L'anca permette una significativa rotazione. Il ginocchio privilegia la funzione di cerniera.

Il complesso distale recupera una quota di adattabilità tridimensionale. Questa alternanza permette di combinare direzionalità della forza e adattamento al terreno. La catena non avrebbe lo stesso comportamento se ogni segmento possedesse identica libertà.

Lo stesso principio vale anteriormente

Anche l'arto anteriore alterna regioni con differenti capacità. La spalla offre una quota significativa di rotazione. L'avambraccio partecipa alla pronosupinazione.

Il carpo privilegia maggiormente altre componenti del movimento. Metacarpo, dita e zampa completano l'adattamento. La cintura scapolare aggiunge infine uno snodo funzionale che non coincide con una vera articolazione ossea con il torace.

Il sistema anteriore distribuisce quindi le rotazioni su più livelli.

Le cerniere trasformano la complessità in controllo

Un sistema completamente libero in ogni punto sarebbe difficile da controllare. Le articolazioni relativamente vincolate riducono invece alcuni gradi di libertà. La forza può essere trasferita più facilmente.

Le rotazioni vengono indirizzate verso snodi specifici. Il corpo utilizza le cerniere per semplificare localmente il problema motorio. Questa semplificazione locale permette una maggiore complessità globale.



Gli snodi permettono l'adattamento

Gli snodi con maggiore mobilità permettono invece di modificare l'orientamento dei segmenti. L'anca orienta la parte posteriore. La spalla e la scapola orientano la parte anteriore.

Le articolazioni distali adattano l'appoggio. Il rachide distribuisce le rotazioni tra le differenti regioni. La locomozione nasce dall'alternanza tra strutture che stabilizzano e strutture che trasformano.

Il bacino rappresenta uno snodo centrale

Il bacino riceve le forze provenienti dagli arti posteriori. Esso modifica il proprio orientamento rispetto al rachide. Le rotazioni pelviche entrano direttamente nello Spine Engine.

Posteriormente la trasmissione possiede una forte continuità ossea. La rotazione generata oppure ricevuta dall'arto può quindi raggiungere in modo relativamente diretto il sistema assiale.

La cintura scapolare rappresenta uno snodo differente

Anteriormente il cane utilizza invece una soluzione muscolo-fasciale. La scapola può traslare e ruotare sul torace. Le forze provenienti dall'arto possono essere assorbite e modificate prima di raggiungere il rachide.

Il cingolo anteriore è uno snodo meno rigidamente vincolato allo scheletro assiale. Questa differenza permette al cane di combinare propulsione posteriore e assorbimento anteriore.

Il rachide è una successione di piccoli snodi

Il rachide non possiede una singola articolazione capace di produrre tutta la rotazione. Il movimento viene distribuito tra numerosi segmenti vertebrali. Ogni segmento contribuisce con una quota relativamente piccola.

La somma di queste modificazioni produce però un movimento globale significativo. Il rachide costituisce un esempio particolarmente evidente di movimento distribuito.

Una grande rotazione globale può nascere da piccoli movimenti locali

Questo principio è importante. Il corpo non deve produrre necessariamente ampi movimenti in ogni singola articolazione. Numerose piccole rotazioni coordinate possono sommarsi.

La colonna può modificare significativamente la propria configurazione pur mantenendo movimenti relativamente contenuti a livello di ogni segmento. La stessa logica si applica alla rete fasciale. Piccole variazioni locali possono produrre una differente configurazione globale.

La regione lombosacrale rappresenta uno snodo strategico

La regione lombosacrale collega rachide e bacino. Nel cane questa zona riceve una parte importante delle conseguenze della propulsione posteriore e partecipa alla trasmissione delle forze provenienti dagli arti posteriori.

Una modifica della funzione lombosacrale può cambiare il rapporto tra arto posteriore e tronco. La regione è uno dei principali punti di integrazione del circuito.



Il passaggio toracolombare distribuisce le oscillazioni

Il complesso toracolombare integra il movimento proveniente dal bacino con la dinamica del tronco. Le rotazioni non si interrompono infatti alla regione lombare. Esse vengono modificate e ridistribuite verso il torace.

La fascia toracolombare partecipa contemporaneamente alla gestione delle tensioni. Il passaggio toracolombare rappresenta un ulteriore snodo funzionale.

Il torace introduce un vincolo differente

La presenza delle coste modifica il comportamento del rachide toracico. La colonna toracica deve muoversi insieme alla gabbia toracica. La respirazione modifica continuamente questa configurazione.

La cintura scapolare scorre contemporaneamente sulla parete toracica. La regione toracica deve integrare movimento spinale, movimento respiratorio e forze provenienti dagli arti anteriori. Il torace rappresenta un nodo particolarmente complesso del circuito.

Il passaggio cervico-toracico prepara la stabilizzazione della testa

Le oscillazioni del tronco raggiungono infine il collo. Il rachide cervicale deve consentire grande mobilità ma deve contemporaneamente stabilizzare la testa. La regione cervico-toracica è un passaggio tra un tronco oscillante e una testa che deve mantenere un orientamento sensorialmente utile.

Il sistema deve filtrare parte delle oscillazioni e permetterne altre. Questo snodo verrà sviluppato nel prossimo capitolo.

Le rotazioni sono sempre tridimensionali

La descrizione di una rotazione interna oppure esterna rappresenta una semplificazione analitica. Nel movimento reale le articolazioni modificano contemporaneamente più parametri. La flessione può essere associata a una rotazione.

L'inclinazione può essere associata a uno spostamento. Il carico modifica ulteriormente il comportamento. Le cerniere biologiche non funzionano quindi come cerniere metalliche perfette.

Esse appartengono a strutture tridimensionali deformabili.

Il carico modifica il movimento disponibile

La stessa articolazione può comportarsi diversamente quando è caricata oppure scaricata. La tensione muscolare cambia. La congruenza articolare cambia.

La fascia modifica la propria tensione. La superficie del terreno modifica la risultante. Il range anatomico disponibile non coincide automaticamente con il movimento realmente utilizzato durante la locomozione.

La biomeccanica deve distinguere tra **mobilità disponibile** e **mobilità funzionalmente utilizzata**.

I valori angolari non descrivono da soli la funzione

I valori indicativi di rotazione aiutano a comprendere le differenze tra articolazioni. Questi numeri non devono però essere interpretati isolatamente. Un'articolazione può possedere una determinata escursione passiva e utilizzarne soltanto una parte durante un'andatura.



La velocità modifica la richiesta. Il terreno modifica la richiesta. Il controllo neuromuscolare modifica la richiesta.

Il dato angolare è una possibilità meccanica e non una descrizione completa del gesto.

La funzione conta più del massimo range

Un cane non deve utilizzare tutta la rotazione disponibile a ogni passo. Il sistema deve utilizzare soltanto la quantità necessaria. Una rotazione eccessiva aumenta la richiesta di controllo.

Una rotazione insufficiente può trasferire la torsione ad altre regioni. L'efficienza richiede una distribuzione adeguata. Il corpo deve scegliere dove, quanto e quando ruotare.

Quando una cerniera perde stabilità

Una regione progettata per limitare alcuni movimenti può diventare inefficiente se acquista una mobilità non controllata. Il sistema nervoso può rispondere aumentando la co-contrazione. Questa risposta può stabilizzare temporaneamente la regione.

Il costo energetico aumenta però. Le articolazioni vicine possono modificare il proprio comportamento. Un'instabilità locale può modificare l'intero circuito.

Quando uno snodo perde mobilità

Il problema opposto compare quando una regione destinata a fornire mobilità diventa eccessivamente rigida. La torsione deve allora essere prodotta altrove. Una limitazione dell'anca può aumentare la richiesta su bacino oppure rachide.

Una limitazione della spalla o dello scorrimento scapolare può modificare il comportamento di gomito e distretti distali. La compensazione conserva il movimento ma modifica la distribuzione delle forze.

La compensazione segue le vie disponibili

Il corpo non sceglie necessariamente la compensazione ideale. Esso utilizza le soluzioni che rimangono disponibili. Se uno snodo perde mobilità, un altro segmento può aumentarne l'escursione.

Se una cerniera perde stabilità, i muscoli possono irrigidire l'intera regione. La locomozione osservata costituisce il risultato della funzione originale e delle eventuali compensazioni. Una valutazione biomeccanica deve distinguere le due componenti.

Le rotazioni cambiano con l'andatura

Il passo, il trotto e il galoppo utilizzano le stesse articolazioni ma non richiedono gli stessi movimenti. Nel passo prevale una gestione relativamente controllata e adattativa. Nel trotto la coordinazione diagonale modifica la distribuzione delle torsioni.

Nel galoppo l'aumento delle oscillazioni spinali cambia ulteriormente il comportamento degli snodi. Il valore funzionale di un'articolazione dipende quindi anche dall'andatura.

Anche la direzione cambia la funzione degli snodi

Una locomozione rettilinea e un cambio di direzione rappresentano problemi differenti. Durante una curva gli arti devono modificare il proprio orientamento. Il bacino ruota.



Il rachide si adatta. La testa anticipa spesso la nuova traiettoria. Le articolazioni dotate di capacità rotazionale diventano particolarmente importanti.

La curva rende evidente ciò che nella locomozione rettilinea può apparire meno visibile.

L'elica nasce proprio dalla cooperazione tra snodi diversi

Il principio elicoidale sviluppato nel capitolo precedente dipende dalla presenza di articolazioni che permettono rotazioni differenti. Una parte della torsione viene generata distalmente. Una parte viene gestita dagli arti.

Una parte raggiunge il bacino. Il rachide distribuisce ulteriormente il movimento. La cintura scapolare lo modula anteriormente.

L'elica non appartiene a una singola articolazione. Essa emerge dalla cooperazione coordinata tra cerniere e snodi.

Il sistema può essere letto come una successione funzionale

Nel cane possiamo individuare alcuni grandi nodi: zampa e complessi distali, che adattano il contatto; anca e spalla, che permettono importanti variazioni di orientamento; ginocchio e alcune articolazioni intermedie, che privilegiano la funzione di cerniera; bacino, che trasferisce la propulsione verso il rachide; cintura scapolare, che modula le forze anteriori; rachide toracolombare, che distribuisce le oscillazioni; rachide cervicale, che collega il tronco alla testa. Questa sequenza non rappresenta una catena rigida. Essa rappresenta una rete di regioni con specializzazioni differenti.

Il confronto con l'uomo

Anche nell'uomo la locomozione utilizza articolazioni con gradi di libertà differenti. La differenza più evidente riguarda però il piede. L'uomo concentra nel piede una parte importante dell'adattamento tridimensionale.

Nel cane una quota maggiore delle rotazioni viene distribuita lungo arto, bacino e rachide. Le diverse cerniere e i diversi snodi riflettono l'architettura globale delle due specie.

La biomeccanica non cerca la massima mobilità

Un sistema efficiente non possiede necessariamente il massimo range articolare. Esso possiede il range necessario e riesce a controllarlo. Una cerniera deve essere sufficientemente stabile.

Uno snodo deve essere sufficientemente mobile. La transizione tra i due deve essere coordinata. La funzione nasce quindi dall'equilibrio tra libertà e vincolo.

Dal corpo alla testa

Le rotazioni generate a livello degli appoggi non terminano nel bacino oppure nel torace. Esse raggiungono il rachide cervicale. La testa deve però conservare un orientamento sufficientemente stabile per permettere vista, vestibolo, udito e olfatto.

Il collo rappresenta l'ultimo grande snodo del circuito prima della piattaforma sensoriale cefalica. Il prossimo capitolo analizzerà proprio collo, testa e controllo dello sguardo.

Take home message

Il sistema locomotorio canino utilizza una distribuzione differenziata dei gradi di libertà. Alcune articolazioni funzionano prevalentemente come cerniere mentre altre permettono rotazioni più ampie e agiscono come veri snodi. Spalla e anca possiedono una significativa capacità rotazionale mentre pronosupinazione e regioni distali contribuiscono all'adattamento; carpo e ginocchio presentano invece una rotazione assiale propria molto limitata.

Questa distribuzione permette al cane di combinare stabilità, propulsione e adattamento. L'efficienza non deriva dalla massima mobilità di ogni articolazione ma dalla corretta distribuzione della mobilità lungo l'intero circuito.

Fermati un attimo

Immagina una catena nella quale ogni anello possa ruotare liberamente in tutte le direzioni. La struttura sarebbe estremamente mobile ma sarebbe difficile controllarla. Ora immagina una barra completamente rigida.

La struttura sarebbe stabile ma incapace di adattarsi. Il corpo utilizza entrambe le soluzioni in proporzioni differenti. Alcune regioni guidano.

Alcune regioni ruotano. Alcune regioni stabilizzano. Alcune regioni trasferiscono.

Il movimento nasce proprio dal fatto che le articolazioni non possiedono tutte la stessa libertà.

Messaggi chiave

- Le articolazioni del cane possiedono specializzazioni cinematiche differenti. Il termine cerniera descrive una regione nella quale prevale un movimento attorno a un asse principale. Il termine snodo descrive una regione con maggiore capacità di modificare l'orientamento dei segmenti.
- Il sistema locomotorio alterna mobilità e vincolo. Per la spalla si possono considerare circa 40–50° di rotazione interna ed esterna. La spalla deve essere interpretata insieme allo scorrimento della scapola sul torace.
- Il complesso dell'avambraccio partecipa alla pronazione e alla supinazione. Il carpo presenta una rotazione assiale propria molto limitata. L'anca rappresenta uno dei principali snodi rotazionali dell'arto posteriore.
- Per l'anca si possono considerare valori indicativi di circa 50–60° di rotazione interna e 80–90° di rotazione esterna. Il ginocchio privilegia la funzione di cerniera e mostra una rotazione propria molto limitata nel quadro del modello. Il complesso distale posteriore partecipa all'inversione e all'eversione.
- Una limitazione rotazionale può essere funzionale quando migliora la trasmissione delle forze. La torsione viene distribuita tra articolazioni differenti e non concentrata in un solo punto. Il bacino rappresenta un grande snodo tra arti posteriori e rachide.
- La cintura scapolare rappresenta uno snodo muscolo-fasciale capace di modulare le rotazioni. Il rachide distribuisce il movimento attraverso numerosi piccoli segmenti. La regione lombosacrale è un nodo fondamentale della trasmissione propulsiva.



Le Guide Love Your Life

- La regione toracolombare integra bacino e tronco. La regione cervico-toracica collega le oscillazioni del corpo al controllo della testa. Il range anatomico disponibile non coincide necessariamente con il movimento utilizzato durante la locomozione.
- La funzione richiede la quantità di rotazione necessaria e non la massima rotazione possibile. La perdita di mobilità di uno snodo può spostare la torsione verso altre regioni. La perdita di stabilità di una cerniera può aumentare la richiesta di co-contrazione.
- Le compensazioni modificano la distribuzione globale delle forze. L'elica locomotoria emerge dalla cooperazione tra molteplici cerniere e snodi. La biomeccanica efficiente richiede un equilibrio tra libertà e vincolo.

