

EXERCISE PHYSIOLOGY

L'esercizio fisico come strumento di salute,
prevenzione, terapia e longevità

DALLA
SCIENZA
DEL MOVIMENTO
A UNA VITA
PIÙ SANA
E PIÙ LUNGA

EVIDENZE
APPLICAZIONI
STRATEGIE
PER OGNI ETÀ
E OGNI OBIETTIVO



MUSCOLO
FORZA • MASSA
FUNZIONALITÀ



OSSA
DENSITÀ • RESISTENZA
PREVENZIONE



ARTICOLAZIONI
MOBILITÀ • PROTEZIONE
LONGEVITÀ



MITOCONDRI
ENERGIA • METABOLISMO
VITALITÀ



MEMBRANE CELLULARI
SEGNALAZIONE • ADATTAMENTO
SALUTE



MEC E CONNETTIVO
STRUTTURA • ELASTICITÀ
RESILIENZA



SISTEMA CARDIOVASCOLARE
EFFICIENZA • PROTEZIONE
PERFORMANCE



CERVELLO E MENTE
COGNIZIONE • BENESSERE
NEUROPROTEZIONE



ORMONI
EQUILIBRIO • ADATTAMENTO
SALUTE SISTEMICA



SISTEMA IMMUNITARIO
DIFESA • RESILIENZA
INFIAMMAZIONE



MICROBIOTA
EQUILIBRIO • SALUTE INTESTINALE
BENESSERE



RITMO CIRCADIANO
ENERGIA • SONNO
LONGEVITÀ



EXERCISE PHYSIOLOGY

L'esercizio fisico come strumento di salute, prevenzione, terapia e
longevità

Giovanni Chetta

2026

Nota editoriale

Questo testo di Exercise Physiology presenta finalità formative e applicative. Le indicazioni cliniche sono rivolte a professionisti e devono essere adattate alla diagnosi, all'idoneità all'esercizio, alle terapie in corso e alle caratteristiche del singolo soggetto.

L'impostazione segue un principio unitario: stimolo fisico → segnale meccanico e metabolico → risposta cellulare → adattamento tissutale → risultato sistemico e clinico. Nutrizione, integrazione, cronobiologia, recupero e monitoraggio vengono considerati parti dello stesso processo.

Dallo stimolo fisico all'adattamento biologico



Dose, recupero, nutrizione e stato biologico modulano ogni passaggio

Figura 1. Dallo stimolo fisico all'adattamento biologico: schema concettuale del volume.

Sommario

Introduzione.....	9
PARTE I – FONDAMENTI DI EXERCISE PHYSIOLOGY.....	10
Capitolo 1 – Il movimento umano	10
Capitolo 2 – Omeostasi, allostasi e adattamento	11
Capitolo 3 – Bioenergetica dell'esercizio	13
Capitolo 4 – Ossigeno, VO ₂ e soglie fisiologiche	16
Capitolo 5 – Fatica e recupero	18
PARTE II – IL MUSCOLO COME ORGANO SISTEMICO	20
Capitolo 6 – Fisiologia del muscolo scheletrico	20
Capitolo 7 – Fibre muscolari e plasticità	21
Capitolo 8 – Ipertrofia e sintesi proteica	22
Capitolo 9 – Il muscolo come organo endocrino	25
PARTE III – MITOCONDRI E METABOLISMO.....	26
Capitolo 10 – Mitocondri e attività fisica	26

Capitolo 11 – Dinamica e qualità mitocondriale.....	28
Capitolo 12 – Allenare i mitocondri	29
PARTE IV – MEC, CONNETTIVO E MECCANOTRASDUZIONE.....	30
Capitolo 13 – Matrice extracellulare e sistema connettivo.....	30
Capitolo 14 – Meccanotrasduzione	32
Capitolo 15 – Esercizio e rimodellamento della MEC	34
PARTE V – OSSO, CARTILAGINE E ARTICOLAZIONI.....	36
Capitolo 16 – Exercise Physiology dell’osso.....	36
Capitolo 17 – Quale esercizio per l’osso	38
Capitolo 18 – Cartilagine e articolazioni	39
PARTE VI – MEMBRANE CELLULARI E SEGNALAZIONE	41
Capitolo 19 – Membrana cellulare e adattamento all’esercizio.....	41
Capitolo 20 – Segnalazione metabolica	42
Capitolo 21 – Membrane mitocondriali ed esercizio.....	43
PARTE VII – SISTEMA CARDIOVASCOLARE E RESPIRATORIO	44
Capitolo 22 – Adattamenti cardiovascolari.....	44
Capitolo 23 – Pressione e circolazione.....	46
Capitolo 24 – Fisiologia respiratoria	47
PARTE VIII – SISTEMA NERVOSO, CERVELLO E MENTE	49
Capitolo 25 – Adattamento neurologico	49
Capitolo 26 – Exercise physiology del cervello	50
Capitolo 27 – Movimento e salute mentale	51
PARTE IX – SISTEMA ENDOCRINO, IMMUNITARIO E REDOX.....	52
Capitolo 28 – Risposta endocrina all’esercizio.....	52
Capitolo 29 – Infiammazione e immunità.....	54
Capitolo 30 – ROS, redox e hormesis.....	55
PARTE X – MICROBIOTA ED EXERCISE PHYSIOLOGY	57
Capitolo 31 – Asse esercizio-intestino	57
PARTE XI – EXERCISE CHRONOBIOLOGY	59
Capitolo 32 – Ritmi circadiani ed esercizio	59
Capitolo 33 – Quando allenarsi.....	60
PARTE XII – METODI DI ALLENAMENTO.....	62
Capitolo 34 – Resistance training.....	63

Capitolo 35 – Endurance training.....	64
Capitolo 36 – HIIT e SIT	65
Capitolo 37 – Concurrent training.....	66
Capitolo 38 – Altri metodi	67
PARTE XIII – PRESCRIZIONE DELL’ESERCIZIO	68
Capitolo 39 – Dose dell’esercizio	68
Capitolo 40 – Misurare l’intensità.....	70
Capitolo 41 – Periodizzazione	71
PARTE XIV – EXERCISE PHYSIOLOGY PER OBIETTIVI	72
Capitolo 42 – Aumento della massa muscolare.....	72
Capitolo 43 – Aumento della forza	74
Capitolo 44 – Potenza e performance neuromuscolare	75
Capitolo 45 – Biogenesi mitocondriale	75
Capitolo 46 – Salute ossea	76
Capitolo 47 – MEC, fascia e tendini	77
Capitolo 48 – Membrane cellulari.....	77
Capitolo 49 – Sensibilità insulinica e controllo glicemico	78
Capitolo 50 – Riduzione del grasso corporeo	78
Capitolo 51 – Salute cardiovascolare	79
Capitolo 52 – Salute cerebrale e cognitiva	80
Capitolo 53 – Ottimizzazione circadiana e sonno	80
Capitolo 54 – Healthy aging e longevità	81
PARTE XV – EXERCISE PHYSIOLOGY CLINICA.....	82
Capitolo 55 – Sarcopenia e fragilità	82
Capitolo 56 – Osteopenia e osteoporosi.....	83
Capitolo 57 – Artrosi e patologie articolari	83
Capitolo 58 – Sovrappeso e obesità.....	84
Capitolo 59 – Insulino-resistenza e diabete tipo 2.....	85
Capitolo 60 – Diabete tipo 1	85
Capitolo 61 – Sindrome metabolica.....	86
Capitolo 62 – Dislipidemie	87
Capitolo 63 – Ipertensione.....	87
Capitolo 64 – Cardiopatia ischemica e riabilitazione cardiovascolare.....	88