Capitolo 22 — Collo, testa e controllo dello sguardo

Collo

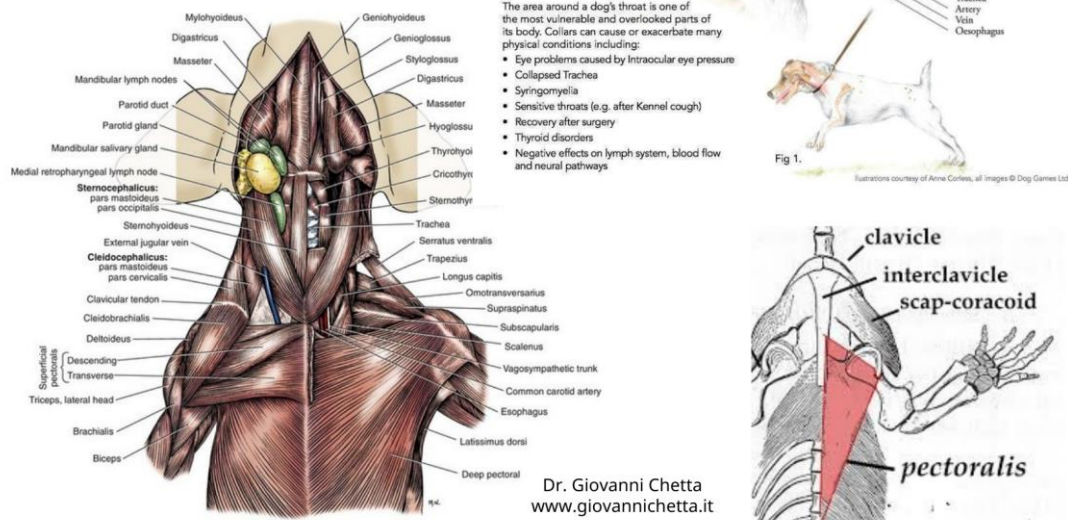


Figura — Il collo come interfaccia tra postura, percezione e movimento.

La testa deve muoversi ma deve anche rimanere stabile

La testa occupa una posizione particolare all'interno del sistema locomotorio perché essa deve soddisfare due esigenze apparentemente opposte. Il cane deve poter orientare rapidamente la testa verso uno stimolo. La testa deve però rimanere sufficientemente stabile durante la locomozione perché occhi, apparato vestibolare, udito e olfatto possano fornire informazioni utili.

Il collo deve permettere mobilità e contemporaneamente controllare le oscillazioni provenienti dal tronco. Questa doppia funzione trasforma la regione cervicale in uno dei principali snodi del circuito locomotorio. La stabilizzazione della testa costituisce infatti un elemento comune ai modelli del Dog vortex e dello Human vortex.

Il collo rappresenta l'ultimo grande snodo dello Spine Engine

Le oscillazioni generate e distribuite attraverso bacino, rachide toracolombare e torace raggiungono inevitabilmente la regione cervicale. Il collo riceve il movimento proveniente dal basso. Esso deve decidere funzionalmente quanta parte di quel movimento trasferire alla testa e quanta parte compensare.

La regione cervicale non rappresenta pertanto una semplice continuazione anatomica del rachide. Essa rappresenta una vera interfaccia tra locomozione e percezione.



Stabilizzare non significa immobilizzare

Il termine stabilizzazione può essere facilmente interpretato come assenza di movimento. Questa interpretazione sarebbe sbagliata. La testa deve muoversi costantemente.

La testa deve orientarsi verso gli stimoli, seguire la traiettoria e contribuire all'esplorazione.

La stabilizzazione consiste nel controllare il movimento e nel limitare le oscillazioni inutili senza impedire quelle necessarie. Una testa completamente rigida rispetto al tronco sarebbe incompatibile con molte funzioni sensoriali e comportamentali.

La testa è una piattaforma multisensoriale

La regione cefalica contiene numerosi sistemi che contribuiscono direttamente al controllo motorio. Gli occhi forniscono informazioni sull'ambiente. L'apparato vestibolare fornisce informazioni sulle accelerazioni e sull'orientamento della testa.

Le orecchie contribuiscono alla localizzazione degli stimoli acustici. Il naso permette al cane un'esplorazione olfattiva particolarmente sviluppata. La testa è una piattaforma sulla quale convergono alcuni dei principali sistemi sensoriali che guidano il movimento.

Il controllo dello sguardo dipende dal controllo della testa

Gli occhi possono modificare autonomamente la propria posizione ma l'orientamento complessivo dello sguardo dipende anche dal movimento della testa. Quando il tronco oscilla durante la locomozione, il sistema cervicale deve limitare la trasmissione indiscriminata di queste oscillazioni alla regione cefalica. Il cane riesce così a mantenere un riferimento visivo più stabile mentre il resto del corpo si muove.

La stabilizzazione cefalica assume quindi una funzione direttamente collegata al controllo dello sguardo.

Il sistema vestibolare necessita di conoscere il movimento della testa

L'apparato vestibolare rileva accelerazioni e cambiamenti di orientamento. Il movimento della testa costituisce lo stimolo diretto di questo sistema. Il cervello deve interpretare tali informazioni insieme a quelle visive e propriocettive.

L'equilibrio e il movimento dipendono dall'integrazione tra sistemi nervoso, vestibolare, oculare, esterocettivo, propriocettivo e miofasciale. La regione cervicale entra direttamente in questa integrazione perché determina la relazione tra testa e tronco.

Il collo possiede una funzione propriocettiva importante

Ogni movimento cervicale modifica la posizione della testa rispetto al corpo. Il sistema nervoso deve conoscere questa relazione. La propriocezione cervicale contribuisce alla rappresentazione della posizione cefalica.

Il cervello può così distinguere una rotazione della testa rispetto al tronco da una rotazione dell'intero corpo nello spazio. Il collo è anche una sorgente di informazioni necessarie al controllo dell'equilibrio.

La testa non segue passivamente il rachide

Il rachide toracolombare può oscillare in modo significativo durante la locomozione. La regione cervicale non riproduce necessariamente la stessa oscillazione con identica ampiezza. Il sistema può produrre compensazioni.



Una rotazione del tronco può essere parzialmente controbilanciata da una rotazione cervicale. Una variazione verticale può essere modulata attraverso movimenti del collo. La testa può così mantenere una traiettoria relativamente più stabile rispetto al resto del corpo.

Il Dog vortex termina funzionalmente nella testa

Il Dog vortex comprende rotazione del bacino, controrotazione della regione superiore, rotazione degli arti e stabilizzazione della testa. Questa rappresentazione sintetizza bene il ruolo della regione cervicale. Le rotazioni non vengono eliminate.

Esse vengono organizzate lungo il corpo. Quando raggiungono la testa, il sistema deve controllarle per preservare una piattaforma sensoriale funzionale. La stabilizzazione della testa costituisce il risultato superiore dell'intero sistema di controrotazioni.

Lo stesso principio compare nell'uomo

Anche nell'uomo la rotazione del bacino si associa alla controrotazione delle spalle e alla stabilizzazione della testa. Il principio generale è comune. Il corpo avanza attraverso oscillazioni e rotazioni mentre la testa mantiene un controllo relativamente indipendente.

Le differenze riguardano l'architettura sottostante. Nell'uomo la testa si trova sopra una colonna prevalentemente verticale. Nel cane essa si trova all'estremità anteriore di un rachide prevalentemente orizzontale.

La richiesta biomeccanica della regione cervicale cambia quindi profondamente.

Nel cane la testa si trova davanti al tronco

La testa canina rappresenta una massa posta anteriormente rispetto al torace. Il collo la sostiene come una struttura a sbalzo rispetto al tronco. Questa configurazione produce una richiesta biomeccanica differente rispetto all'uomo.

I muscoli cervicali devono sostenere la testa contro la gravità, permetterne i movimenti, controllarne le accelerazioni e integrare questi compiti con le oscillazioni provenienti dal rachide.

Il collo è una regione costantemente attiva.

La posizione della testa modifica il centro di massa

Quando il cane estende il collo e porta la testa anteriormente, la distribuzione delle masse cambia. Quando il cane solleva la testa, la configurazione cambia nuovamente. Quando il cane abbassa il muso verso il terreno, il carico relativo sugli arti anteriori può modificarsi.

La posizione della testa non è soltanto un comportamento sensoriale. Essa costituisce anche una variabile biomeccanica.

Abbassare la testa modifica l'intero circuito

Il cane utilizza frequentemente una posizione cefalica bassa durante l'esplorazione olfattiva. Questa posizione modifica il rachide cervicale, la tensione dei muscoli che collegano collo e scapola, la distribuzione del peso anteriormente e la relazione tra cintura scapolare e torace. Un'attività sensoriale può così produrre una riorganizzazione biomeccanica dell'intero corpo.



Sollevare la testa produce una configurazione differente

Quando il cane solleva la testa, la regione cervicale cambia curvatura e tensione. La massa cefalica si sposta. La relazione con la cintura scapolare cambia.

Il sistema posturale deve redistribuire il carico. La posizione cefalica può modificare il comportamento degli arti anche senza che il cane abbia ancora iniziato a muoversi. Il collo entra così direttamente nella preparazione posturale.

Il collo collega testa e cintura scapolare

La rappresentazione anatomica del collo mostra visivamente la stretta relazione tra muscolatura cervicale e regione scapolare. Questa continuità possiede un significato biomeccanico importante. La scapola può modificare il comportamento del collo attraverso le tensioni muscolari che collegano le due regioni.

Il collo può a sua volta modificare la posizione e la tensione della cintura scapolare. La regione cervicale e quella scapolare non devono essere valutate come strutture indipendenti.

Testa e arti anteriori condividono una rete funzionale

Gli arti anteriori sostengono una parte importante del carico. La cintura scapolare sospende il torace. Il collo sostiene e orienta la testa.

Numerosi muscoli attraversano oppure collegano queste regioni. Una modifica della posizione cefalica può cambiare il comportamento dell'arto anteriore. Una modifica della funzione scapolare può viceversa influenzare il controllo cervicale.

Il sistema anteriore del cane è un'unità biomeccanica complessa.

Il collo non è soltanto una serie di vertebre

La figura specifica dedicata al collo mostra una regione densamente occupata da strutture muscolari, vascolari, nervose, linfatiche, respiratorie e digestive. Questa complessità anatomica invita a evitare una lettura esclusivamente articolare della regione. Il movimento cervicale modifica infatti rapporti tra molte strutture.

La biomeccanica del collo deve quindi rispettare la sua natura di crocevia anatomico.

Mobilità cervicale e stabilità devono coesistere

Il cane necessita di una notevole mobilità della testa. L'esplorazione visiva richiede orientamento. L'olfatto richiede continui movimenti del muso.

L'udito può orientare l'attenzione verso differenti direzioni. Il comportamento sociale utilizza a sua volta numerose posizioni della testa. Il collo deve permettere questa mobilità mantenendo contemporaneamente una stabilità sufficiente durante il movimento.

La funzione cervicale rappresenta quindi un altro esempio del principio **mobilità più controllo**.

Una maggiore rigidità non garantisce un migliore controllo

Il sistema potrebbe limitare le oscillazioni aumentando fortemente la tensione cervicale. Questa strategia ridurrebbe però la libertà di orientamento e aumenterebbe il costo energetico.



La stabilizzazione efficiente richiede una tensione sufficiente ma non eccessiva. Il collo deve poter modificare rapidamente la propria rigidità funzionale.

Il collo cambia funzione con la velocità

Durante una locomozione lenta il cane dispone di più tempo per orientare la testa verso differenti stimoli. Quando la velocità aumenta, il controllo delle accelerazioni assume maggiore importanza. Il sistema deve modificare il rapporto tra mobilità esplorativa e stabilizzazione.

Nel galoppo la testa deve essere integrata con oscillazioni spinali più ampie. Il comportamento cervicale cambia con l'andatura.

Il passo permette una maggiore esplorazione

Durante il passo il cane può abbassare e ruotare frequentemente la testa. La base di appoggio relativamente stabile permette una maggiore libertà di esplorazione. Il cane può utilizzare l'olfatto e la vista mentre modifica lentamente la traiettoria.

Il collo assume quindi un ruolo particolarmente evidente nella relazione con l'ambiente.

Il trotto richiede una stabilizzazione più regolare

Nel trotto il ritmo diventa più uniforme. Le coppie diagonali producono una successione regolare di oscillazioni. La testa deve essere controllata rispetto a questa periodicità.

Il collo contribuisce a filtrare le oscillazioni del tronco e a mantenere una piattaforma sensoriale sufficientemente stabile. Un'alterazione del ritmo cervicale può essere visibile anche come movimento compensatorio della testa.

Il galoppo aumenta la richiesta dinamica

Nel galoppo le accelerazioni aumentano notevolmente. Il rachide modifica maggiormente la propria configurazione. Gli arti alternano fasi di contatto e sospensione.

La testa deve essere controllata all'interno di un sistema molto più dinamico. Il collo deve assorbire e coordinare accelerazioni provenienti dal corpo senza perdere completamente la libertà di orientamento.

La testa può partecipare attivamente ai cambi di direzione

Il cane può orientare la testa verso la nuova traiettoria prima che l'intero corpo completi il cambio di direzione. Il collo modifica precocemente la configurazione. Il tronco e gli arti devono successivamente adattarsi.

La testa può rappresentare così uno dei primi segnali visibili dell'intenzione motoria. Il movimento cervicale non è quindi sempre una conseguenza del movimento corporeo. Esso può anche precederlo.

Lo sguardo può anticipare il gesto

Il sistema visivo permette di identificare la direzione verso la quale il cane sta per muoversi. La testa può orientarsi verso quella direzione. Il corpo prepara il cambio della base di appoggio.

Il bacino modifica la traiettoria. Gli arti cambiano funzione. Il controllo dello sguardo partecipa così alla preparazione del movimento.



Visione e locomozione formano un circuito

Il cane guarda l'ambiente. L'informazione visiva modifica il programma motorio. Il movimento cambia la posizione della testa.

La nuova posizione modifica l'informazione visiva. Il sistema nervoso aggiorna nuovamente la risposta. La visione entra in un circuito continuo con il movimento.

Il controllo dello sguardo non può essere separato dalla locomozione.

Vestibolo e visione devono concordare

Quando la testa si muove, il sistema vestibolare registra l'accelerazione. Contemporaneamente gli occhi ricevono un cambiamento dell'immagine. Il sistema nervoso confronta queste informazioni.

Una buona coordinazione tra movimento cefalico e controllo oculare rende possibile mantenere una rappresentazione più stabile dell'ambiente. La stabilizzazione della testa riduce quindi la quantità di correzione necessaria.

Anche l'udito orienta la testa

Un suono può provocare un rapido orientamento cefalico. Il collo modifica immediatamente la configurazione. Il centro di massa può cambiare leggermente.

Il sistema posturale deve adattarsi. La percezione acustica produce anch'essa una conseguenza biomeccanica. La testa rappresenta il luogo nel quale comportamento sensoriale e movimento si incontrano in modo particolarmente evidente.

L'olfatto rende il cane ancora più particolare

Il cane utilizza l'olfatto in modo molto più importante rispetto all'uomo. La ricerca olfattiva richiede spesso movimenti continui di testa e collo. Il muso viene avvicinato al terreno.

La testa si sposta lateralmente. La velocità può diminuire. La base di appoggio viene in modo continuo riorganizzata.

La locomozione esplorativa del cane deve quindi essere letta anche alla luce della funzione olfattiva.

Il controllo della testa modifica la postura

Una testa orientata anteriormente produce una configurazione. Una testa abbassata ne produce un'altra. Una testa ruotata lateralmente crea un'asimmetria temporanea.

Il resto del corpo deve adattarsi a ciascuna configurazione. Il collo è una delle principali vie attraverso le quali il comportamento modifica la postura.

Una posizione asimmetrica della testa può essere fisiologica

Il cane orienta continuamente la testa verso stimoli differenti. Un'asimmetria cervicale momentanea non costituisce necessariamente un problema. La valutazione deve considerare la capacità di orientarsi in entrambe le direzioni.

La valutazione deve considerare anche la fluidità del movimento e la possibilità di ritornare a una posizione neutra. La reversibilità rimane un criterio fondamentale.



Una preferenza persistente può modificare il circuito

Se il cane utilizza sempre la stessa direzione cervicale, il resto del corpo può adattarsi a questa strategia. La cintura scapolare può modificare la propria tensione. Gli arti possono ricevere carichi differenti.

Il rachide può compensare. Una preferenza persistente può superare il significato locale del collo e coinvolgere l'intero circuito. La valutazione deve osservare sempre la relazione tra regione cervicale e resto del corpo.

Il movimento della testa può essere compensatorio

Un movimento cefalico evidente non indica necessariamente che il problema originario si trovi nel collo. Il cane può utilizzare la testa per modificare la distribuzione del peso quando un arto viene caricato meno efficacemente e modificare il ritmo cefalico per compensare un'alterazione dell'andatura.

La testa rappresenta una massa facilmente utilizzabile dal sistema per spostare il centro di massa. Il movimento cefalico può costituire anche una strategia compensatoria.

Occorre osservare quando la testa si muove

La biomeccanica 4D permette di aggiungere una domanda fondamentale. Non basta osservare quanto la testa si muove. Occorre osservare in quale fase dell'andatura il movimento compare.

Un'oscillazione sincronizzata con un determinato appoggio può indicare una strategia differente rispetto a un'oscillazione casuale. Il timing permette di interpretare il significato funzionale del movimento cefalico.

Il collo appartiene alla catena miofasciale

La regione cervicale possiede continuità muscolari e fasciali con torace, scapola e dorso. Una rotazione della testa modifica quindi la tensione di strutture che proseguono oltre il collo. Il sistema fasciale distribuisce questa variazione.

Il movimento cervicale può influenzare regioni più lontane senza che ciò implichi una trasmissione rigida e identica delle forze. La rete modifica la propria configurazione globale.

La regione cervicale completa il circuito oscillatorio

Nel modello il circuito oscillatorio umano prosegue fino al rachide cervicale e alla testa prima di iniziare un nuovo ciclo. Nel cane il percorso schematico viene chiuso attraverso torace e rachide ma il Dog vortex mostra esplicitamente la stabilizzazione cefalica come parte dello Spine Engine. La testa può essere considerata il punto nel quale il circuito biomeccanico incontra in modo particolarmente evidente il circuito sensoriale.

Il corpo muove la testa. La testa raccoglie informazioni. Le informazioni modificano il movimento successivo.

Il circuito si chiude attraverso l'informazione

La forza risale attraverso il corpo. Le oscillazioni raggiungono il collo. La testa viene stabilizzata e orientata.

Vista, vestibolo, udito e olfatto raccolgono informazioni. Il sistema nervoso utilizza queste informazioni per organizzare il ciclo successivo. Il movimento ritorna al punto di partenza non soltanto attraverso la meccanica ma anche attraverso l'informazione.



La testa costituisce uno dei principali luoghi di questa trasformazione.

Uomo e cane utilizzano lo stesso principio in geometrie diverse

Nell'uomo la testa viene stabilizzata sopra una struttura bipede verticale. Nel cane essa viene stabilizzata davanti a un tronco quadrupede prevalentemente orizzontale. L'uomo utilizza soprattutto lo sguardo per orientare la locomozione.

Il cane integra in misura molto maggiore l'olfatto con vista e udito. La funzione sensoriale modifica quindi anche la biomeccanica cervicale delle due specie. Il principio comune rimane però lo stesso: il corpo deve muoversi senza perdere un riferimento sensoriale sufficientemente stabile.

Dal controllo della testa alle forze esterne

Con questo capitolo si conclude la parte dedicata a postura, equilibrio e andature. Abbiamo osservato come il corpo costruisca la locomozione attraverso oscillazioni e come la testa debba essere contemporaneamente mobile e stabilizzata. Il passo successivo consiste nell'analizzare più direttamente le forze che agiscono sull'intero sistema.

La **Parte VI** inizierà quindi dalla relazione fondamentale tra **gravità e reazione del terreno**.

Take home message

Il collo rappresenta l'interfaccia biomeccanica tra un tronco oscillante e una testa che deve rimanere sufficientemente stabile per permettere un controllo sensoriale efficace. La testa non deve essere immobilizzata perché essa deve orientarsi continuamente verso l'ambiente. Il sistema cervicale deve combinare mobilità e stabilità.

Nel cane questa funzione assume una particolare importanza perché testa e collo partecipano attivamente a vista, equilibrio, udito, olfatto, orientamento e redistribuzione del carico. La testa non è un passeggero del movimento: essa percepisce, orienta e modifica costantemente il movimento dell'intero corpo.

Fermati un attimo

Osserva mentalmente un cane che corre verso un obiettivo. Il rachide oscilla. Il bacino ruota.

Gli arti spingono e assorbono. La cintura scapolare scorre. Ora immagina che la testa riproduca passivamente tutte queste oscillazioni senza alcun controllo.

La qualità della visione diminuirebbe. Le informazioni vestibolari diventerebbero più difficili da integrare. L'orientamento dell'ambiente diventerebbe meno preciso.

Il corpo deve risolvere un problema raffinato: deve permettere al cane di muovere tutto il corpo mantenendo contemporaneamente la testa abbastanza libera da esplorare e abbastanza stabile da percepire.

Messaggi chiave

- La testa rappresenta una piattaforma multisensoriale. La sua stabilizzazione costituisce un elemento comune sia nel Dog vortex sia nello Human vortex. Il collo costituisce l'ultimo grande snodo tra rachide e testa.
- Stabilizzare la testa non significa immobilizzarla. La regione cervicale deve combinare mobilità e controllo. Il controllo dello sguardo dipende anche dalla stabilizzazione cefalica.



Le Guide Love Your Life

- L'apparato vestibolare rileva il movimento e l'orientamento della testa. La propriocezione cervicale informa sulla relazione tra testa e tronco. Il collo può compensare una parte delle oscillazioni provenienti dal rachide.
- Nel cane la testa costituisce una massa posta anteriormente rispetto al tronco. La posizione cefalica modifica la distribuzione del centro di massa. Abbassare la testa può aumentare la richiesta biomeccanica della regione anteriore.
- Il collo possiede stretti rapporti funzionali con la cintura scapolare. La rappresentazione anatomica del collo evidenzia la complessità anatomica della regione cervicale. Il passo consente una maggiore libertà esplorativa della testa.
- Il trotto richiede una stabilizzazione ritmica più regolare. Il galoppo aumenta le accelerazioni e quindi la richiesta di controllo cervicale. La testa può anticipare un cambio di direzione.
- Lo sguardo può partecipare alla preparazione del gesto. Vista e vestibolo devono essere integrati durante il movimento. Udito e olfatto possono orientare la testa e modificare indirettamente la biomeccanica.
- Nel cane la ricerca olfattiva può modificare significativamente postura e distribuzione del carico. Un'asimmetria cefalica momentanea può essere fisiologica. Una preferenza persistente può coinvolgere anche scapola, rachide e arti.
- Il movimento della testa può costituire una compensazione e non necessariamente indicare un problema cervicale. Il timing del movimento cefalico deve essere osservato all'interno del ciclo dell'andatura. Il collo appartiene alla continuità miofasciale del tronco.
- La testa è uno dei principali punti nei quali il circuito meccanico incontra quello sensoriale. Uomo e cane utilizzano lo stesso principio di stabilizzazione cefalica all'interno di architetture biomeccaniche differenti.

PARTE VI — FORZE, TESSUTI E ADATTAMENTO

Capitolo 23 — Gravità e reazione del terreno

La gravità rappresenta la forza con cui il corpo deve confrontarsi costantemente

La locomozione terrestre avviene all'interno di un campo gravitazionale. Il corpo non può essere analizzato come se si muovesse in assenza di peso. La gravità agisce in modo continuo sulla massa corporea e influenza postura, equilibrio, appoggio, accelerazione e decelerazione.

Il corpo canino può essere interpretato come il risultato dell'esigenza di realizzare una locomozione quadrupede efficiente all'interno del campo gravitazionale e su un terreno non uniforme. Questa affermazione contiene uno dei principi fondamentali dell'intera guida. La struttura del corpo deve essere interpretata anche come risposta al problema biomeccanico posto dalla gravità.

La gravità agisce anche in assenza di movimento

Un cane in stazione eretta continua a essere sottoposto alla gravità. Una persona immobile continua a essere sottoposta alla gravità. I tessuti devono sostenere il carico.

Le articolazioni devono mantenere una determinata configurazione. I muscoli devono modulare il proprio tono. La fascia deve distribuire le tensioni.

La postura rappresenta già una risposta biomeccanica alla gravità. Il movimento modifica questa relazione ma non la determina.

La gravità possiede una direzione costante

In prossimità della superficie terrestre la gravità agisce approssimativamente verso il centro della Terra. Il corpo modifica tuttavia in modo continuo il proprio orientamento rispetto a questa direzione. Quando una persona si inclina, varia la relazione tra i segmenti corporei e la gravità.

Quando un cane abbassa la testa, accelera, decelera o cambia direzione, la stessa relazione si modifica. La forza gravitazionale rimane sostanzialmente costante, mentre varia la geometria del corpo che la deve gestire. La biomeccanica dipende quindi dalla relazione tra forza e configurazione.

Il peso è una forza

La massa descrive la quantità di materia di un corpo. Il peso rappresenta invece la forza gravitazionale che agisce su tale massa. A parità di gravità, una maggiore massa determina una maggiore forza peso.

La struttura corporea deve gestire forze differenti in soggetti differenti. La biomeccanica non dipende esclusivamente dalla forma ma anche dalla quantità di massa che tale forma deve sostenere e accelerare.

Il centro di massa sintetizza la distribuzione delle masse

Il corpo presenta una distribuzione complessa della massa. La testa possiede una massa. Il tronco possiede una massa.

Gli arti possiedono masse distribuite lungo la loro lunghezza. Per analizzare il comportamento globale si utilizza il concetto di centro di massa. Il centro di massa è un punto teorico in cui si può considerare concentrata la massa complessiva ai fini dell'analisi del movimento.



La sua posizione varia al variare della configurazione del corpo.

La posizione del corpo modifica il centro di massa

Quando il cane abbassa la testa, il centro di massa complessivo si modifica. Quando raccoglie gli arti sotto il corpo, la distribuzione cambia. Quando estende il rachide durante il galoppo, la geometria si modifica ulteriormente.

Lo stesso fenomeno si osserva nell'uomo quando gli arti superiori si muovono o quando il tronco si inclina. Il centro di massa non è un punto anatomico fisso: è piuttosto il risultato della distribuzione istantanea delle masse.

Il terreno impedisce al corpo di cadere indefinitamente

Se la gravità fosse l'unica forza presente, un corpo non sostenuto accelererebbe verso il basso. Quando il piede o la zampa entrano in contatto con il terreno, la situazione cambia. Il corpo esercita una forza sul terreno.

Il terreno esercita simultaneamente una forza sul corpo. Questa forza viene definita reazione del terreno. La locomozione terrestre dipende dall'interazione tra gravità, forza prodotta dal corpo e risposta della superficie.

La reazione del terreno non è soltanto verticale

Una rappresentazione semplificata descrive la reazione del terreno come una forza diretta verso l'alto. Nel movimento reale, tale forza possiede anche componenti orizzontali e laterali. Durante l'accelerazione, il corpo deve generare una componente utile alla progressione.

Durante la frenata, la direzione si modifica. Durante la curva, compare una componente laterale. In salita o in discesa, il rapporto tra le componenti varia ulteriormente.

La reazione del terreno è un vettore tridimensionale.

Il terreno e il corpo formano una coppia biomeccanica

Il cane non può realizzare una locomozione efficace senza una superficie contro cui applicare forza. Lo stesso vale per l'uomo. La spinta non deriva esclusivamente dall'azione muscolare.

I muscoli generano tensione. Le articolazioni organizzano la configurazione. Il piede o la zampa applicano forza alla superficie.

Il terreno restituisce una reazione. La progressione emerge dall'interazione tra questi elementi. Il terreno costituisce una componente funzionale del sistema locomotorio.

Il circuito oscillatorio include esplicitamente il terreno

La reazione del terreno entra direttamente nei circuiti oscillatori dell'uomo e del cane. Nel modello umano la sequenza comprende piede, reazione del terreno e risalita elicoidale attraverso arto, bacino e tronco. Nel modello canino la sequenza collega gli arti posteriori al terreno e successivamente integra rachide, cintura scapolare e arti anteriori prima di un nuovo contatto con il suolo.

Il terreno non si colloca alla fine del circuito: ne è una componente strutturale.



La forza scende e risale soltanto come semplificazione didattica

È possibile descrivere una forza che dal corpo si trasferisce al terreno e una reazione che dal terreno risale verso il corpo. Tale descrizione è utile ma non deve essere interpretata come un flusso lineare. Le forze vengono ridistribuite simultaneamente attraverso numerose strutture.