Capitolo 65 – Steatosi epatica metabolica – MASLD	88
Capitolo 66 – Menopausa	89
Capitolo 67 – Andropausa e aging maschile	89
Capitolo 68 – Malattie neurodegenerative.....	90
Capitolo 69 – Depressione e disturbi d’ansia.....	91
Capitolo 70 – Patologie respiratorie croniche	91
Capitolo 71 – Exercise Oncology	92
Capitolo 72 – Autoimmunità e patologie infiammatorie.....	93
Capitolo 73 – Dolore cronico	94
PARTE XVI – NUTRIZIONE ED ESERCIZIO	95
Capitolo 74 – Energia e disponibilità energetica	95
Capitolo 75 – Proteine	96
Capitolo 76 – Carboidrati	98
Capitolo 77 – Lipidi.....	99
Capitolo 78 – Distribuzione dei nutrienti nei pasti	100
Capitolo 79 – Alimenti da privilegiare e da limitare	102
PARTE XVII – INTEGRAZIONE E NUTRACEUTICA	103
Capitolo 80 – Criteri per valutare un integratore	103
Capitolo 81 – Creatina.....	105
Capitolo 82 – Proteine in polvere	107
Capitolo 83 – EAA, BCAA e leucina.....	108
Capitolo 84 – HMB	109
Capitolo 85 – Beta-alanina	109
Capitolo 86 – Caffaina	110
Capitolo 87 – Nitrati	110
Capitolo 88 – Bicarbonato.....	111
Capitolo 89 – Elettroliti	111
Capitolo 90 – Magnesio	111
Capitolo 91 – Vitamina D	112
Capitolo 92 – Omega-3	112
Capitolo 93 – Collagene, gelatina e vitamina C.....	113
Capitolo 94 – Altri nutraceutici	113
PARTE XVIII – RECUPERO E OVERTRAINING.....	114

Capitolo 95 – Fisiologia del recupero.....	114
Capitolo 96 – Sonno e recupero.....	115
Capitolo 97 – Overreaching e overtraining.....	116
PARTE XIX – VALUTAZIONE E MONITORAGGIO	117
Capitolo 98 – Composizione corporea	117
Capitolo 99 – Valutazione della forza	119
Capitolo 100 – Valutazione aerobica	119
Capitolo 101 – Monitoraggio autonomico.....	120
Capitolo 102 – Biomarcatori	121
PARTE XX – PROTOCOLLI APPLICATIVI	123
Capitolo 103 – Costruire un programma individuale.....	123
Capitolo 104 – Protocollo salute generale.....	125
Capitolo 105 – Protocollo longevità.....	125
Capitolo 106 – Protocollo sarcopenia	126
Capitolo 107 – Protocollo osteoporosi	126
Capitolo 108 – Protocollo mitocondriale	127
Capitolo 109 – Protocollo metabolico	128
Capitolo 110 – Protocollo cardiovascolare	128
Capitolo 111 – Protocollo dimagrimento.....	129
Capitolo 112 – Protocollo ipertrofia	129
Capitolo 113 – Protocollo forza	130
Capitolo 114 – Protocollo MEC/tendini	131
Capitolo 115 – Protocollo ritmo circadiano	131
Capitolo 116 – Protocollo anziano fragile	132
Conclusione	132
Appendici	133
Tabelle delle zone di intensità	133
RPE e RIR	133
Tabelle %1RM.....	134
Formule per frequenza cardiaca	134
Tabelle nutrizionali per esercizio	134
Dosaggi degli integratori	135
Test funzionali	135



Scheda essenziale di monitoraggio	136
Glossario Exercise Physiology	136
Bibliografia scientifica	136
L'Autore	139

Introduzione

Perché un volume dedicato alla Exercise Physiology

L'esercizio fisico viene spesso ridotto a una prescrizione quantitativa: camminare di più, consumare calorie, "fare sport". La fisiologia dell'esercizio mostra invece che ogni contrazione modifica flussi, segnali, substrati e forze meccaniche. Da queste perturbazioni derivano adattamenti che coinvolgono muscolo, osso, matrice extracellulare, endotelio, mitocondri, sistema nervoso, immunità e ritmi circadiani.

Dal movimento alla regolazione biologica sistemica

Il movimento produce contemporaneamente un lavoro meccanico e un segnale biologico. L'aumento della richiesta energetica modifica rapporto AMP/ATP, calcio intracellulare, redox e perfusione; il carico deforma matrice e citoscheletro; le miokine comunicano con organi distanti. Il risultato è una regolazione sistemica che continua anche dopo la fine della seduta.

Attività fisica, esercizio fisico e allenamento

Per attività fisica si intende ogni movimento del corpo che aumenta il dispendio energetico. L'esercizio è attività pianificata, strutturata e ripetuta con uno scopo; l'allenamento è la successione organizzata di sedute che mira a produrre adattamenti. La distinzione è pratica: aumentare il movimento quotidiano e prescrivere esercizio sono interventi complementari, non intercambiabili.

Esercizio acuto e chronic exercise

Una singola seduta genera risposte acute: aumento di frequenza cardiaca, ventilazione, mobilitazione dei substrati, segnali redox e ormonali. La ripetizione dello stimolo, accompagnata da recupero, cambia il sistema: aumenta la capacità ossidativa, la forza, l'efficienza vascolare e la tolleranza allo stress. Il beneficio cronico non è quindi la semplice somma delle calorie consumate durante le sedute.

L'esercizio come segnale biologico

L'idea centrale del volume è che l'esercizio debba essere letto come segnale. Intensità, volume, velocità, direzione del carico e durata rappresentano la "forma" del messaggio; nutrizione, sonno, patologie e farmaci modificano la capacità di riceverlo. Prescrivere significa scegliere il segnale più adatto e lasciare all'organismo il tempo di trasformarlo in adattamento.

Salute, prevenzione, terapia, performance e longevità

Le stesse vie che migliorano una prestazione possono sostenere la salute metabolica e l'autonomia funzionale. La finalità cambia la dose: l'atleta ricerca un margine prestativo, il paziente una funzione recuperata, l'anziano la capacità di rimanere indipendente. In tutti i casi forza e fitness cardiorespiratoria rappresentano riserve fisiologiche di grande valore.

Individualizzazione dell'esercizio

La dose efficace non è identica per tutti. Età, storia di allenamento, composizione corporea, dolore, cronotipo, farmaci, rischio cardiovascolare e preferenze modificano ciò che è tollerabile e sostenibile. L'individualizzazione non richiede sempre tecnologie sofisticate: parte da anamnesi, osservazione, RPE/RIR e progressione prudente.

Guida alla lettura del volume

Le prime Parti spiegano i meccanismi; le sezioni centrali traducono la fisiologia in metodi e obiettivi; le Parti finali affrontano patologie, nutrizione, integrazione, recupero e protocolli. I box "Messaggi chiave" sintetizzano i concetti da ricordare; "Fermati un attimo" corregge semplificazioni frequenti; il "Take home message" compare quando esiste una ricaduta pratica sufficientemente netta.

Messaggi chiave

L'esercizio non agisce su un solo organo; la dose è composta da più variabili; l'adattamento dipende dal recupero; attività quotidiana e allenamento programmato sono complementari.

PARTE I – FONDAMENTI DI EXERCISE PHYSIOLOGY

Questa parte costruisce il linguaggio comune del volume. Prima di prescrivere esercizio occorre capire come l'organismo produce energia, percepisce lo stress, sviluppa fatica e trasforma sedute ripetute in adattamenti stabili.

Capitolo 1 – Il movimento umano

Movimento e sopravvivenza

Il movimento non è un accessorio della fisiologia umana: è una delle condizioni attraverso cui l'organismo reperisce risorse, modifica l'ambiente e mantiene la propria competenza funzionale. Muscolo, sistema nervoso, apparato cardiovascolare e metabolismo si sono sviluppati in un contesto di alternanza fra attività e recupero; la prolungata inattività riduce progressivamente la richiesta funzionale e, con essa, la capacità di risposta.

Evoluzione dell'apparato locomotore

La locomozione umana nasce dall'integrazione fra scheletro, muscoli, fascia, sistema nervoso e sistemi di approvvigionamento energetico. Il bipedismo ha aumentato le richieste di controllo posturale, equilibrio e gestione elastica dell'energia, mentre la mano è stata progressivamente liberata dai compiti locomotori. Questa storia evolutiva aiuta a comprendere perché cammino, corsa, trasporto di carichi, accosciata e trazione rappresentino famiglie di movimento particolarmente coerenti con la fisiologia umana, pur dovendo essere adattate alla storia clinica individuale.