Le ossa ricevono compressione. I muscoli generano e controllano tensione. Le fasce modulano la distribuzione.

Le articolazioni modificano l'orientamento. La risposta è una trasformazione continua, non il passaggio di una singola forza lungo un percorso unico.

Il piede umano trasforma la reazione del terreno

Nel sistema umano il piede rappresenta il primo grande trasformatore della forza proveniente dal suolo. La sua struttura altamente articolata consente un adattamento tridimensionale. La forza viene integrata attraverso rotazioni e deformazioni locali.

Nel circuito umano la reazione del terreno può essere descritta come elicoidale. La forza che entra nel corpo assume un significato diverso rispetto alla sola componente verticale del peso.

La zampa canina introduce la forza nel circuito quadrupede

Nel cane il terreno interagisce con il sistema attraverso quattro possibili interfacce. La zampa posteriore trasferisce una parte significativa della spinta propulsiva. La zampa anteriore riceve una quota rilevante del carico nelle fasi di sostegno e frenata.

La stessa superficie produce quindi effetti differenti in relazione all'arto coinvolto e alla fase dell'andatura. Il terreno interagisce con un sistema funzionalmente specializzato in senso longitudinale.

Posteriormente il terreno consente la propulsione

Gli arti posteriori generano una parte importante della spinta. Per accelerare il corpo, la zampa deve applicare al terreno una forza adeguatamente orientata. Il terreno restituisce una reazione che contribuisce alla progressione del centro di massa.

La forza risale lungo l'arto. Il bacino la integra. Il rachide la riceve e la redistribuisce.

Il sistema propulsivo esiste quindi esclusivamente in relazione al terreno.

Anteriormente il terreno consente il controllo

Quando l'arto anteriore entra in appoggio, la reazione del terreno deve essere gestita da strutture con funzione prevalentemente diversa. La zampa riceve il carico. Il carpo e il gomito partecipano alla gestione della forza.

La scapola scorre. La sospensione muscolo-fasciale modula la sollecitazione. Il torace riceve una forza già trasformata.

Il terreno contribuisce in questo caso soprattutto alle fasi di sostegno, frenata e controllo.

Accelerazione e frenata modificano il vettore della forza

Durante l'accelerazione il corpo deve generare una risultante in grado di aumentare la velocità. Durante la frenata deve generare una risultante opposta alla direzione del movimento. Il vettore della reazione del terreno cambia orientamento.

Gli arti devono adattare la propria configurazione. Il bacino e la cintura scapolare devono compensare tali variazioni. Il sistema nervoso deve predisporre differenti livelli di rigidità.

La stessa zampa può quindi essere sottoposta a condizioni meccaniche molto diverse.

Anche il tempo di applicazione è determinante

La forza non deve essere descritta esclusivamente in termini di intensità. È fondamentale considerare anche il tempo di applicazione. Una stessa variazione della quantità di moto può essere ottenuta mediante una forza elevata applicata per un breve intervallo oppure mediante una forza minore applicata per un tempo più lungo.

I tessuti rispondono in modo differente nei due casi. L'assorbimento biomeccanico consiste anche nella modulazione temporale della forza.

La cintura scapolare distribuisce il carico nel tempo

La sospensione muscolo-fasciale anteriore consente una deformazione controllata. La scapola può scorrere. I muscoli possono allungarsi sotto tensione.

La fascia può modificare la propria configurazione. Il tempo di gestione della forza aumenta rispetto a un sistema rigidamente vincolato. La cintura scapolare contribuisce così alla riduzione dei picchi di carico e alla modulazione della reazione del terreno.

La deformazione rappresenta una strategia di protezione

Una struttura rigida trasmette rapidamente la forza. Una struttura deformabile è in grado di assorbirne e redistribuirne una parte. Il corpo utilizza tendini, muscoli, fasce, cartilagini e altri tessuti per modulare la trasmissione delle sollecitazioni.

La deformazione non implica perdita di stabilità. Se controllata, è una strategia biomeccanica efficace.

L'elasticità consente il recupero di energia

Una parte dell'energia impiegata per deformare un tessuto elastico può essere restituita nella fase successiva. La locomozione si basa quindi su cicli di carico e scarico. Il terreno fornisce le condizioni per l'efficacia di tali cicli.

L'appoggio carica le strutture. La fase successiva consente la restituzione parziale dell'energia. La locomozione efficiente riduce così il lavoro muscolare attivo necessario.

Il sistema non deve eliminare la gravità

La gravità non rappresenta esclusivamente un vincolo. Il corpo può sfruttare l'energia potenziale gravitazionale. Durante alcune fasi il centro di massa si abbassa.



Durante altre fasi risale. La locomozione trasforma in modo continuo energia potenziale e cinetica. Una biomeccanica efficace non consiste nel contrastare costantemente la gravità ma nel gestirla e, quando possibile, sfruttarla.

Camminare significa anche controllare una caduta

Nella locomozione bipede il centro di massa viene continuamente proiettato verso una nuova base di appoggio. Una parte della progressione deriva da una perdita controllata dell'equilibrio. Il passo successivo interrompe e reindirizza la caduta.

La camminata non consiste esclusivamente nel sollevarsi contro la gravità: comprende anche la gestione di una sequenza di cadute controllate.

Anche il cane utilizza la gravità in modo dinamico

Il cane modifica continuamente l'altezza e la traiettoria del proprio centro di massa. Nel galoppo questa dinamica è particolarmente evidente. Il corpo viene proiettato.

Può comparire una fase di sospensione. Il centro di massa ritorna verso il terreno. Gli arti anteriori ricevono il corpo.

Il sistema deve convertire la successiva caduta in un nuovo ciclo locomotorio.

La fase di atterraggio trasforma energia

Quando il corpo ritorna in contatto con il terreno dopo una fase di sospensione, possiede energia cinetica. Gli arti anteriori devono gestirla. Le articolazioni modificano il proprio angolo.

I muscoli lavorano in modalità eccentrica. La cintura scapolare si deforma e scorre. La forza viene distribuita al torace.

L'atterraggio è una fase di trasformazione energetica e non un semplice impatto.

La rigidità aumenta la velocità di trasmissione del carico

Se l'arto entra in contatto con il terreno in una configurazione molto rigida, la capacità di deformazione si riduce. La forza viene trasmessa più rapidamente alle strutture superiori. Un certo grado di rigidità è necessario per il controllo ma un'eccessiva rigidità può ridurre la capacità di modulazione.

Il sistema deve adottare una rigidità coerente con il compito motorio. Lo stesso principio vale nell'uomo.

Superfici dure e morbide non sono equivalenti

Il terreno possiede proprietà meccaniche specifiche. Una superficie rigida si deforma minimamente. Una superficie morbida assorbe una quota maggiore di energia.

Una superficie elastica può restituire parte dell'energia. Una superficie instabile modifica costantemente la direzione delle forze. Il corpo deve quindi adattare il proprio comportamento alle caratteristiche meccaniche dell'ambiente.

Il terreno incongruente aumenta la richiesta adattativa

Il cane deve adattarsi in modo continuo alla locomozione su terreno incongruente. Una superficie irregolare modifica orientamento e altezza di ogni appoggio. Gli arti non possono ripetere traiettorie identiche.



La zampa deve adattarsi. Le articolazioni devono modificare gli angoli. Il bacino e il rachide devono compensare.

La cintura scapolare deve modulare. Il sistema nervoso deve aggiornare continuamente il programma motorio.

La variabilità del terreno genera variabilità delle forze

Due passi consecutivi su una superficie naturale possono produrre vettori differenti. L'orientamento della zampa varia. L'attrito varia.

L'inclinazione varia. La deformabilità varia. La reazione del terreno varia di conseguenza.

Un sistema locomotorio fisiologico deve essere in grado di gestire tale variabilità. La perfetta ripetizione non rappresenta il problema per cui il corpo si è evoluto.

L'attrito consente la progressione

La reazione del terreno possiede una componente tangenziale solo in presenza di adeguato attrito tra superficie e appoggio. Su superfici molto scivolose la zampa o il piede possono perdere aderenza. La capacità di generare una spinta efficace si riduce.

Il sistema può reagire riducendo la lunghezza del passo, aumentando la co-contrazione o abbassando il centro di massa.

La biomeccanica si modifica in funzione dell'attrito disponibile.

Un attrito elevato modifica comunque le sollecitazioni

Una superficie ad alta aderenza limita lo scivolamento. Ciò può favorire la produzione di forza. Tuttavia le rotazioni devono essere assorbite maggiormente dal corpo quando il piede o la zampa non possono ruotare rispetto al terreno.

La torsione può aumentare in alcune articolazioni. Il rapporto ottimale con la superficie dipende dal compito e dalla capacità del sistema di distribuire le rotazioni.

La forza di taglio rappresenta una componente rilevante

Quando due strutture tendono a scorrere parallelamente, si genera una componente di taglio. Le articolazioni devono gestire tale componente insieme alla compressione e devono orientare le risultanti in modo da limitare la trasmissione eccessiva delle forze di taglio.

Il tema introduce un principio fondamentale. La geometria articolare e l'organizzazione delle tensioni devono orientare le forze secondo direzioni compatibili con i tessuti.

Le articolazioni preferiscono determinati tipi di carico

Una superficie articolare è progettata per ricevere carichi secondo specifiche direzioni. Una componente compressiva distribuita può essere gestita diversamente rispetto a un'elevata componente di taglio. La posizione articolare influenza quindi la sicurezza meccanica.

Anche i muscoli contribuiscono all'orientamento delle risultanti. La biomeccanica efficiente mira a distribuire il carico lungo traiettorie compatibili con la struttura.



fascia e deviazione delle forze gravitazionali

La fascia è rappresentata come elemento coinvolto nella deviazione delle forze gravitazionali e nella risultante che raggiunge le articolazioni. Questo concetto deve essere interpretato come modello di distribuzione meccanica. La rete fasciale partecipa infatti alla trasmissione delle tensioni insieme a muscoli, ossa e articolazioni.

La risultante articolare dipende quindi dall'intero assetto corporeo e non esclusivamente dal carico verticale.

La fascia può modificare la direzione delle tensioni

Una struttura fasciale in tensione non trasmette la forza esclusivamente lungo la direzione della gravità. Essa esercita tensioni secondo il proprio orientamento. Numerose strutture con direzioni differenti contribuiscono alla risultante complessiva.

Il corpo può trasformare una forza esterna in una distribuzione complessa. La tensegrità rappresenta un modello utile per comprendere tale redistribuzione.

Tensegrità e gravità

Una struttura di tensegrità non sostiene il carico attraverso un'unica colonna verticale. Essa distribuisce le tensioni attraverso l'interazione tra elementi in compressione e in tensione, garantendo stabilità globale mediante un equilibrio dinamico delle forze.

Capitolo 24 — L'osso si adatta al movimento

Lo scheletro è una struttura dinamica

L'osso viene spesso rappresentato come la componente rigida e sostanzialmente immutabile del sistema locomotorio. Questa rappresentazione è incompleta. L'osso possiede una notevole capacità di adattamento strutturale alle sollecitazioni meccaniche che riceve nel tempo.

La legge di Wolff afferma che le trabecole ossee tendono a disporsi in relazione alle principali direzioni degli sforzi mentre il loro spessore e la loro organizzazione cambiano al variare dell'intensità del carico. La struttura ossea deve essere interpretata come il risultato di un equilibrio continuo tra patrimonio biologico, funzione e storia meccanica.

Il movimento contribuisce a costruire la struttura

Il movimento non utilizza semplicemente uno scheletro già formato. Il movimento fornisce anche una parte degli stimoli che contribuiscono a mantenerne l'architettura. Quando un arto viene caricato, l'osso si deforma in misura minima.

Quando la direzione delle forze cambia, cambia anche la distribuzione delle deformazioni. Quando queste sollecitazioni vengono ripetute nel tempo, il tessuto osseo può adattare la propria organizzazione. La funzione modifica progressivamente la struttura.

La forma segue in parte la funzione

Una determinata geometria ossea rende possibili alcuni movimenti. Gli stessi movimenti producono però forze che contribuiscono nel tempo al mantenimento o alla modificazione di quella geometria. Forma e funzione interagiscono reciprocamente.

Il processo non è immediato. Il rimodellamento richiede tempo e rappresenta la risposta biologica alla storia meccanica del tessuto.

Il carico non è un nemico

Il carico fisiologico rappresenta uno stimolo necessario. Un osso completamente sottratto alle normali sollecitazioni non conserva automaticamente la propria capacità. L'ipocarico modifica infatti l'informazione meccanica ricevuta dalle cellule.

Il tessuto può quindi adattarsi a una richiesta inferiore. Il principio fondamentale non consiste nell'eliminare il carico ma nel mantenerlo compatibile con la capacità del tessuto.

Anche il sovraccarico modifica la struttura

Un carico superiore alla capacità di adattamento può diventare problematico. L'intensità non rappresenta però l'unica variabile. La frequenza conta.

La durata conta. La direzione conta. La velocità di applicazione conta.

Il recupero conta. Il significato biologico del carico dipende dalla sua dose complessiva.



Compressione, trazione, torsione e taglio

Durante la locomozione l'osso non riceve una singola forza. Esso viene sottoposto a combinazioni di compressione, trazione, flessione, torsione e componenti di taglio. La geometria articolare contribuisce a orientare queste risultanti.

La legge di Wolff si collega proprio alla necessità di gestire le forze che raggiungono le articolazioni e le componenti di taglio. La distribuzione del carico è una proprietà dell'intero sistema.

I muscoli modificano il carico osseo

Il peso corporeo rappresenta soltanto una parte delle forze che raggiungono lo scheletro. La contrazione muscolare genera ulteriori sollecitazioni. Un muscolo può produrre tensione anche quando il corpo non sta accelerando visibilmente.

L'osso riceve contemporaneamente forze esterne e interne. Il rimodellamento risponde alla risultante di entrambe.

La fascia partecipa indirettamente alla distribuzione

Le tensioni fasciali modificano la relazione tra segmenti e muscoli. La posizione articolare cambia la risultante che raggiunge l'osso. La fascia non deve essere immaginata come una struttura che "comanda" il rimodellamento osseo.

Essa appartiene però alla rete biomeccanica che determina come le forze vengono distribuite.

Uomo e cane costruiscono scheletri funzionalmente differenti

Nell'uomo la bipedia concentra il carico su due arti inferiori. Nel cane la quadrupedia distribuisce il carico su quattro arti. Posteriormente il bacino canino possiede una connessione ossea diretta con il rachide.

Anteriormente la sospensione scapolare modifica il trasferimento delle forze. Le due specie espongono quindi lo scheletro a storie meccaniche differenti.