Sedentarietà come condizione biologicamente anomala

La sedentarietà prolungata riduce il flusso di segnali meccanici e metabolici necessari a mantenere muscolo, osso, endotelio e controllo glicemico. Non coincide semplicemente con il mancato allenamento: molte ore consecutive da seduti costituiscono un'esposizione distinta, che conviene interrompere con brevi periodi di movimento anche nei soggetti che svolgono una seduta di esercizio quotidiana.

Attività fisica spontanea, NEAT ed esercizio programmato

Il NEAT comprende cammino, spostamenti, attività domestiche e tutti i movimenti non programmati. Può incidere molto sul dispendio giornaliero e, soprattutto, interrompe periodi prolungati di sedentarietà. L'esercizio strutturato svolge invece un compito diverso: applica una dose definita per ottenere adattamenti specifici. Le due componenti sono complementari, non alternative.

Fitness, performance e salute

Fitness e performance non sono sinonimi di salute. Una prestazione elevata può richiedere volumi e intensità che superano ciò che è necessario per ridurre il rischio cardiometabolico, conservare autonomia e mantenere una buona composizione corporea. Nella prescrizione clinica il primo obiettivo è costruire capacità funzionale con un costo di recupero sostenibile; solo in seguito, se richiesto, si sposta il programma verso prestazioni specifiche.

Adattamento funzionale all'ambiente

L'organismo adatta struttura e funzione alle richieste che incontra con sufficiente frequenza. Il disuso riduce progressivamente la capacità non richiesta, mentre un carico crescente ma tollerabile stimola rimodellamento muscolare, osseo, tendineo, cardiovascolare e metabolico. L'adattamento è specifico: un soggetto può essere resistente sul piano aerobico ma debole, oppure forte ma poco efficiente nel controllo glicemico durante attività prolungate.

Capitolo 2 – Omeostasi, allostasi e adattamento

Omeostasi dinamica

L'omeostasi non corrisponde a immobilità delle variabili biologiche. Frequenza cardiaca, glicemia, temperatura, pH e disponibilità dei substrati oscillano continuamente entro intervalli compatibili con la funzione. L'esercizio allontana temporaneamente il sistema dal livello di riposo; il recupero e l'adattamento successivo aumentano la capacità di tollerare perturbazioni analoghe.

Allostasi

L'allostasi descrive il mantenimento della stabilità attraverso il cambiamento. Durante l'esercizio, sistema nervoso autonomo, ormoni, ventilazione e circolazione anticipano o compensano la richiesta energetica; nel tempo la ripetizione dello stimolo modifica i punti di lavoro del sistema. Un programma efficace sfrutta questa plasticità senza trasformare la risposta adattativa in sovraccarico cronico.

Carico allostatico

Il carico allostatico rappresenta il costo cumulativo dell'adattamento a richieste fisiche, psicologiche e ambientali. Allenamento, sonno insufficiente, malattia, restrizione energetica e stress lavorativo concorrono allo stesso bilancio di recupero. Per questo la dose di esercizio non può essere decisa soltanto osservando chilometri, serie o minuti: occorre considerare anche ciò che avviene fuori dall'allenamento.

Stimolo, risposta e adattamento

Lo stimolo è l'esposizione acuta; la risposta comprende le modificazioni immediate necessarie a sostenerlo; l'adattamento emerge quando quelle esposizioni vengono ripetute e recuperate. La stessa seduta può essere adeguata per un soggetto e insufficiente o eccessiva per un altro. Progressione e monitoraggio servono proprio a mantenere lo stimolo dentro una finestra in cui la risposta acuta possa consolidarsi in adattamento.

Hormesis

Una dose controllata di stress può attivare sistemi di difesa e riparazione che rendono l'organismo più resistente a stimoli successivi. Nell'esercizio questo principio riguarda, fra l'altro, ROS, perturbazioni energetiche, microdeformazioni meccaniche e risposta infiammatoria transitoria. Il beneficio scompare quando lo stimolo è troppo basso per produrre adattamento oppure troppo alto rispetto alla capacità di recupero.

Dose minima efficace

La dose minima efficace è la quantità di lavoro capace di produrre un cambiamento misurabile nel bersaglio scelto. È particolarmente utile nei principianti, negli anziani, durante la riabilitazione e nelle fasi di forte stress, perché riduce il costo di recupero. Non coincide con la dose massima tollerabile e può aumentare con l'allenamento man mano che il sistema diventa più resistente allo stesso stimolo.

Dose ottimale

La dose ottimale massimizza il rapporto fra beneficio e costo, non il volume assoluto. Dipende dall'obiettivo, dalla risposta individuale e dal tempo disponibile per recuperare. In pratica viene individuata per approssimazioni successive: si parte da una dose sicura, si osservano prestazione, sintomi e recupero e si modifica il programma soltanto quando l'adattamento lo giustifica.

Eccesso di stimolo

Quando intensità, volume o frequenza superano stabilmente la capacità di recupero, l'esercizio perde parte del suo valore adattativo. Possono comparire calo della performance, sonno disturbato, dolore persistente, riduzione della motivazione, alterazioni dell'umore o maggiore frequenza di malattia. Il problema non è la singola seduta impegnativa, ma la ripetizione di carichi non compensati.

Supercompensazione

Dopo uno stimolo adeguato la capacità funzionale può temporaneamente ridursi, recuperare e superare il livello precedente. Il modello è utile come principio didattico, ma non tutti gli adattamenti seguono la stessa curva temporale: glicogeno, sistema nervoso, muscolo, tendine e osso possiedono tempi di recupero differenti. La programmazione deve quindi considerare più “orologi” biologici contemporaneamente.

Adattamento e desensibilizzazione allo stimolo

Con l’allenamento, uno stimolo inizialmente efficace produce una perturbazione progressivamente minore. Questa desensibilizzazione è il segno dell’adattamento, ma crea anche la necessità di modificare gradualmente carico, volume, densità, complessità o specificità. La progressione deve essere sufficiente a rinnovare il segnale senza cancellare il recupero.

Specificità dell’allenamento

Gli adattamenti riflettono in larga parte ciò che viene richiesto: forza, potenza, resistenza, equilibrio e tolleranza tendinea hanno determinanti differenti. Esiste un trasferimento parziale fra qualità, soprattutto nei non allenati, ma diventa meno ampio con l’aumentare della specializzazione. La prescrizione deve quindi partire dall’obiettivo finale e scegliere gli stimoli con il miglior rapporto fra specificità e sicurezza.

Capitolo 3 – Bioenergetica dell’esercizio

ATP come valuta energetica

L’ATP collega la liberazione di energia alla contrazione muscolare, al trasporto di ioni e alla sintesi molecolare. Le riserve intracellulari sono minime; durante l’esercizio l’ATP deve essere continuamente rigenerato mediante fosfocreatina, glicolisi e fosforilazione ossidativa.

Sistema ATP-fosfocreatina

Il sistema fosfagene fornisce energia con elevatissima potenza nelle prime fasi di uno sforzo intenso. La fosfocreatina dona rapidamente un gruppo fosfato all’ADP; la sua risintesi dipende in gran parte dal metabolismo ossidativo durante il recupero. Per questo pause più lunghe favoriscono la qualità di serie ad alta forza o potenza.

Glicolisi anaerobica

La glicolisi può generare ATP rapidamente a partire dal glucosio o dal glicogeno senza richiedere direttamente ossigeno. Il piruvato e il lattato prodotti non rappresentano una via “sporca”: il lattato può essere ossidato da altri tessuti o riconvertito, diventando un vero vettore di carbonio ed energia.

Metabolismo aerobico

Il metabolismo aerobico utilizza l'ossigeno come accettore finale di elettroni e permette di produrre grandi quantità di ATP a partire soprattutto da carboidrati e acidi grassi. Ha una potenza inferiore ai sistemi anaerobici ma una capacità molto maggiore, perciò sostiene attività prolungate e gran parte del recupero fra sforzi intensi. Il suo allenamento migliora trasporto dell'ossigeno, densità capillare, enzimi ossidativi e funzione mitocondriale.