Anche le andature producono stimoli diversi

Il passo genera una determinata sequenza di carico. Il trotto modifica frequenza e coordinazione. Il galoppo aumenta velocità, accelerazioni e oscillazioni del rachide.

Lo scheletro riceve quindi stimoli differenti in relazione all'andatura. La varietà motoria rappresenta anche una varietà di informazione meccanica.

L'osso conserva una memoria strutturale

La struttura osservata oggi riflette in parte le sollecitazioni ricevute in precedenza. Un soggetto attivo e un soggetto cronicamente inattivo non forniscono allo scheletro la stessa storia meccanica. Il movimento lascia quindi una traccia.

Anche la mancanza di movimento lascia una traccia.

Take home message

L'osso è un tessuto dinamico che adatta gradualmente la propria architettura alle sollecitazioni ricevute. Il movimento non utilizza soltanto lo scheletro: contribuisce anche a costruirlo, conservarlo e trasformarlo.



Fermati un attimo

Osserviamo normalmente l'osso come ciò che determina la forma del movimento. Il rapporto funziona però anche nella direzione opposta. Il modo in cui ci muoviamo contribuisce nel tempo a determinare la struttura dell'osso che ci permette di muoverci.

Messaggi chiave

- L'osso possiede una continua capacità di rimodellamento. La legge di Wolff collega architettura ossea e sollecitazioni meccaniche. Le trabecole si organizzano in relazione alle principali direzioni degli sforzi.
- Il carico fisiologico rappresenta uno stimolo necessario. Ipocarico e sovraccarico possono entrambi modificare negativamente la capacità. Muscoli, articolazioni e terreno contribuiscono alla risultante che raggiunge l'osso.
- Uomo e cane presentano storie di carico differenti. Le diverse andature producono stimoli meccanici differenti.



Capitolo 25 — Meccanotrasduzione e piezoelettricità

Dalla forza al segnale biologico

La sollecitazione meccanica non termina con la deformazione del tessuto. Le cellule possono rilevare una parte delle modificazioni meccaniche dell'ambiente circostante e trasformarle in risposte biochimiche. Questo processo viene definito meccanotrasduzione.

La forza diventa informazione biologica.

La matrice extracellulare rappresenta l'interfaccia

La cellula vive all'interno di una matrice. Quando la matrice viene deformata, cambiano le tensioni applicate alle strutture che collegano ambiente extracellulare, membrana e citoscheletro. La cellula può modificare di conseguenza metabolismo, espressione genica e produzione di matrice.

La biomeccanica entra direttamente nella biologia tissutale.

La piezoelettricità

La deformazione meccanica della matrice può associarsi a fenomeni piezoelettrici; il collagene possiede in particolare proprietà elettromeccaniche. Una deformazione può modificare localmente la distribuzione delle cariche. Il punto fondamentale consiste nel riconoscere che struttura meccanica e fenomeni elettrici microscopici possono interagire.

Il corpo non deve però essere ridotto a un semplice circuito elettrico.

Dalla legge di Wolff alla cellula

La legge di Wolff descrive un adattamento osservabile a livello macroscopico. La meccanotrasduzione aiuta a comprendere come lo stimolo meccanico possa raggiungere la scala cellulare. Le cellule percepiscono le deformazioni e modificano la propria attività. Il tessuto cambia progressivamente organizzazione; il risultato finale può diventare visibile nella struttura dell'osso.

Anche il collagene si orienta

Le nuove fibre collagene tendono a depositarsi secondo lo stress meccanico applicato. La matrice non è una struttura casuale: la sua organizzazione riflette in parte le sollecitazioni ricevute.

Il principio riguarda osso, fascia, tendini e numerosi altri tessuti connettivi.

Il tempo modifica il segnale

Una forza intensa applicata per un istante non equivale a una tensione moderata mantenuta a lungo. Una deformazione intermittente non equivale a una deformazione continua. La quarta dimensione modifica anche la risposta tissutale.

Il tessuto percepisce una storia di carico e non soltanto un valore istantaneo.

Il movimento possiede una firma biologica

Il passo produce una sequenza di deformazioni. Il trotto ne produce un'altra. Il galoppo ne produce un'altra ancora.



Anche l'immobilità genera una particolare condizione meccanica. Ogni comportamento motorio produce quindi una propria firma di stimoli tissutali.

Take home message

La meccanotrasduzione rappresenta il processo attraverso il quale le cellule trasformano le sollecitazioni meccaniche in risposte biologiche. Il movimento non produce soltanto spostamento e forza: produce informazione per i tessuti.

Fermati un attimo

Il piede tocca il terreno. Il tessuto si deforma. La matrice cambia tensione.

La cellula rileva questa variazione. Il movimento visibile continua quindi fino alla scala microscopica.

Messaggi chiave

- La meccanotrasduzione collega meccanica e biologia. La matrice extracellulare rappresenta un'importante interfaccia del processo. Il collagene possiede proprietà elettromeccaniche.
- fenomeni piezoelettrici associati alla deformazione della MEC. Il rimodellamento osseo offre un esempio macroscopico di adattamento al carico. Anche la matrice connettivale cambia organizzazione in risposta alle tensioni.
- Intensità, direzione, frequenza e durata modificano il significato dello stimolo.

Capitolo 26 — Psoas, diaframma e sistema viscerale

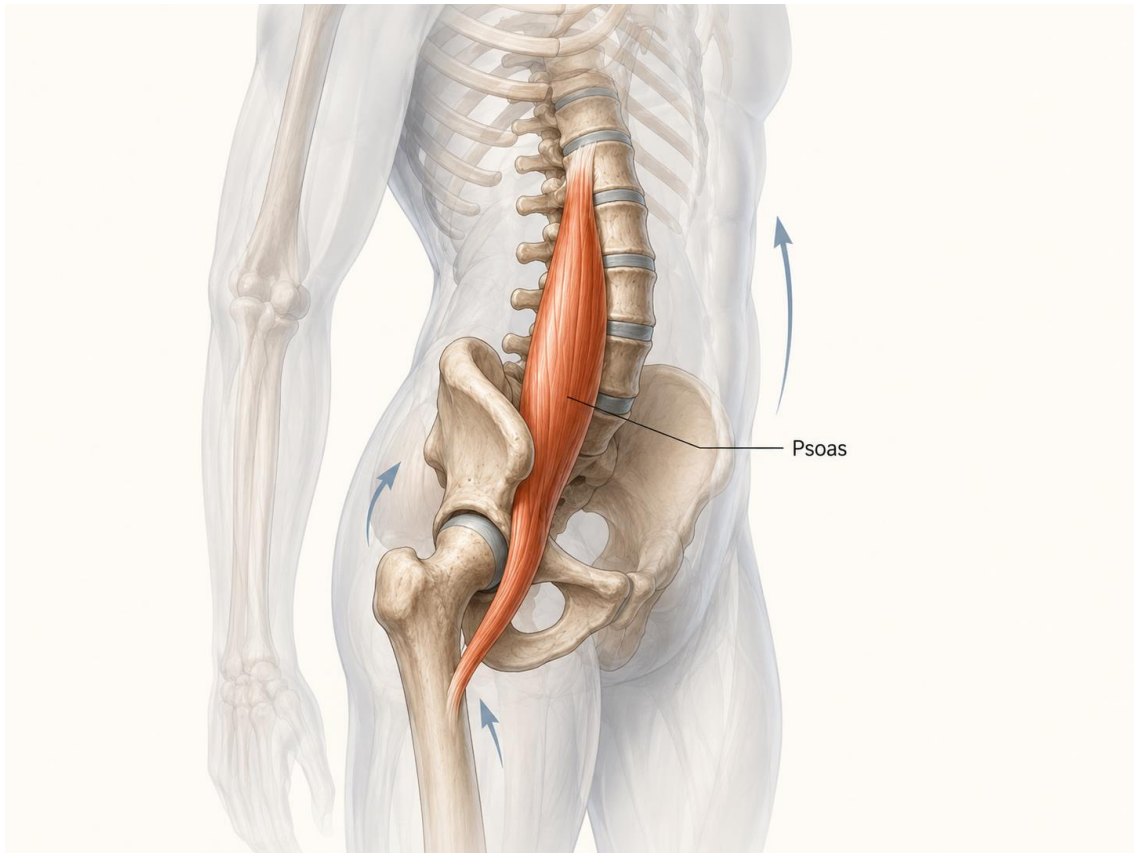
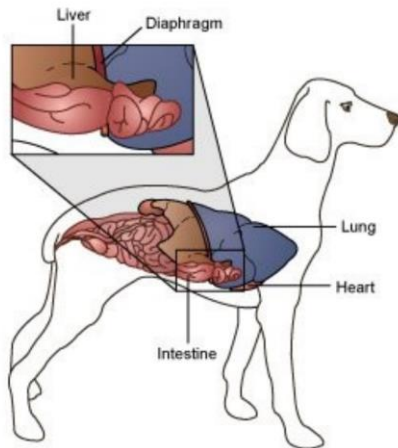
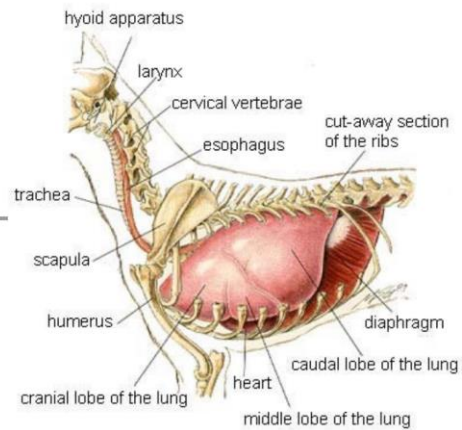


Figura — Illustrazione anatomica dello psoas e dei suoi rapporti con rachide, bacino e femore.

Diaframma



Used Under License
Copyright© Lifelearn Inc.

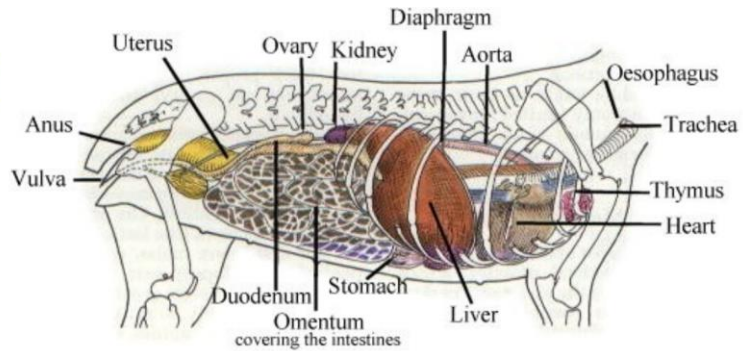
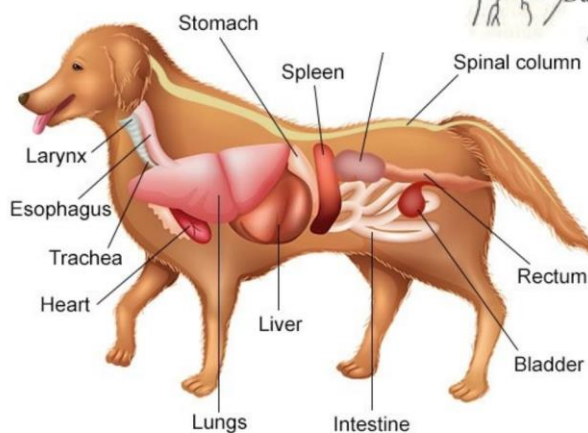


- Principale muscolo della respirazione in grado di influenzare postura e stato di organi addominali e toracici e di sistemi

Dr. Giovanni Chetta
www.giovannichetta.it

Figura — Il diaframma come muscolo respiratorio e posturale.

Organi interni



- Dotati di un movimento proprio, hanno sempre a che vedere con la Fascia

Dr. Giovanni Chetta
www.giovannichetta.it

Figura — Gli organi interni come comparto mobile in continuità con la fascia.



Il sistema locomotorio attraversa il tronco

Una biomeccanica limitata agli arti non può descrivere il movimento dell'intero organismo. Psoas, diaframma e sistema viscerale mostrano chiaramente come locomozione, postura e respirazione appartengano a una struttura continua; lo psoas svolge un ruolo posturale importante ed è in rapporto con diaframma, reni e intestino.

Il diaframma viene invece indicato come principale muscolo respiratorio capace di influenzare la postura e i rapporti con gli organi toracici e addominali.

Lo psoas collega rachide e arto

La posizione dello psoas permette una relazione funzionale tra regione lombare, bacino e femore. La sua attività può modificare sia il rachide sia l'arto. Nel cane tale posizione acquista particolare rilievo perché la regione lombare partecipa direttamente alla trasmissione della propulsione posteriore.

Lo psoas non lavora da solo

La funzione dello psoas dipende dall'anca, dalla posizione del bacino, dalla regione lombare, dalla respirazione e dalla pressione addominale.

La sua interpretazione come semplice flessore dell'anca è insufficiente.

Il diaframma modifica il tronco a ogni respiro

Il diaframma cambia posizione durante il ciclo respiratorio. Il volume toracico cambia. La pressione addominale cambia.

Le coste modificano la propria posizione. La colonna e la parete addominale devono adattarsi continuamente. La respirazione è una componente costante della biomeccanica del tronco.

Respirazione e locomozione avvengono contemporaneamente

Durante il movimento il corpo non sospende la respirazione. Quando aumenta l'intensità dell'attività, aumenta anche la richiesta ventilatoria. Il torace deve gestire simultaneamente movimento respiratorio e forze locomotorie.

Nel cane questa relazione diventa ancora più evidente perché le scapole scorrono sulla parete toracica.

Gli organi possiedono un proprio movimento

Gli organi interni possiedono un movimento proprio e mantengono una relazione costante con la fascia. La respirazione modifica la posizione relativa dei visceri mentre la locomozione accelera e decelera il tronco.

La postura modifica pressioni e tensioni. Anche il compartimento viscerale appartiene quindi alla dinamica globale.

La fascia viscerale permette sostegno e mobilità

Gli organi devono conservare rapporti anatomici sufficientemente stabili ma devono anche potersi muovere. La fascia viscerale contribuisce a conciliare queste esigenze.

Ritorna quindi lo stesso principio osservato in tutto il corpo: **stabilità senza immobilità**.



Take home message

Psoas, diaframma e sistema viscerale dimostrano che postura, respirazione e locomozione non possono essere interpretate come sistemi indipendenti. Il tronco rappresenta contemporaneamente struttura locomotoria, sistema respiratorio e contenitore dinamico degli organi.

Fermati un attimo

Il cane corre. Il rachide oscilla. Le scapole scorrono.

Il diaframma respira. Gli organi si muovono. Tutto avviene nello stesso corpo e nello stesso istante.

Messaggi chiave

- Lo psoas collega regione lombare, bacino e arto e svolge un importante ruolo posturale. Il diaframma modifica continuamente la biomeccanica del tronco.
- Respirazione e locomozione si sovrappongono. Gli organi interni possiedono mobilità. La fascia viscerale contribuisce alla relazione tra sostegno e movimento.
- La funzione globale deriva dall'integrazione dei sistemi.

PARTE VII — QUANDO IL SISTEMA PERDE EFFICIENZA

Capitolo 27 — Degenerazione miofasciale



Figura — Possibile progressione dalla retrazione miofasciale alla fibrosi.

L'adattamento può diventare limitazione

La fascia possiede una grande capacità di adattamento. Questa caratteristica permette al sistema di rispondere alle sollecitazioni e di modificare nel tempo la propria organizzazione. La stessa capacità può però diventare sfavorevole quando il corpo viene esposto a lungo a tensioni anomale, ridotta variabilità o deficit di movimento.

Una possibile progressione comprende ipertonia muscolare cronica, stato infiammatorio, stasi, iponutrizione tissutale, retrazione miofasciale, aderenze e fibrosi; si tratta di un modello interpretativo e non di un percorso obbligatorio.

L'ipertonia può iniziare come protezione

Un aumento della tensione muscolare può essere utile quando il sistema deve proteggere una regione. La co-contrazione riduce alcuni gradi di libertà. Il movimento diventa più prevedibile.

La stabilità immediata aumenta. Se la strategia persiste, il prezzo biomeccanico può però aumentare.



La riduzione del movimento modifica il tessuto

Una regione che si muove poco modifica progressivamente la propria storia meccanica. Il collagene sottoposto a tensioni prolungate cambia orientamento; un deficit protratto del movimento può favorire un accorciamento adattativo. Il corpo si adatta anche alla riduzione della libertà.

Le aderenze riducono lo scorrimento

I piani fasciali devono poter modificare reciprocamente la propria posizione. Quando lo scorrimento diminuisce, una regione può trascinare maggiormente quelle vicine. La distribuzione delle tensioni cambia.

Le rotazioni vengono trasferite in modo differente. Il costo del movimento aumenta.

La fibrosi rappresenta un cambiamento strutturale

Una variazione temporanea del tono può essere rapidamente reversibile. Una modificazione fibrotica appartiene invece alla struttura del tessuto. La distinzione è importante perché trattamento e tempi di adattamento cambiano profondamente.

La biomeccanica deve distinguere tra strategia funzionale e alterazione strutturale.

Take home message

La fascia è adattabile e questa proprietà rappresenta contemporaneamente una risorsa e un possibile limite. Una compensazione ripetuta abbastanza a lungo può diventare parte della struttura che il corpo utilizza ogni giorno.

Fermati un attimo

Il corpo può utilizzare una strategia protettiva per superare un problema. Se la strategia rimane per mesi, il tessuto può cominciare ad adattarsi proprio a quella soluzione.

Messaggi chiave

- La degenerazione miofasciale rappresenta un processo progressivo possibile. L'ipertonía può iniziare come strategia protettiva. La persistenza modifica la storia meccanica dei tessuti.
- Il collagene risponde alle tensioni prolungate. Le aderenze riducono lo scorrimento fasciale. Le retrazioni modificano l'intero circuito.
- La fibrosi rappresenta una modificazione strutturale più profonda.



Capitolo 28 — Immobilità, ipocarico e sovraccarico

Il movimento deve possedere una dose

Il corpo necessita di movimento ma non di una quantità illimitata di movimento. Il tessuto deve ricevere uno stimolo compatibile con la propria capacità. L'immobilità riduce lo stimolo.

Il sovraccarico supera la capacità. L'adattamento efficace si colloca tra questi due estremi.

L'ipocarico modifica il sistema

Un tessuto poco utilizzato riceve meno informazioni meccaniche. Il muscolo riduce la richiesta funzionale. L'osso riceve meno deformazioni.

Il sistema nervoso utilizza meno frequentemente alcuni pattern. La matrice extracellulare riceve una storia diversa di tensioni. La riduzione del movimento modifica contemporaneamente più livelli del sistema.

La protezione può diventare decondizionamento

Dopo una lesione può essere necessario ridurre temporaneamente il carico. La riduzione non dovrebbe però essere confusa con una soluzione definitiva. Se il sistema rimane troppo a lungo protetto, la sua capacità può diminuire.

La richiesta che inizialmente era tollerabile può diventare eccessiva.

Il sovraccarico dipende dal rapporto tra richiesta e capacità

Un'attività non è eccessiva in senso assoluto. La stessa attività può essere modesta per un soggetto allenato e molto intensa per un soggetto inattivo. La capacità precedente modifica quindi il significato dello stimolo.

Il carico inconsueto può superare temporaneamente la capacità

Un'attività nuova o molto più intensa di quella abituale può produrre una risposta transitoria anche quando il gesto, in assoluto, non è eccezionale. Questo principio mostra quanto il significato del carico dipenda dalla preparazione precedente del tessuto.

Il DOMS viene approfondito nel capitolo successivo dedicato a dolore e movimento; qui interessa soltanto come esempio del rapporto tra novità dello stimolo, dose di carico e capacità di recupero.

La progressione consente l'adattamento

Un carico leggermente superiore alla capacità abituale può fornire uno stimolo. Il recupero permette l'adattamento. Un nuovo incremento può essere tollerato.

La progressione costruisce capacità. Un aumento troppo rapido può invece superarla.

La variabilità distribuisce le sollecitazioni

Un corpo che ripete sempre lo stesso gesto carica ripetutamente le stesse regioni in modo simile. Il terreno variabile modifica invece angoli e direzioni. Le velocità differenti modificano i vettori.

I cambi di direzione modificano le torsioni. La varietà costituisce anche una strategia di distribuzione del carico.



Take home message

L'organismo necessita di una quantità appropriata di stimolo meccanico. L'ipocarico riduce nel tempo la capacità mentre il sovraccarico può superarla; l'adattamento nasce dal rapporto corretto tra stimolo e recupero.

Fermati un attimo

Non esiste un esercizio universalmente leggero oppure pesante. Esiste un esercizio rapportato alla capacità attuale del soggetto.

Messaggi chiave

- L'immobilità non è una condizione neutra. L'ipocarico riduce lo stimolo biologico. Una protezione prolungata può favorire decondizionamento.
- Il sovraccarico dipende dal rapporto tra richiesta e capacità. Il DOMS mostra l'importanza dell'abitudine precedente allo stimolo. La progressione consente l'adattamento.
- La variabilità distribuisce maggiormente le sollecitazioni.



Capitolo 29 — Dolore e movimento

Il dolore modifica la biomeccanica

Il dolore non è soltanto una sensazione aggiunta a un movimento invariato. Quando compare dolore, il sistema modifica spesso la propria strategia. Il carico viene spostato.

Il tono muscolare cambia. La velocità diminuisce. La traiettoria cambia.

Il circuito locomotorio viene riorganizzato.

La protezione è inizialmente utile

Una strategia antalgica può ridurre temporaneamente il carico sulla regione sensibile. Questa risposta possiede un significato protettivo. Il problema compare quando il pattern rimane anche dopo che la situazione originaria è cambiata.

Una compensazione può diventare parte del problema.

La fascia appartiene anche al sistema sensoriale

La fascia contiene numerosi recettori interstiziali, potenzialmente coinvolti nella propriocezione e nelle sindromi dolorose. La fascia non è soltanto una rete meccanica: contribuisce anche all'informazione che il sistema nervoso riceve dai tessuti.

Il DOMS chiarisce un equivoco storico

Il dolore tardivo dopo esercizio non deriva dall'accumulo persistente di acido lattico; la sintomatologia viene invece collegata a danno ultrastrutturale, processo infiammatorio e sensibilizzazione dei nocicettori. Il dolore deve essere interpretato attraverso processi biologici più complessi.

Un dolore locale modifica un sistema globale

Un cane che scarica un arto deve distribuire il peso sugli altri. Il bacino cambia comportamento. La cintura scapolare può cambiare tensione.

Il rachide può modificare le oscillazioni. La testa può contribuire allo spostamento del centro di massa. Il problema locale modifica l'intero sistema.

Il sito doloroso e l'origine biomeccanica non coincidono necessariamente

Una regione può diventare sintomatica perché sta compensando una limitazione presente altrove. La valutazione deve quindi osservare il circuito completo. Questo principio non autorizza a ignorare il tessuto doloroso.

Impone piuttosto di non considerarlo automaticamente come unica origine del problema.

Recuperare il movimento senza forzarlo

Quando le condizioni cliniche lo consentono, un recupero graduale della funzione permette di ricostruire capacità. L'obiettivo non consiste nel forzare il soggetto attraverso il dolore: consiste nel ricostruire progressivamente movimento, fiducia, controllo e tolleranza al carico.



Le Guide Love Your Life

Take home message

Il dolore modifica l'intero comportamento motorio. La domanda non deve essere soltanto "dove fa male?" ma anche "come si è riorganizzato l'intero corpo per evitare quel dolore?".

Fermati un attimo

Un cane riduce il carico su una zampa. Le altre tre cambiano immediatamente funzione. Il problema locale è già diventato globale.

Messaggi chiave

- Il dolore modifica il movimento. Una compensazione può iniziare come risposta protettiva. La fascia possiede anche un'importante componente sensoriale.
- Il DOMS non deriva dalla permanenza dell'acido lattico. Il dolore locale produce adattamenti globali. Il sito sintomatico non coincide necessariamente con l'unico problema biomeccanico.
- Il recupero deve ricostruire progressivamente la funzione.

PARTE VIII — RECUPERARE LA FUNZIONE

Capitolo 30 — Allenare il movimento e non soltanto i muscoli

Allenare forza e resistenza non basta



**Padronanza del corpo
→ della mente**

Occorre sviluppare anche
abilità motorie:
coordinazione motoria,
equilibrio, propriocezione.



www.giovannichetta.it

Figura — Oltre forza e resistenza: coordinazione, equilibrio e propriocezione.

La forza da sola non costruisce competenza

Il principio è chiaro: allenare forza e resistenza non basta perché devono essere sviluppate anche coordinazione, equilibrio e propriocezione. Questa conclusione deriva direttamente dalla biomeccanica sistemica: il corpo non utilizza i muscoli separatamente; utilizza pattern coordinati.

Una forza non coordinata può essere sprecata

Un muscolo può produrre molta tensione. La tensione deve però comparire nel momento appropriato, possedere un'intensità adeguata e integrarsi con le altre strutture.

La forza utile è forza organizzata nel tempo.

La resistenza deve conservare la qualità del gesto

Un soggetto può continuare l'attività per molto tempo e contemporaneamente peggiorare la propria coordinazione. La fatica modifica il timing, le compensazioni e la rigidità. La resistenza funzionale deve permettere di mantenere una buona qualità motoria.



Coordinazione significa organizzare la sequenza

La coordinazione non riguarda soltanto quali muscoli si attivano ma anche quando si attivano. Una sequenza corretta eseguita con timing sbagliato diventa inefficiente.

La coordinazione appartiene pienamente alla dimensione 4D.

Equilibrio significa adattarsi alle perturbazioni

Un esercizio di equilibrio non deve insegnare semplicemente a rimanere immobili: deve migliorare la capacità di reagire alle variazioni. Il terreno cambia.

La direzione cambia. Il centro di massa cambia. Il sistema deve mantenere controllo senza irrigidirsi.

Propriocezione e competenza

La propriocezione permette al sistema nervoso di conoscere costantemente la configurazione corporea. Variare superfici, direzioni e compiti modifica l'informazione ricevuta. Il corpo costruisce una rappresentazione più ricca delle proprie possibilità motorie.

Take home message

L'allenamento efficace deve integrare forza, resistenza, mobilità, equilibrio, propriocezione e coordinazione. Il corpo non deve soltanto essere capace di produrre forza: deve sapere come utilizzarla.

Fermati un attimo

Un motore potente non garantisce una traiettoria efficace: è necessario anche un sistema capace di guidare quella potenza.

Messaggi chiave

- forza e resistenza non bastano. La forza deve essere organizzata nel tempo. La fatica può ridurre la qualità del gesto.
- La coordinazione dipende dal timing. L'equilibrio deve essere dinamico. La propriocezione sostiene l'adattamento.
- L'abilità emerge dall'integrazione.

Capitolo 31 — Stretching e mobilità



Stretching

- **Stretching Distrettuale** allungamento del singolo distretto miofasciale, OK per problematiche localizzate, NO per quelle posturali in cui occorre lo stretching globale)
- **Stretching Globale** allungamento di un'intera catena miofasciale
- **ArthroFascial Stretching (AFS)** allungamento di capsule e legamenti articolari
- **Stretching P.N.F.**

www.giovannichetta.it

Figura — Principali modalità di stretching e mobilità.

Allungare non significa semplicemente aumentare la lunghezza

Le principali modalità considerate sono stretching distrettuale, stretching globale, ArthroFascial Stretching e PNF. Le differenti tecniche perseguono obiettivi differenti. Un problema locale non deve essere affrontato necessariamente nello stesso modo di una restrizione che coinvolge un'intera catena.

Lo stretching coinvolge il sistema miofasciale

Un allungamento modifica muscolo e tessuto connettivo. Lo stretching passivo determina deformazione elastica delle fibre muscolari ed elongazione del connettivo. Il tempo di applicazione ha un ruolo importante.

La viscoelasticità cambia la risposta

Il collagene non si comporta come una molla perfetta. La risposta dipende dal tempo. La natura viscoelastica del tessuto spiega perché una postura fissa prolungata possa diventare problematica.

La mobilità deve essere interpretata anche attraverso la dimensione temporale.

Il PNF aggiunge la componente attiva

Il PNF utilizza una sequenza di allungamento, contrazione isometrica, rilassamento e nuovo allungamento. La tecnica mostra che mobilità e controllo neuromuscolare possono essere allenati insieme.



La mobilità deve essere utilizzabile

Aumentare il range passivo non garantisce automaticamente una funzione migliore. Il sistema deve saper controllare il nuovo intervallo, generare forza e possedere propriocezione.

La mobilità utile è una mobilità integrata.

Take home message

Stretching e mobilità devono essere adattati al problema e integrati con il controllo motorio. Il range disponibile acquista valore soltanto quando il sistema sa utilizzarlo.

Fermati un attimo

Guadagnare mobilità senza controllo significa aumentare uno spazio nel quale il corpo non sa ancora muoversi bene.

Messaggi chiave

- Esistono differenti forme di stretching. Muscolo e connettivo partecipano all'allungamento. La risposta dipende anche dalla durata dello stimolo.
- Il PNF integra una componente attiva. Mobilità articolare e fasciale devono essere considerate insieme. Il massimo range non coincide necessariamente con la migliore funzione.
- La mobilità deve essere accompagnata dal controllo.