Ciclo di Krebs

Il ciclo di Krebs ossida l'acetil-CoA e genera NADH e FADH₂ destinati alla catena respiratoria. Carboidrati, acidi grassi e diversi aminoacidi convergono in questo nodo, che collega quindi disponibilità dei substrati e produzione aerobica di ATP. La velocità del ciclo cambia con richiesta energetica, disponibilità di ossalacetato e stato redox della cellula.

Catena respiratoria

Nella membrana mitocondriale interna la catena respiratoria trasferisce elettroni provenienti da NADH e FADH₂ e crea il gradiente protonico utilizzato dall'ATP sintasi. Durante l'esercizio il flusso elettronico aumenta rapidamente; con l'allenamento crescono capacità ossidativa, efficienza del sistema e controllo di qualità mitocondriale.

Fosforilazione ossidativa

Nella fosforilazione ossidativa il trasferimento di elettroni lungo la membrana mitocondriale interna crea un gradiente protonico utilizzato dall'ATP sintasi. L'efficienza dipende dall'integrità della membrana, dalla disponibilità di ossigeno e substrati e dal controllo della rete mitocondriale. L'allenamento di endurance aumenta la capacità di sostenere questo flusso e riduce il costo relativo di un dato lavoro.

Utilizzo del glucosio

Durante l'esercizio il glucosio deriva dal sangue e, soprattutto alle intensità medio-alte, dal glicogeno muscolare. La contrazione facilita l'ingresso del glucosio nel muscolo attraverso vie che convergono sulla traslocazione di GLUT4 anche indipendentemente dall'insulina. Dopo la seduta la maggiore sensibilità insulinica favorisce il ripristino del glicogeno, soprattutto quando l'apporto di carboidrati è adeguato.

Utilizzo degli acidi grassi

Gli acidi grassi diventano una fonte energetica particolarmente importante a intensità basse e moderate e negli sforzi prolungati. La loro ossidazione richiede trasporto verso il mitocondrio, disponibilità di ossigeno e una sufficiente capacità enzimatica; salendo di intensità aumenta invece il contributo dei carboidrati, capaci di fornire ATP più rapidamente.

Corpi chetonici come substrato energetico

I corpi chetonici possono essere ossidati da muscolo, cuore e cervello quando la loro disponibilità aumenta, per esempio durante digiuno prolungato o diete chetogeniche. Non rappresentano tuttavia il carburante dominante della maggior parte delle sedute e non eliminano la necessità di carboidrati nelle attività in cui è richiesta elevata potenza glicolitica. La loro importanza va quindi distinta fra metabolismo di base, adattamento nutrizionale e performance.

Aminoacidi e produzione energetica

Gli aminoacidi contribuiscono alla produzione energetica in misura generalmente modesta rispetto a carboidrati e lipidi, ma il loro contributo cresce in endurance prolungato, deplezione di glicogeno o deficit energetico. Alcuni carbon skeleton entrano nel ciclo di Krebs, mentre l'azoto deve essere gestito attraverso transaminazione e ciclo dell'urea. Preservare disponibilità energetica e proteica riduce la necessità di usare tessuto proteico come combustibile.

Interazione fra i sistemi energetici

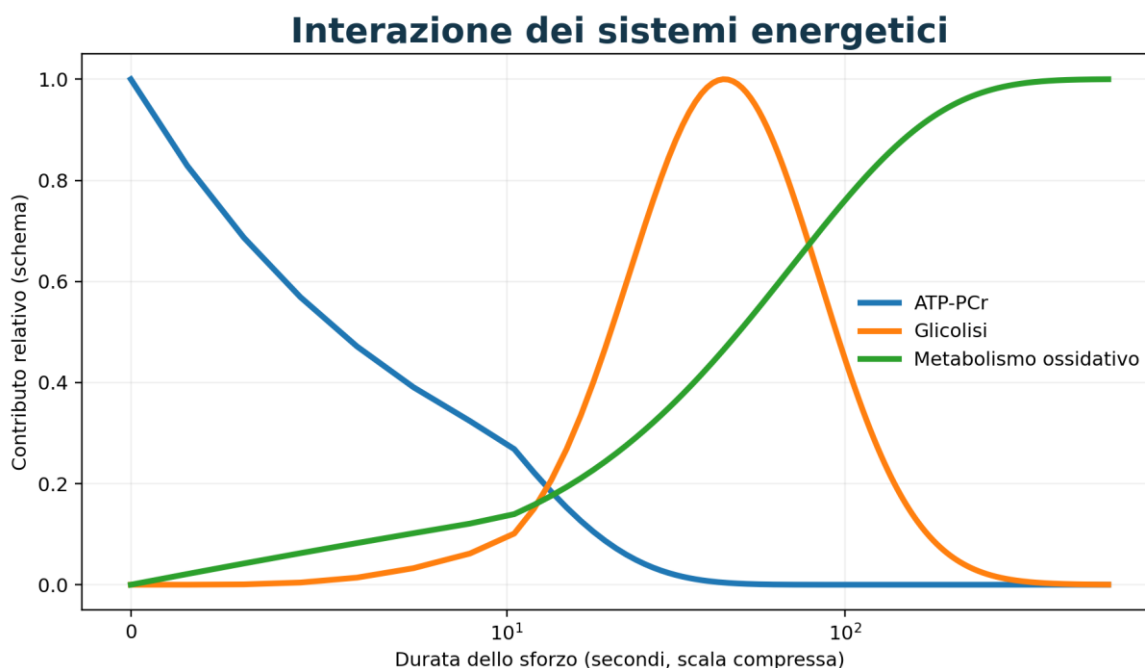
I sistemi fosfageno, glicolitico e ossidativo lavorano contemporaneamente; cambia soltanto il contributo relativo. Uno sprint utilizza subito anche ossigeno, mentre una lunga corsa richiede brevi aumenti di glicolisi nelle accelerazioni e nelle salite. La programmazione energetica è quindi più utile se ragiona in termini di potenza, capacità e recupero dei sistemi piuttosto che in compartimenti rigidamente separati.

Quoziente respiratorio

Il rapporto fra CO_2 prodotta e O_2 consumato fornisce indicazioni sul mix di substrati ossidati, soprattutto in condizioni stazionarie. Valori più bassi suggeriscono un maggiore contributo lipidico, valori più alti un maggiore contributo dei carboidrati; vicino alle alte intensità l'interpretazione è complicata dal tamponamento del lattato e dall'iperventilazione. Il dato va quindi contestualizzato e non trasformato in una misura semplice di "grassi bruciati".

Flessibilità metabolica

La flessibilità metabolica è la capacità di modificare l'uso dei substrati in funzione di disponibilità e richiesta. Un muscolo allenato ossida più grassi a intensità submassimali ma può aumentare rapidamente il flusso di carboidrati quando la potenza cresce. Insulino-resistenza, sedentarietà e disfunzione mitocondriale possono ridurre questa capacità di passaggio fra carburanti.



I sistemi lavorano sempre insieme: cambia il contributo relativo, non esiste un interruttore netto.

Figura 2. I sistemi energetici contribuiscono simultaneamente, con peso diverso in relazione a intensità e durata.

Capitolo 4 – Ossigeno, VO_2 e soglie fisiologiche

Consumo di ossigeno

Il consumo di ossigeno riflette l'integrazione fra ventilazione, diffusione polmonare, gittata cardiaca, contenuto arterioso di O_2 e capacità estrattiva dei muscoli. Il VO_2 aumenta quasi linearmente con il lavoro submassimale fino a raggiungere, nei test massimali, un valore massimo o di picco. È un indicatore potente di fitness cardiorespiratoria ma non descrive da solo forza, economia o tolleranza muscoloscheletrica.

VO_{2max}

Il VO_{2max} è il massimo consumo di ossigeno raggiungibile durante un test incrementale e descrive l'integrazione fra ventilazione, trasporto ematico e utilizzo periferico. È uno dei più solidi indicatori di fitness cardiorespiratoria, ma non coincide con la prestazione: economia e soglie spiegano una parte importante delle differenze fra soggetti.

VO_{2peak}

Quando i criteri fisiologici per un vero massimo non sono pienamente soddisfatti, è più corretto parlare di VO_{2peak} : il valore più alto osservato nel test. La distinzione è importante soprattutto in clinica, negli anziani e nei soggetti che interrompono il test per dolore, fatica locale o scarsa familiarità.