Capitolo 32 — Il lavoro in acqua

Il lavoro in acqua

- + Esterocezione, - Propriocezione (ridefinizione dei confini corporei)
- Lavoro aerobico (di resistenza) / anaerobico (di forza)
- Ginnastica respiratoria
- Rigenerazione articolare
- Aumento soglia del dolore
- Drenaggio



www.giovannichetta.it

Figura — Il lavoro in acqua come ambiente biomeccanico specifico.

L'acqua modifica l'ambiente biomeccanico

Il lavoro in acqua produce effetti differenti: variazione dell'esterocezione e della propriocezione, lavoro aerobico e anaerobico, coinvolgimento respiratorio, effetti articolari, aumento della soglia del dolore e drenaggio. Il lavoro acquatico non è semplicemente lo stesso esercizio eseguito con meno peso: l'ambiente cambia le forze e le informazioni.

La spinta idrostatica modifica il carico

L'immersione riduce il peso apparente. Le articolazioni possono quindi muoversi in condizioni differenti rispetto alla terraferma. Questa caratteristica può essere utile quando il normale carico gravitazionale è temporaneamente eccessivo.

L'acqua oppone resistenza

Il movimento nell'acqua deve spostare una massa di fluido e incontra quindi una resistenza idrodinamica che cresce rapidamente con la velocità. Nei regimi tipici del movimento corporeo in acqua, la forza resistente può essere approssimata come proporzionale al quadrato della velocità ($F \propto v^2$): se la velocità raddoppia, la resistenza può diventare circa quattro volte maggiore; se la velocità triplica, può diventare circa nove volte maggiore.

Questa proprietà amplifica lo stimolo allenante quando il gesto viene eseguito più rapidamente, senza richiedere necessariamente grandi carichi esterni. Al contrario, un movimento lento incontra una resistenza



molto inferiore e può essere eseguito con maggiore controllo, caratteristica particolarmente utile nella riabilitazione. L'acqua possiede un effetto in parte autoregolante: aumentando la velocità aumenta rapidamente anche l'opposizione del mezzo, mentre riducendo la velocità diventa possibile lavorare con gesti più graduali e controllati.

L'informazione sensoriale cambia

L'acqua aumenta la stimolazione esterocettiva e modifica le informazioni relative ai confini corporei. L'acqua avvolge il corpo. Il sistema nervoso riceve stimoli distribuiti su una superficie molto più ampia.

Respirare nell'acqua modifica il compito

La pressione esterna agisce anche sulla parete toracica. La respirazione deve adattarsi. Il lavoro acquatico coinvolge contemporaneamente sistema locomotorio e respiratorio.

L'acqua non sostituisce la terraferma

Il movimento terrestre richiede attrito, reazioni del terreno e strategie specifiche di appoggio. L'acqua riduce o modifica questi elementi. Il lavoro acquatico può quindi rappresentare uno strumento complementare.

Il ritorno alla funzione terrestre richiede però anche una progressiva ri-esposizione alle forze terrestri.

Take home message

L'acqua modifica carico, resistenza e informazione sensoriale; inoltre la resistenza idrodinamica cresce approssimativamente con il quadrato della velocità, consentendo sia un intenso stimolo allenante sia movimenti lenti e controllati utili nella riabilitazione. Il lavoro acquatico rappresenta un ambiente biomeccanico specifico e non una semplice versione facilitata del movimento terrestre.

Fermati un attimo

Lo stesso arto che si muove in aria, sulla terra o nell'acqua deve risolvere tre problemi meccanici differenti.

Messaggi chiave

- L'acqua modifica il peso apparente. La resistenza idrodinamica cresce rapidamente con la velocità e, in condizioni appropriate, può essere approssimata come proporzionale a v^2 . Se la velocità raddoppia, la resistenza può diventare approssimativamente quattro volte maggiore.

L'aumento della velocità amplifica lo stimolo allenante mentre la riduzione della velocità favorisce un movimento più controllato. L'ambiente sensoriale cambia. La respirazione viene coinvolta.

- Le articolazioni lavorano con carichi differenti. La possibilità di eseguire movimenti lenti con resistenza contenuta rende il lavoro acquatico particolarmente utile in molte fasi della riabilitazione. La funzione terrestre deve comunque essere recuperata sulla terra.



Capitolo 33 — Dalla biomeccanica all'abilità

La funzione deve diventare competenza

La biomeccanica descrive come il corpo può muoversi. L'abilità descrive quanto bene il soggetto riesce a utilizzare tali possibilità per raggiungere un obiettivo. Muscoli forti e articolazioni mobili non garantiscono automaticamente una buona abilità.

Il sistema deve integrare le proprie risorse.

L'abilità richiede scelta

Un terreno variabile impone decisioni motorie continue. Il cane deve modificare la lunghezza del passo, spostare il centro di massa, cambiare rigidità e scegliere dove appoggiare la zampa. La competenza consiste nella capacità di trovare rapidamente una soluzione adeguata.

La variabilità diventa una risorsa

Un soggetto esperto non ripete sempre un gesto identico ma conserva l'obiettivo modificando leggermente la strategia. Questa variabilità permette di adattarsi all'ambiente e di distribuire le sollecitazioni.

Movimento e apprendimento

Movimento e apprendimento si collegano in una sequenza che comprende azione, rappresentazione mentale e attività cognitiva. L'esperienza motoria modifica anche la rappresentazione interna del corpo. Allenare un'abilità significa allenare contemporaneamente tessuti, sistema nervoso e capacità decisionale.

Padronanza del corpo

Lo sviluppo di coordinazione, equilibrio e propriocezione contribuisce alla padronanza del corpo. Questa espressione può essere interpretata come capacità di disporre di più soluzioni e di scegliere quella più efficace.

Take home message

L'abilità nasce quando biomeccanica e controllo nervoso diventano una competenza adattativa. Muoversi bene non significa ripetere sempre lo stesso gesto: significa trovare in modo continuo il gesto appropriato.

Fermati un attimo

La perfezione di un movimento non si misura soltanto quando tutto è prevedibile. La vera competenza appare quando qualcosa cambia.

Messaggi chiave

- L'abilità integra struttura e controllo. La competenza richiede scelta motoria. La variabilità fisiologica è una risorsa.
- L'esperienza modifica la rappresentazione corporea. Coordinazione, equilibrio e propriocezione sono componenti dell'abilità. Un movimento competente deve adattarsi al contesto.

PARTE IX — IL SISTEMA CANE-UOMO

Capitolo 34 — Due corpi che si muovono insieme



L'Essenza della Cinofilia



www.giovannichetta.it

Emiliana Cirelli doce
che tradotto in
termini biofisici
significa:
innescare,
mantenere,
alimentare,
l'entanglement
cane – conduttore,
grazie a talento e/o
consapevolezza

Figura — Relazione cane-conduttore e accoppiamento percettivo-motorio.

La biomeccanica non termina ai confini del cane

Molte attività cinofile coinvolgono contemporaneamente cane e conduttore. Entrambi camminano. Entrambi cambiano velocità.

Entrambi modificano direzione. Entrambi osservano l'altro. Il movimento dell'uno diventa parte dell'ambiente percettivo dell'altro.

Entanglement percettivo

Nella parte conclusiva utilizziamo l'espressione "entanglement cane-conduttore" per descrivere una relazione particolarmente profonda. In una trattazione biomeccanica il termine non deve essere interpretato solo come un fenomeno di entanglement quantistico. La lettura più appropriata riguarda un accoppiamento percettivo-motorio nel quale i due soggetti modificano reciprocamente le proprie azioni.

Ognuno diventa parte dell'ambiente dell'altro

Il cane rileva posizione, ritmo e orientamento del conduttore. Il conduttore rileva contemporaneamente posizione e comportamento del cane. Una variazione produce una risposta.

La risposta diventa un nuovo segnale. Il sistema procede quindi attraverso un circuito continuo.



La sincronizzazione non richiede movimenti identici

Il cane è quadrupede. L'uomo è bipede. I due corpi non possono produrre la stessa cinematica.

I due corpi possono però mantenere una relazione temporale compatibile. La sincronizzazione consiste nell'organizzazione reciproca di movimenti differenti.

Il ritmo diventa una variabile condivisa

Un'accelerazione del conduttore modifica il ritmo richiesto al cane. Una decelerazione modifica la funzione degli arti anteriori. Una curva modifica la distribuzione laterale delle forze.

La relazione possiede una vera struttura biomeccanica 4D.

Take home message

Cane e conduttore possono essere interpretati come due sistemi autonomi che costruiscono un accoppiamento percettivo-motorio. Il movimento di ciascuno diventa informazione per l'altro.

Fermati un attimo

Due corpi possono avere anatomie completamente differenti e riuscire comunque a muoversi come un sistema coordinato. La coordinazione nasce dal tempo condiviso e non dalla forma identica.

Messaggi chiave

- Cane e conduttore formano un sistema interattivo. Il movimento dell'uno modifica il comportamento dell'altro. Le due biomeccaniche rimangono differenti.
- La sincronizzazione riguarda soprattutto spazio e tempo. Il ritmo diventa una variabile condivisa. L'espressione entanglement viene interpretata anche metaforicamente.
- Il concetto biomeccanico appropriato è quello di accoppiamento percettivo-motorio.



Capitolo 35 — Il conduttore modifica il movimento del cane

Il corpo del conduttore rappresenta un segnale

Il cane non risponde soltanto alle parole. La postura del conduttore fornisce informazioni. La direzione fornisce informazioni.

La velocità fornisce informazioni. La posizione delle spalle e del bacino fornisce informazioni. Il cane deve interpretare continuamente questi segnali mentre si muove.

Una accelerazione cambia il problema biomeccanico

Quando il conduttore accelera, il cane deve modificare la propria locomozione: può aumentare la frequenza, la lunghezza del passo o cambiare andatura. Il sistema posteriore deve produrre maggiore propulsione; l'intero circuito cambia.

Una frenata modifica soprattutto il controllo

Quando il conduttore rallenta, il cane deve ridurre la propria velocità. Gli arti anteriori aumentano la funzione di controllo. Il baricentro cambia traiettoria.

La cintura scapolare modifica la gestione del carico. La relazione umana diventa una variabile direttamente biomeccanica.

Le curve modificano la simmetria

Quando il conduttore cambia direzione, il cane deve seguire una traiettoria differente. Gli arti interni ed esterni alla curva ricevono richieste differenti. Il rachide ruota.

La testa orienta. La posizione relativa deve essere ricostruita durante il movimento.

La tecnica del conduttore conta

Un conduttore irregolare produce informazioni difficili da prevedere. Il cane deve effettuare più correzioni. Un conduttore coordinato produce invece segnali più chiari.

La qualità del movimento umano modifica quindi direttamente la qualità del movimento canino.

Take home message

Il conduttore è una componente biomeccanica dell'esercizio condiviso. Per migliorare il movimento del cane occorre spesso migliorare anche il movimento dell'uomo che gli cammina accanto.

Fermati un attimo

Se il cane sbaglia sempre nello stesso punto dell'esercizio, osservare soltanto il cane significa analizzare soltanto metà del sistema.

Messaggi chiave

- Il corpo del conduttore comunica continuamente. Accelerazione e decelerazione modificano la locomozione del cane. Le curve modificano la distribuzione delle forze.



Le Guide Love Your Life

- La relazione laterale introduce un'asimmetria funzionale. Un conduttore irregolare aumenta la richiesta di correzione. La tecnica umana appartiene alla biomeccanica del lavoro cinofilo.

Capitolo 36 — Heelwork come sistema biomeccanico accoppiato

Un'applicazione dei principi sviluppati

Questo capitolo applica quindi al lavoro di condotta i principi biomeccanici costruiti nei capitoli precedenti. Nell'heelwork cane e conduttore devono mantenere una precisa relazione spaziale mentre entrambi continuano a oscillare e avanzare.

La relazione è geometrica e temporale

La posizione relativa stabilisce una distanza, un orientamento e la relazione tra la spalla del cane e l'arto inferiore del conduttore.

La precisione richiede che questa geometria venga conservata durante un movimento costantemente variabile.

Il cane non deve diventare rigido

Una posizione precisa non dovrebbe essere ottenuta bloccando il cane. La rigidità ridurrebbe la capacità di adattamento. Il cane deve mantenere la posizione modificando in modo continuo lunghezza del passo, ritmo e rotazioni.

La precisione dovrebbe quindi emergere dalla coordinazione.

Lo sguardo modifica la regione cervicale

Quando il cane rivolge lo sguardo verso il conduttore, il collo modifica la propria configurazione. Questa variazione influenza le tensioni cervicali e scapolari. Una posizione richiesta per tempi prolungati deve essere valutata anche dal punto di vista biomeccanico.

L'orientamento non dovrebbe trasformarsi in una torsione rigida di tutto il corpo.

Il conduttore guarda avanti

Un conduttore capace di conservare il proprio orientamento e la propria traiettoria senza controllare continuamente il cane con lo sguardo fornisce un riferimento più stabile. Il cane può così imparare a mantenere la relazione attraverso la lettura del corpo e del movimento. La sincronizzazione diventa progressivamente più raffinata.

La curva interna e quella esterna richiedono strategie differenti

Nella curva interna il cane percorre una distanza minore. Nella curva esterna percorre una distanza maggiore. La frequenza oppure la lunghezza del passo devono cambiare.

La posizione relativa rimane corretta proprio perché i due soggetti non eseguono esattamente lo stesso movimento.

Take home message

L'heelwork può essere interpretato come un sistema biomeccanico accoppiato nel quale due corpi differenti devono mantenere una relazione spaziale comune. La precisione nasce dall'adattamento continuo e non dalla rigidità.



Le Guide Love Your Life

Fermati un attimo

In curva il cane e il conduttore percorrono due archi differenti. Per rimanere insieme devono quindi muoversi in modo diverso. La sincronizzazione richiede differenze coordinate.

Messaggi chiave

- Il capitolo applica i principi generali della guida. L'heelwork richiede una geometria condivisa.
- La precisione deve essere dinamica. Lo sguardo del cane modifica la configurazione cervicale. Il conduttore rappresenta un riferimento motorio.
- Le curve richiedono adattamenti differenti. La sincronizzazione dipende soprattutto dal timing.



Capitolo 37 — Movimento, relazione e comunicazione

Il corpo comunica continuamente

La comunicazione cane-uomo non utilizza soltanto segnali verbali. La postura comunica. La direzione comunica.

La velocità comunica. La distanza comunica. Il tono corporeo comunica.

Il cane legge continuamente queste informazioni mentre il conduttore legge quelle prodotte dal cane.