Economia del movimento

L'economia del movimento indica quanta energia serve per sostenere una data velocità o potenza. Due soggetti con lo stesso VO_2max possono quindi avere prestazioni diverse. Tecnica, rigidità elastica dei tessuti, distribuzione delle fibre, massa da spostare e familiarità con il gesto contribuiscono all'economia e possono migliorare con allenamento specifico.

Soglia aerobica

La prima soglia individua il passaggio da un dominio facilmente sostenibile a uno in cui ventilazione e lattato iniziano a modificarsi in modo più evidente. È utile per delimitare il lavoro aerobico a bassa intensità e per seguire gli adattamenti senza trasformarla in un confine rigido.

Soglia anaerobica

La seconda soglia descrive la regione oltre la quale l'accumulo di lattato e la ventilazione aumentano rapidamente e il tempo di tolleranza si riduce. Metodi diversi forniscono valori non perfettamente sovrapponibili: per il follow-up va mantenuto lo stesso protocollo.

Soglie ventilatorie

Le soglie ventilatorie si identificano osservando come ventilazione, VO_2 e VCO_2 cambiano durante un test incrementale. La prima soglia segnala l'aumento della ventilazione rispetto al VO_2 ; la seconda riflette una più marcata compensazione ventilatoria dell'acidosi. Sono utili per definire domini di intensità e monitorare gli adattamenti quando il protocollo di test è standardizzato.

Lattato

Il lattato non è un semplice prodotto di scarto. Viene prodotto e utilizzato continuamente, trasferito fra fibre e organi e ossidato come combustibile. Durante l'esercizio la sua concentrazione ematica riflette l'equilibrio fra produzione, trasporto e clearance.

Lactate shuttle

Il lactate shuttle descrive il trasferimento del lattato dalle cellule che lo producono a quelle che lo ossidano o lo utilizzano per la gluconeogenesi. Fibre ossidative, cuore, fegato e altri tessuti partecipano a questo scambio attraverso trasportatori monocarboxilati. Il lattato è quindi parte della cooperazione metabolica fra tessuti e non un vicolo cieco biochimico.

Clearance del lattato

La diminuzione del lattato ematico dopo lo sforzo dipende da ossidazione, trasporto e gluconeogenesi. Un recupero attivo leggero può accelerare la clearance mantenendo perfusione e utilizzazione muscolare, ma non sempre è preferibile quando l'obiettivo principale è recuperare forza o ridurre il costo energetico. La velocità di scomparsa del lattato non coincide inoltre con la scomparsa della fatica.

Perché il lattato non è semplicemente un prodotto di scarto

Considerare il lattato un rifiuto responsabile della fatica è un modello superato. Il lactate shuttle descrive il suo passaggio fra fibre, cuore, fegato e altri tessuti; una quota viene ossidata direttamente, una quota partecipa alla gluconeogenesi. L'acidificazione associata allo sforzo intenso ha una fisiologia più complessa e non può essere attribuita al lattato in sé.

Fermati un attimo

Il lattato non è "acido lattico che resta nei muscoli" e non spiega il DOMS. È un metabolita rapidamente scambiato e utilizzato.

Capitolo 5 – Fatica e recupero

Fatica periferica

La fatica periferica nasce da processi situati a valle del comando nervoso: alterazioni nella trasmissione neuromuscolare, gestione del Ca^{2+} , accumulo o variazione di metaboliti, riduzione della disponibilità di substrati e modifiche nella capacità contrattile. Il peso relativo di questi fattori cambia con durata e intensità dello sforzo. Per questo non esiste un singolo "metabolita della fatica".

Fatica centrale

La fatica centrale riguarda la riduzione della capacità del sistema nervoso di produrre o mantenere un comando motorio efficace. Temperatura, dolore, stato motivazionale, sonno, disponibilità energetica e segnali afferenti provenienti dal muscolo possono modificarla. È particolarmente rilevante negli sforzi prolungati e nelle condizioni in cui la percezione dello sforzo aumenta prima del completo esaurimento periferico.

Deplezione dei substrati energetici

La deplezione di fosfocreatina limita la ripetizione di sforzi esplosivi, mentre la riduzione del glicogeno diventa importante negli sforzi prolungati o ad alto volume. I lipidi corporei sono molto più abbondanti, ma la velocità con cui possono sostenere ATP non è sufficiente per tutte le intensità. Nutrizione e recupero devono quindi essere coerenti con il sistema maggiormente sollecitato.

Fatica neuromuscolare

La fatica neuromuscolare comprende contemporaneamente componenti centrali e periferiche e si manifesta come riduzione della forza o della potenza ottenibile. Test di salto, velocità del bilanciere o contrazioni massimali possono rilevarne alcuni aspetti, ma nessun singolo indice la descrive completamente. La misura più utile è quella ripetibile e direttamente collegata al compito allenato.

Fatica metabolica

La fatica metabolica deriva dal costo energetico dello sforzo e dalle modificazioni del microambiente cellulare che accompagnano alti flussi di ATP. Fosfati inorganici, ADP, variazioni ioniche e acidificazione possono ridurre la capacità di sviluppare forza. Queste modifiche sono reversibili e rappresentano parte del segnale adattativo, non soltanto un danno da eliminare.

Fatica mentale

Un prolungato impegno cognitivo può aumentare la percezione dello sforzo e peggiorare alcune prestazioni di endurance o compiti che richiedono controllo esecutivo. L'effetto è variabile e dipende da motivazione, sonno, stress e natura del compito. Nella pratica, giornate ad alta richiesta mentale possono giustificare sedute più semplici o autoregolate senza essere automaticamente considerate giorni di riposo.

Recupero acuto

Nei minuti successivi allo sforzo vengono ripristinati fosfocreatina, equilibrio ionico, temperatura e ventilazione; il lattato viene ossidato o riconvertito, non 'smaltito' come un rifiuto. La velocità del recupero dipende dall'intensità appena sostenuta e dalla capacità aerobica del soggetto.

Recupero fra sedute

Fra due sedute il recupero riguarda glicogeno, sintesi proteica, funzione neuromuscolare e tessuti connettivi, che hanno tempi differenti. La frequenza di allenamento deve quindi rispettare il bersaglio: un muscolo può essere pronto prima di un tendine irritato o di un sistema nervoso ancora affaticato.

Recupero sistemico

Il recupero sistemico comprende sonno, disponibilità energetica, stato autonomico, immunità e carico psicologico. Una seduta localmente tollerata può risultare eccessiva quando si somma a restrizione calorica, malattia, viaggio o stress lavorativo. Per questo la programmazione deve considerare il carico totale, non soltanto quello della palestra.

Adattamento versus accumulo di fatica

Il miglioramento emerge quando lo stimolo supera la soglia utile ma la fatica viene dissipata prima di compromettere cronicamente la prestazione. Nelle settimane di carico è normale una certa riduzione della freschezza; ciò diventa problematico quando persistono peggioramento, sintomi sistemici e incapacità di recuperare. Monitorare tendenza della prestazione, sonno, dolore e percezione dello sforzo aiuta a distinguere le due situazioni.

Take home message

La fatica è il prezzo dello stimolo, non il bersaglio. Il programma funziona quando la fatica si dissipa abbastanza da permettere una nuova seduta di qualità.

PARTE II – IL MUSCOLO COME ORGANO SISTEMICO

Il muscolo scheletrico è contemporaneamente motore, deposito metabolico, organo endocrino e interfaccia meccanica con osso e connettivo. La sua importanza clinica supera ampiamente la dimensione estetica.

Capitolo 6 – Fisiologia del muscolo scheletrico

Struttura del muscolo

Il muscolo scheletrico è organizzato in fascicoli e fibre, avvolti da una rete connettivale continua con tendini e aponeurosi. Ogni fibra contiene miofibrille formate da sarcomeri e dispone di reticolo sarcoplasmatico, mitocondri, nuclei e sistemi di trasporto adattati alla funzione contrattile. Architettura pennata, lunghezza dei fascicoli e area fisiologica influenzano forza, velocità ed escursione.

Sarcomero

Il sarcomero è l'unità contrattile compresa fra due linee Z. Filamenti sottili di actina e spessi di miosina scorrono reciprocamente senza accorciarsi, mentre titina e altre proteine contribuiscono ad allineamento, elasticità e trasmissione della forza. La relazione lunghezza-tensione spiega perché la capacità di produrre forza cambi lungo il range articolare.

Actina e miosina

La miosina converte energia chimica in lavoro meccanico attraverso cicli di attacco, power stroke e distacco dai filamenti di actina. Il legame dell'ATP e la sua idrolisi permettono il ciclo, mentre Ca^{2+} e complesso troponina-tropomiosina regolano l'accessibilità dei siti di legame. Velocità e proprietà delle isoforme di miosina contribuiscono alle differenze fra fibre lente e rapide.

Accoppiamento eccitazione-contrazione

Il potenziale d'azione percorre sarcolemma e tubuli T, attiva i sensori di voltaggio e induce il rilascio di Ca^{2+} dal reticolo sarcoplasmatico. Il calcio lega la troponina C e permette l'interazione actina-miosina; la sua ricaptazione tramite SERCA consente il rilassamento. Fatica e adattamento possono modificare l'efficienza di questa catena.

Calcio

Nel muscolo il Ca^{2+} è contemporaneamente segnale contrattile e messaggero metabolico. La sua concentrazione citosolica oscilla rapidamente a ogni attivazione e, su tempi più lunghi, modula vie come CaMK e calcineurina coinvolte negli adattamenti. Omeostasi del calcio e integrità del reticolo sarcoplasmatico sono quindi essenziali sia per la forza acuta sia per la plasticità.

Motoneurone

Il motoneurone alfa rappresenta la via finale con cui il sistema nervoso attiva le fibre muscolari. La sua eccitabilità dipende da input corticali, spinali e sensoriali; insieme alle fibre che innerva costituisce un'unità motoria. Invecchiamento e malattie neurologiche possono ridurre numero o qualità delle unità motorie e quindi la forza anche prima di grandi perdite di massa.

Unità motoria

Una unità motoria comprende un motoneurone e tutte le fibre da esso innervate. Unità piccole consentono controllo fine, unità grandi producono molta forza. Il sistema regola la tensione variando reclutamento e frequenza di scarica, mentre l'allenamento migliora la capacità di coordinare queste strategie in compiti specifici.

Reclutamento delle unità motorie

In condizioni ordinarie le unità motorie vengono reclutate secondo il principio della dimensione: prima quelle a soglia più bassa, poi quelle ad alta soglia quando cresce la richiesta. Carichi elevati le coinvolgono rapidamente; carichi più leggeri possono reclutarle progressivamente avvicinandosi alla fatica. Questa fisiologia spiega perché l'ipertrofia non richieda esclusivamente carichi massimali.

Frequenza di scarica

La forza sviluppata dipende anche dalla frequenza con cui il motoneurone scarica potenziali d'azione. Aumentando il rate coding cresce la sommazione delle risposte delle fibre già reclutate. L'allenamento di forza migliora questa capacità soprattutto nei gesti allenati e nelle fasi iniziali di adattamento neurale.

Coordinazione intra- e intermuscolare

La coordinazione intramuscolare riguarda il modo in cui vengono reclutate e attivate le unità motorie dello stesso muscolo; quella intermuscolare riguarda invece la cooperazione fra agonisti, antagonisti e stabilizzatori. Il miglioramento tecnico riduce attività non necessarie e permette di esprimere più forza senza richiedere necessariamente più massa muscolare.

Capitolo 7 – Fibre muscolari e plasticità

Fibre tipo I

Le fibre di tipo I possiedono elevata densità mitocondriale e capillare, sviluppano forza relativamente bassa e resistono a lungo alla fatica. Sono particolarmente adatte al lavoro posturale e di endurance, ma possono comunque ipertrofizzarsi con resistance training.

Fibre tipo IIa

Le fibre di tipo IIa combinano elevata capacità di produrre forza con una discreta dotazione ossidativa. Sono plastiche e rispondono sia a endurance intenso sia a resistance training, spostando le proprie caratteristiche lungo un continuum metabolico.

Fibre tipo IIx

Le fibre di tipo IIx esprimono la maggiore velocità di contrazione e potenza, ma si affaticano rapidamente. L'allenamento regolare tende spesso a ridurre la quota pura a favore di fenotipi IIa più resistenti, mentre inattività e detraining possono produrre il movimento opposto.

Metabolismo ossidativo e glicolitico

Le fibre muscolari differiscono per densità mitocondriale, capillarizzazione, enzimi ossidativi e capacità glicolitica. Il profilo non è binario: esiste un continuum e ogni muscolo contiene una miscela di fibre. Endurance aumenta soprattutto la capacità ossidativa, mentre sprint e forza mantengono o sviluppano la capacità di generare rapidamente ATP e forza.

Transizione fenotipica delle fibre

L'allenamento modifica l'espressione delle isoforme di miosina e numerose caratteristiche metaboliche. Le transizioni fra IIx e IIa sono relativamente comuni, mentre una completa conversione fra fenotipi estremi è più limitata nell'uomo. Inattività, detraining, invecchiamento e specifici programmi possono spostare il profilo in direzioni differenti.

Effetti di endurance, forza e sedentarietà

Endurance e forza spingono il muscolo verso adattamenti in parte differenti ma non incompatibili: il primo aumenta capacità ossidativa e resistenza alla fatica, il secondo migliora forza, area delle fibre e qualità neuromuscolare. La sedentarietà agisce in senso opposto, riducendo rapidamente enzimi ossidativi, sensibilità insulinica e capacità contrattile.

Età e modificazioni delle fibre

Con l'età diminuiscono soprattutto numero e area delle fibre rapide, si perdono motoneuroni e aumenta il rimodellamento delle unità motorie. Infiltrazione adiposa, fibrosi e riduzione della potenza possono precedere o superare la perdita di massa. Il resistance training rimane efficace anche in età avanzata e deve includere, quando sicuro, componenti di forza e potenza.

Capitolo 8 – Ipertrofia e sintesi proteica

Mechanical tension

La tensione meccanica è il segnale principale che collega il resistance training all'ipertrofia. Conta la tensione sviluppata dalle fibre attive lungo un range di movimento efficace e con sufficiente prossimità al limite prestativo; il semplice dolore muscolare del giorno dopo non misura la qualità dello stimolo.

Stress metabolico

Lo stress metabolico nasce dall'elevato turnover di ATP e dall'accumulo transitorio di metaboliti durante serie impegnative. Può contribuire al segnale ipertrofico, ma non sostituisce la tensione meccanica. Cercare bruciore, congestione o lattato come obiettivo autonomo aumenta spesso la fatica più di quanto migliori l'adattamento.

Danno muscolare: reale importanza

Il danno muscolare può accompagnare soprattutto esercizi nuovi o ad alta componente eccentrica, ma non è un obiettivo dell'allenamento. Un danno eccessivo prolunga il recupero e può ridurre il volume di lavoro utile. L'ipertrofia può verificarsi anche con poco danno quando tensione e volume sono adeguati.

mTOR

Nel muscolo, mTORC1 integra tensione meccanica, aminoacidi e stato energetico e coordina traduzione proteica e biogenesi ribosomiale. Il suo ruolo è centrale nell'ipertrofia, ma l'attivazione acuta non equivale automaticamente a crescita nel lungo periodo.

AMPK

AMPK segnala una riduzione della disponibilità energetica cellulare e favorisce processi che ristabiliscono ATP. Nell'allenamento di endurance coopera alla regolazione di PGC-1 α ; durante resistance training, un'attivazione molto elevata e protratta può entrare in competizione con segnali anabolici senza però annullarli automaticamente.

Leucina

La leucina è un segnale nutrizionale importante per mTORC1, ma il segnale non basta a costruire tessuto. La sintesi proteica richiede la disponibilità dell'intero pool di aminoacidi essenziali, motivo per cui proteine complete o EAA sono più razionali dei soli BCAA.