Il movimento può precedere il comando

Il corpo può iniziare a preparare un'azione prima che il segnale verbale venga completato. Una rotazione delle spalle può anticipare una curva. Uno spostamento del peso può anticipare una partenza.

Una decelerazione può anticipare una fermata. Il cane può imparare a riconoscere queste anticipazioni.

La comunicazione diventa predittiva

Quando i segnali sono coerenti, il cane può prevedere con maggiore precisione ciò che sta per accadere. La risposta diventa più fluida. Le correzioni diminuiscono.

Il costo motorio dell'interazione si riduce. Una comunicazione migliore può produrre anche una biomeccanica migliore.

Consapevolezza del conduttore

Il percorso si conclude collegando la relazione cane-conduttore a talento e consapevolezza. Sul piano biomeccanico la consapevolezza significa anche riconoscere il proprio corpo come sorgente di segnali. Un movimento involontario può contraddire un comando volontario.

Il conduttore deve imparare anche a controllare la propria comunicazione corporea.

Dal comando alla cooperazione

Nelle fasi iniziali dell'apprendimento il segnale può essere evidente. Con l'esperienza i due soggetti possono riconoscere segnali sempre più piccoli. La relazione diventa gradualmente meno dipendente da correzioni ampie.

Il movimento condiviso assume maggiore continuità.

Take home message

La comunicazione tra cane e uomo possiede una componente motoria costante. Prima ancora delle parole, il corpo comunica attraverso spazio, ritmo, orientamento e preparazione del movimento.

Fermati un attimo

Il conduttore può pensare di non avere ancora dato alcun comando. Il suo corpo potrebbe averlo già fatto.

Messaggi chiave

- Il movimento rappresenta un canale comunicativo. Postura e orientamento producono informazioni. Il corpo può anticipare il segnale verbale.



Le Guide Love Your Life

- La coerenza permette al cane di prevedere meglio; una previsione più affidabile riduce le correzioni. La consapevolezza comprende anche il controllo del proprio linguaggio corporeo.
- La relazione evoluta deriva da un apprendimento reciproco.

CONCLUSIONE — Due architetture, un medesimo principio

Uomo e cane affrontano lo stesso ambiente fisico attraverso due architetture profondamente differenti. Entrambi vivono nel campo gravitazionale, interagiscono con il terreno e devono produrre, ricevere, assorbire, trasformare e controllare forze.

La soluzione anatomica è però differente: l'uomo utilizza una locomozione bipede organizzata attorno a una struttura prevalentemente verticale.

Il cane utilizza una locomozione quadrupede organizzata attorno a un rachide prevalentemente orizzontale. Questa differenza modifica l'intero sistema. Nell'uomo il piede rappresenta una struttura altamente articolata che concentra una parte importante dell'adattamento tridimensionale e della trasformazione elicoidale.

Nel cane la zampa mantiene una struttura relativamente più compatta mentre la torsione viene maggiormente distribuita lungo arti, bacino e rachide. L'elica, nel cane, non scompare: viene distribuita in modo differente.

Posteriormente il cane utilizza un bacino collegato osseamente al rachide. Questa configurazione permette una trasmissione relativamente diretta della componente propulsiva. Anteriormente il cane utilizza invece una scapola sospesa attraverso muscoli e fasce.

Questa soluzione consente scorrimento, assorbimento, stabilizzazione e modulazione delle rotazioni. Il cane dispone così di due strategie biomeccaniche differenti all'interno dello stesso organismo, integrate dal rachide.

Lo Spine Engine offre un modello utile per interpretare il rachide come componente attiva della locomozione. Gli arti non lavorano sopra un tronco passivo: il bacino ruota, il rachide oscilla, la fascia toracolombare modifica la propria tensione e la cintura scapolare scorre.

Il collo stabilizza e orienta la testa. La locomozione emerge dalla cooperazione dell'intero sistema. Anche il modello di tensegrità contribuisce a questa lettura.

La stabilità non richiede necessariamente strutture rigide. Ossa, muscoli e fascia distribuiscono costantemente tensioni e compressioni. La forma può cambiare senza perdere la continuità.

La stabilità biologica è dinamica. Lo stesso principio vale per la postura, che non coincide con l'immobilità.

Il corpo respira, il centro di massa oscilla, le pressioni sugli appoggi e il tono muscolare cambiano. La postura è una dinamica di piccola ampiezza; la sua qualità dipende anche dalla capacità di cambiare.

Una posizione non deve essere valutata soltanto in base alla sua geometria. Occorre considerare durata, reversibilità, adattabilità e funzione. La quarta dimensione attraversa tutta la biomeccanica.

Non basta sapere dove si trova un segmento: occorre sapere quando si trova in quella posizione. Non basta misurare una rotazione: occorre conoscere la fase in cui essa compare. Non basta misurare una forza: occorre sapere per quanto tempo viene applicata e con quale velocità cambia.

La coordinazione è geometria organizzata nel tempo. La stessa logica raggiunge i tessuti. L'osso modifica la propria architettura in relazione alla storia del carico.

Il collagene modifica nel tempo la propria organizzazione. La matrice extracellulare trasmette deformazioni. Le cellule interpretano una parte di queste deformazioni attraverso la meccanotrasduzione.

Il movimento lascia una traccia biologica, così come l'immobilità e il sovraccarico.



Il corpo presente reca anche la storia delle forze che ha ricevuto. Questa prospettiva modifica il concetto di allenamento. Forza e resistenza sono importanti ma non bastano.

Il sistema deve coordinare, percepire, mantenere l'equilibrio, possedere una mobilità controllabile e saper cambiare strategia. La vera abilità non consiste nella ripetizione perfetta di un gesto identico.

La vera abilità consiste nel mantenere l'obiettivo anche quando il contesto cambia. Il principio diventa ancora più evidente quando cane e uomo si muovono insieme, pur conservando biomeccaniche differenti.

I due soggetti possono però costruire un ritmo comune: il cane legge il conduttore e il conduttore legge il cane.

Il movimento dell'uno modifica il movimento dell'altro. Nasce così un accoppiamento percettivo-motorio nel quale la relazione cane-conduttore e la consapevolezza corporea hanno un ruolo centrale.

La relazione può essere letta anche sul piano biomeccanico. Un movimento umano più coerente è più leggibile; questa maggiore leggibilità facilita l'anticipazione, riduce le correzioni e rende il gesto più fluido. La fluidità favorisce la relazione.

Il percorso iniziato dalla distinzione tra biomeccanica e cinematica conduce a una conclusione più ampia: il movimento è struttura, energia e informazione organizzate nel tempo. La struttura rende possibile il movimento, l'energia la trasformazione e l'informazione ne organizza il corso.

L'informazione organizza la trasformazione. Uomo e cane utilizzano anatomie differenti ma condividono lo stesso principio generale. Un organismo efficiente non elimina le oscillazioni e non ricerca la massima rigidità: esso organizza in modo continuo forze, deformazioni e informazioni per adattarsi all'ambiente.

È la capacità di adattamento a trasformare un'anatomia in un organismo capace di muoversi.

Take home message finale

La biomeccanica comparata mostra due differenti soluzioni a problemi comuni: gravità, equilibrio, propulsione, assorbimento, orientamento e adattamento. La vera unità funzionale non è il singolo muscolo, la singola articolazione oppure la singola fascia: è l'intero organismo mentre organizza il proprio movimento nello spazio e nel tempo.

Fermati un attimo

All'inizio della guida potevamo domandarci: "Quale muscolo produce questo movimento?". Alla fine la domanda è diventata: "Come organizza l'intero sistema strutture, forze, informazioni e tempo per produrre quel movimento?". Questo cambiamento di prospettiva permette di passare dall'anatomia del movimento alla biomeccanica del vivente.

Messaggi chiave finali

- Uomo e cane rappresentano due differenti soluzioni biomeccaniche alla gravità. Il corpo funziona come una rete e non come una somma di strutture isolate. La matrice extracellulare e la fascia partecipano alla continuità meccanica e sensoriale.
- La tensegrità è un modello utile per comprendere la distribuzione delle tensioni. Lo Spine Engine interpreta il rachide come componente dinamica della locomozione. Il circuito oscillatorio deve essere letto in quattro dimensioni.



Le Guide Love Your Life

- Nell'uomo il piede concentra una parte importante della trasformazione elicoidale. Nel cane l'elica viene maggiormente distribuita lungo arto, bacino e rachide. Il bacino canino privilegia la trasmissione propulsiva.
- La cintura scapolare privilegia adattamento, assorbimento e modulazione. Gli arti posteriori e anteriori possiedono specializzazioni relative differenti. Postura e locomozione appartengono allo stesso continuum dinamico.
- Passo, trotto e galoppo rappresentano differenti organizzazioni temporali dello stesso circuito. La testa costituisce una piattaforma sensoriale che deve essere contemporaneamente mobile e stabilizzata. Gravità e terreno partecipano direttamente alla costruzione del movimento.
- L'osso e il connettivo si adattano alla storia delle sollecitazioni. La meccanotrasduzione trasforma il carico in informazione biologica. Immobilità e sovraccarico possono entrambi ridurre la capacità funzionale.
- Il dolore modifica l'intero comportamento motorio. Forza e resistenza devono essere integrate con coordinazione, propriocezione ed equilibrio. La mobilità deve essere accompagnata dal controllo.
- La variabilità motoria rappresenta una risorsa adattativa. Cane e conduttore possono costruire un accoppiamento percettivo-motorio. La qualità della comunicazione dipende anche dalla qualità del movimento.
- La biomeccanica del vivente riguarda sempre **struttura, forza, informazione e tempo.**

Bibliografia

1. Gracovetsky S. The spinal engine. Wien: Springer-Verlag; 1988.
2. Paparella Treccia R. Il piede dell'uomo: profilo storico-strutturale. Roma: Verduci; 1977.
3. Paparella Treccia R. L'uomo e il suo moto: dalla deambulazione al tennis. Roma: Verduci; 1988.
4. Evans HE, de Lahunta A. Miller's anatomy of the dog. 4th ed. St Louis: Elsevier Saunders; 2013.
5. Alexander RM. Principles of animal locomotion. Princeton: Princeton University Press; 2003.
6. Gillette RL, Angle TC. Recent developments in canine locomotor analysis: a review. Vet J. 2008;178(2):165-176.
7. Winter DA. Biomechanics and motor control of human movement. 4th ed. Hoboken: Wiley; 2009.
8. Enoka RM. Neuromechanics of human movement. 5th ed. Champaign: Human Kinetics; 2015.
9. Shumway-Cook A, Woollacott MH. Motor control: translating research into clinical practice. 5th ed. Philadelphia: Wolters Kluwer; 2017.
10. Fung YC. Biomechanics: mechanical properties of living tissues. 2nd ed. New York: Springer; 1993.
11. Wolff J. Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin: Hirschwald; 1892.
12. Frost HM. Bone's mechanostat: a 2003 update. Anat Rec A Discov Mol Cell Evol Biol. 2003;275A(2):1081-1101.
13. Chiquet M, Renedo AS, Huber F, Flück M. How do fibroblasts translate mechanical signals into changes in extracellular matrix production? Matrix Biol. 2003;22(1):73-80.
14. Ingber DE. Tensegrity I. Cell structure and hierarchical systems biology. J Cell Sci. 2003;116(Pt 7):1157-1173.
15. Ingber DE. Tensegrity II. How structural networks influence cellular information processing networks. J Cell Sci. 2003;116(Pt 8):1397-1408.
16. Schleip R. Fascial plasticity—a new neurobiological explanation. Part 1. J Bodyw Mov Ther. 2003;7(1):11-19.
17. Schleip R. Fascial plasticity—a new neurobiological explanation. Part 2. J Bodyw Mov Ther. 2003;7(2):104-116.
18. Stecco C. Functional atlas of the human fascial system. Edinburgh: Elsevier; 2015.
19. Huijing PA. Muscular force transmission necessitates a multilevel integrative approach to the analysis of function of skeletal muscle. Exerc Sport Sci Rev. 2003;31(4):167-175.
20. Fuller RB. Synergetics: explorations in the geometry of thinking. New York: Macmillan; 1975.
21. Becker BE. Aquatic therapy: scientific foundations and clinical rehabilitation applications. PM R. 2009;1(9):859-872.
22. Hall J, Swinkels A, Briddon J, McCabe CS. Does aquatic exercise relieve pain in adults with neurologic or musculoskeletal disease? A systematic review and meta-analysis. Arch Phys Med Rehabil. 2008;89(5):873-883.

L'Autore

Giovanni Chetta



Biochimico, fisiologo e biofisico, con una formazione multidisciplinare nelle scienze biomediche e numerosi percorsi di alta specializzazione nell'ambito della fisiologia, nutrizione, nutraceutica, fitoterapia, biomeccanica.

L'intero percorso professionale si è sviluppato in ambito medico, in costante collaborazione con medici specialisti e altri professionisti sanitari. Questa esperienza gli ha consentito di

coniugare il rigore delle scienze di base con le esigenze della pratica clinica, sviluppando una visione integrata dei meccanismi fisiologici e fisiopatologici che regolano l'organismo umano.

Dal 1988 si dedica allo studio del metabolismo, dell'infiammazione cronica, della bioenergetica cellulare e delle interazioni tra i sistemi che mantengono l'omeostasi.

La sua attività è orientata a integrare le conoscenze della fisiologia classica con le più recenti evidenze della ricerca scientifica, promuovendo un approccio che considera la terapia farmacologica e gli interventi sul terreno biologico come strumenti complementari di un'unica strategia terapeutica.

«Biochimica, fisiologia e biofisica compongono il linguaggio della medicina: comprenderne i meccanismi aumenta la consapevolezza riguardo salute, malattia e cura.»

In ambito cinofilo, è addestratore E.N.C.I., docente presso corsi per educatori cinofili e, da diversi anni, si dedica formare i suoi amati cani in varie discipline fra cui soccorso in acqua, superficie e macerie.

www.giovannichetta.com



Le Guide Love Your Life

Copyright e note legali

Versione 1.0 – Settembre 2026

© 2026 Giovanni Chetta. Tutti i diritti riservati.

È vietata la riproduzione, anche parziale, del presente documento senza preventiva autorizzazione scritta dell'Autore, salvo quanto previsto dalla normativa vigente in materia di diritto d'autore.

Le informazioni contenute in questa guida hanno finalità esclusivamente divulgative ed educative e non sostituiscono il parere del medico o di altri professionisti sanitari qualificati. Ogni decisione diagnostica o terapeutica deve essere presa nell'ambito di una valutazione clinica individuale.

Questa guida potrà essere periodicamente aggiornata alla luce delle nuove evidenze scientifiche. La versione riportata in copertina e/o in questa pagina identifica il testo di riferimento.