Ribosomi e ribosomal biogenesis

L'aumento stabile della sintesi proteica richiede non solo attivazione delle vie di traduzione, ma anche capacità ribosomiale. Il resistance training può aumentare la biogenesi dei ribosomi, soprattutto nelle fasi iniziali o quando il volume cresce. Questa risposta contribuisce a spiegare perché l'ipertrofia sia un processo di settimane e mesi, non il semplice effetto di un picco anabolico post-esercizio.

Cellule satelliti

Le cellule satelliti sono cellule staminali muscolari localizzate fra sarcolemma e lamina basale. Si attivano in risposta a danno e carico, proliferano e possono fondersi con le fibre contribuendo alla riparazione e all'aggiunta di mionuclei. Il loro ruolo diventa particolarmente rilevante quando l'ipertrofia è consistente o il tessuto deve rigenerarsi.

Myonuclear domain

Ogni mionucleo sostiene la trascrizione in una porzione del volume della fibra, concetto indicato come myonuclear domain. Quando la fibra aumenta notevolmente di dimensione, l'aggiunta di nuclei derivati dalle cellule satelliti può sostenere una maggiore capacità trascrizionale. Il modello è utile ma non costituisce una soglia rigida identica per tutti i muscoli e per tutte le condizioni.

Sintesi proteica muscolare

La sintesi proteica muscolare aumenta dopo resistance exercise e dopo assunzione di aminoacidi essenziali. Il risultato a lungo termine dipende dalla ripetizione di bilanci proteici favorevoli, non dal singolo picco. Volume, prossimità allo sforzo, apporto proteico totale, distribuzione giornaliera, energia e sonno contribuiscono alla risposta.

Degradazione proteica

La degradazione proteica è parte normale del turnover e rimuove strutture danneggiate o non più necessarie. Ubiquitina-proteasoma e autofagia partecipano al processo e vengono modulati da carico, energia e ormoni. L'obiettivo non è azzerare la degradazione, ma mantenere un turnover compatibile con riparazione, adattamento e bilancio netto favorevole quando si ricerca ipertrofia.

Bilancio proteico netto

Il bilancio proteico netto è la differenza fra sintesi e degradazione. Dopo un pasto proteico o resistance exercise la sintesi può aumentare, ma l'accrescimento tissutale richiede che il bilancio cumulativo sia positivo nel tempo. Durante dimagrimento o invecchiamento l'obiettivo può essere soprattutto limitare il bilancio negativo e conservare massa e funzione.

Resistance exercise e nutrizione

L'esercizio contro resistenza sensibilizza il muscolo agli aminoacidi per molte ore. Una quota adeguata di proteine complete distribuita nella giornata sfrutta questa finestra, mentre energia e carboidrati sostengono qualità del lavoro e recupero in base al volume. Il timing post-workout è utile, ma è meno importante del totale giornaliero e della regolarità delle esposizioni proteiche.

Segnalazione muscolare: mTOR e AMPK non sono “nemici” assoluti

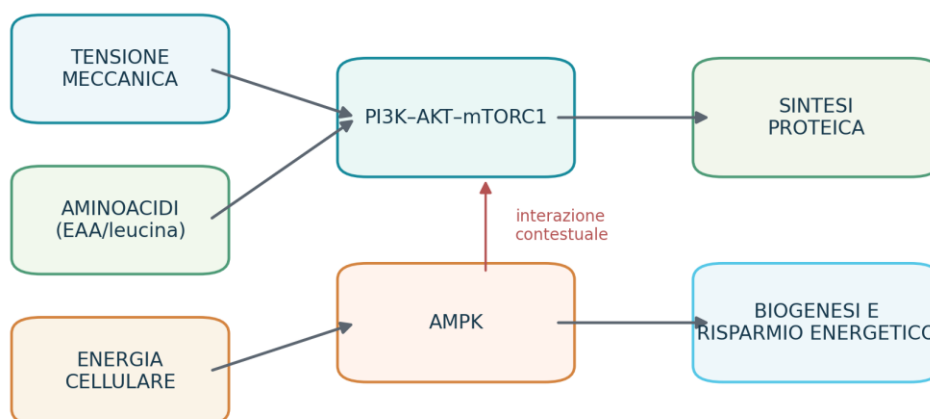


Figura 3. Interazione schematica fra segnali anabolici ed energetici nel muscolo.

Capitolo 9 – Il muscolo come organo endocrino

Miokine

Il muscolo in contrazione secerne peptidi e altre molecole, collettivamente indicati come exerkine e, quando di origine muscolare, miokine. Questi segnali permettono al muscolo di comunicare con tessuto adiposo, fegato, osso, sistema immunitario e cervello, spiegando perché l'esercizio produca effetti sistemici che superano il semplice consumo calorico.

IL-6 muscolare

Durante l'esercizio l'IL-6 di origine muscolare può aumentare rapidamente, soprattutto quando il glicogeno è basso e il lavoro è prolungato. In questo contesto il significato non coincide con quello dell'IL-6 cronicamente elevata nell'infiammazione patologica: può partecipare alla mobilitazione dei substrati e a una successiva risposta antinfiammatoria.

Irisina

L'irisin è un peptide derivato dalla proteolisi di FNDC5, studiato come possibile mediatore del cross-talk fra muscolo, tessuto adiposo e altri organi. Nell'uomo la fisiologia rimane meno definita rispetto a modelli animali e i risultati dipendono anche dai metodi di dosaggio. Va quindi presentata come exerkina di interesse, non come spiegazione unica degli effetti metabolici dell'esercizio.

Myostatin

La miostatina limita la crescita muscolare attraverso segnali della famiglia TGF- β . Mutazioni che ne riducono la funzione producono ipertrofia marcata, ma nella fisiologia dell'allenamento le variazioni sono più moderate e integrate con molte altre vie. Resistance training, stato nutrizionale e malattia possono modificarne l'espressione senza trasformarla in un bersaglio isolato.

BDNF

Il BDNF prodotto o rilasciato in relazione all'attività muscolare partecipa alla comunicazione fra periferia e sistema nervoso, insieme a molte altre miokine. Il suo ruolo non va isolato: è uno dei segnali attraverso cui esercizio e metabolismo possono influenzare plasticità cerebrale.

FGF21

FGF21 è un ormone/metabokina prodotto soprattutto dal fegato, ma può partecipare alla comunicazione interorganica durante stress metabolico ed esercizio. Regola aspetti del metabolismo glucidico e lipidico e la sua concentrazione aumenta anche in condizioni di resistenza metabolica. Per questo un valore elevato non deve essere interpretato automaticamente come segno di migliore adattamento.

Cross-talk muscolo-tessuto adiposo

Muscolo e tessuto adiposo comunicano attraverso miokine, adipokine, acidi grassi e segnali metabolici. L'esercizio migliora la capacità del muscolo di captare substrati e può ridurre il grasso viscerale, attenuando il flusso di segnali pro-infiammatori provenienti dall'adiposo. Il beneficio dipende anche dal bilancio energetico e dalla composizione corporea.

Cross-talk muscolo-fegato

Durante l'esercizio il fegato mantiene la glicemia attraverso glicogenolisi e gluconeogenesi, mentre il muscolo utilizza glucosio, lattato e acidi grassi. Lattato, alanina, ormoni ed exerkine coordinano lo scambio fra i due organi. L'allenamento migliora sensibilità insulinica e gestione dei substrati, con ricadute importanti anche sulla steatosi metabolica.

Cross-talk muscolo-osso

Muscolo e osso interagiscono meccanicamente attraverso trazioni e carico gravitazionale e biochimicamente attraverso miokine e osteokine. Aumentare forza e potenza riduce inoltre il rischio di caduta, amplificando indirettamente la protezione ossea. La strategia più efficace combina quindi stimolo osteogenico diretto e miglioramento della funzione neuromuscolare.

Cross-talk muscolo-cervello

L'attività muscolare modifica flusso ematico, metabolismo, fattori neurotrofici ed exerkine che possono influenzare il sistema nervoso. BDNF, lattato e segnali periferici partecipano alla plasticità, ma il quadro è multiorgano e non attribuibile a una singola miokina. L'effetto cognitivo dell'esercizio dipende anche dal miglioramento cardiovascolare e dal sonno.

Muscolo e immunità

Il muscolo attivo modifica temporaneamente traffico leucocitario e profilo delle citochine; sul lungo periodo contribuisce a ridurre grasso viscerale e infiammazione cronica di basso grado. La massa muscolare costituisce inoltre una riserva metabolica importante durante malattia e immobilità. Eccesso di carico, scarsa disponibilità energetica e sonno insufficiente possono però ridurre questi vantaggi.

Take home message

Il muscolo è contemporaneamente motore, deposito metabolico e organo di segnalazione. Conservarne forza e massa significa proteggere molto più del movimento.

PARTE III – MITOCONDRI E METABOLISMO

La capacità di produrre ATP in modo efficiente, cambiare carburante e mantenere una rete mitocondriale di qualità è uno dei bersagli più importanti dell'allenamento e dell'invecchiamento sano.

Capitolo 10 – Mitocondri e attività fisica

Struttura e funzione mitocondriale

I mitocondri possiedono membrane esterna e interna, creste, matrice e un proprio genoma. Oltre a produrre ATP, partecipano a segnalazione redox, metabolismo intermedio, gestione del calcio e controllo dell'apoptosi. La qualità della rete dipende non soltanto dal numero di organelli, ma da proteine respiratorie, morfologia, turnover e integrazione con il resto della cellula.

Densità mitocondriale

L'allenamento di endurance può aumentare contenuto e densità mitocondriale nel muscolo, cioè la quantità di apparato ossidativo disponibile per unità di tessuto. L'entità dell'aumento dipende da volume, intensità, stato iniziale e recupero; nei soggetti già allenati il margine di crescita è minore e diventa più importante la qualità funzionale dei mitocondri.

Capacità ossidativa

La capacità ossidativa descrive quanto rapidamente il muscolo può produrre ATP attraverso i mitocondri. Aumenta con densità mitocondriale, contenuto enzimatico, perfusione e trasporto di substrati. Un maggiore potenziale ossidativo consente di sostenere una stessa potenza con minore perturbazione metabolica e di recuperare più rapidamente fra sforzi.

PGC-1 α

PGC-1 α è un coattivatore trascrizionale centrale nell'adattamento ossidativo. Viene modulato da segnali quali AMPK, CaMK, p38 MAPK e stato redox e coordina programmi che aumentano capacità mitocondriale, trasporto degli acidi grassi e fenotipo ossidativo.

NRF1 e NRF2

NRF1 partecipa alla trascrizione di geni nucleari necessari alla funzione mitocondriale; Nrf2, con nomenclatura simile ma ruolo diverso, regola la risposta a stress ossidativo ed elettrofili. Entrambi possono essere coinvolti negli adattamenti all'esercizio, ma non vanno confusi. La biogenesi mitocondriale nasce dall'integrazione di più fattori, fra cui PGC-1 α , NRF1 e TFAM.

TFAM

TFAM entra nel mitocondrio e regola trascrizione, replicazione e organizzazione del DNA mitocondriale. PGC-1 α e fattori nucleari contribuiscono ad aumentarne l'espressione quando cresce la domanda ossidativa. È quindi uno dei punti di collegamento fra segnali provenienti dal nucleo e mantenimento del genoma mitocondriale.

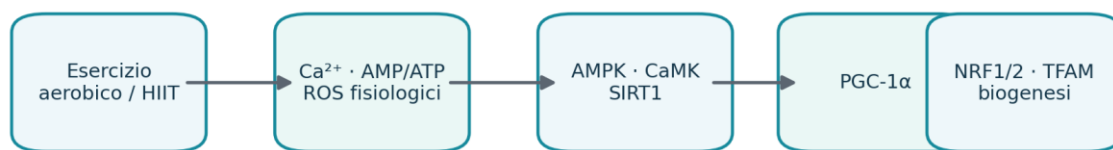
Biogenesi mitocondriale

La biogenesi mitocondriale è un processo coordinato che coinvolge genoma nucleare e mitocondriale. L'esercizio ripetuto aumenta la capacità ossidativa mediante sintesi di proteine, rimodellamento delle creste, variazioni del numero e della dimensione degli organelli e miglioramento della rete mitocondriale.

Exercise-induced mitochondrial adaptation

Una singola seduta modifica rapidamente fosforilazioni, stato energetico e trascrizione; la ripetizione delle sedute porta ad aumenti più stabili di proteine, enzimi e capacità respiratoria. Gli adattamenti sono specifici per intensità, volume e muscoli utilizzati. Con l'allenamento la stessa seduta produce un segnale minore, rendendo necessaria una progressione o una variazione dello stimolo.

Biogenesi mitocondriale indotta dall'esercizio



Aumento della capacità ossidativa, non semplice aumento “numerico” dei mitocondri

Figura 4. Principali segnali che convergono sulla biogenesi mitocondriale.

Capitolo 11 – Dinamica e qualità mitocondriale

Fusione

La fusione consente ai mitocondri di condividere componenti e contribuisce alla resilienza della rete. È bilanciata dalla fissione; il valore fisiologico sta nella dinamica appropriata, non nella massimizzazione di un singolo processo.

Fissione

La fissione permette di separare porzioni della rete e facilita la rimozione di componenti danneggiati. Durante l’adattamento all’esercizio, fusione e fissione cambiano in maniera coordinata con la mitofagia.

Mitofagia

La mitofagia elimina mitocondri o porzioni mitocondriali non più efficienti. L’esercizio, dosato correttamente, sostiene il controllo di qualità attraverso cicli di stress e ricostruzione; per questo “più mitocondri” non è sufficiente se la rete non mantiene efficienza funzionale.

Autofagia

L’autofagia ricicla componenti cellulari attraverso i lisosomi e contribuisce al controllo di qualità. L’esercizio acuto può stimolarla in modo dipendente da tessuto, intensità e stato nutrizionale; nel tempo essa coopera con sintesi e rimodellamento. Un equilibrio efficace richiede quindi sia degradazione selettiva sia ricostruzione.

Controllo di qualità mitocondriale

La qualità mitocondriale dipende dall'equilibrio fra biogenesi, fusione, fissione e rimozione selettiva degli organelli danneggiati. L'esercizio agisce su tutti questi processi e, quando è seguito da recupero adeguato, rinnova la popolazione mitocondriale invece di limitarsi ad aumentarne il numero.

Mitocondri e invecchiamento

L'invecchiamento è associato a riduzione della capacità ossidativa, alterazioni della dinamica mitocondriale e minore flessibilità metabolica, anche per effetto dell'inattività. L'esercizio di endurance e quello contro resistenza preservano aspetti differenti della funzione mitocondriale. Una parte delle differenze attribuite all'età riflette quindi il livello di attività e può essere modificata.

Exercise physiology e mitocondri disfunzionali

Nelle condizioni con disfunzione mitocondriale acquisita, una dose appropriata di esercizio può aumentare capacità ossidativa e tolleranza allo sforzo; nelle malattie mitocondriali primitive la risposta è più eterogenea e richiede supervisione specialistica. Il principio generale è usare lo stimolo per aumentare capacità senza superare in modo cronico la soglia di recupero.

Capitolo 12 – Allenare i mitocondri

Endurance continuo

Il lavoro continuo a intensità bassa o moderata permette di accumulare volume con costo neuromuscolare relativamente contenuto. Migliora capacità ossidativa, densità capillare e uso dei substrati ed è una base utile anche per tollerare successivamente intervalli più intensi. La durata deve crescere gradualmente, soprattutto nei sedentari e nei soggetti clinici.

Zone 2

Con 'Zone 2' si indica, nella pratica, un lavoro aerobico sostenibile collocato sotto la prima grande transizione metabolico-ventilatoria o nelle sue vicinanze, a seconda del modello usato. Il vantaggio principale è poter accumulare molto tempo di lavoro con una fatica relativamente contenuta, stimolando capacità ossidativa e utilizzo dei substrati.

HIIT

L'HIIT alterna intervalli ad alta intensità e recuperi incompleti o completi. La sua efficacia deriva dall'accumulo di tempo a elevata richiesta cardiorespiratoria e metabolica; può aumentare VO_{2max} e capacità ossidativa con sedute brevi, ma richiede una progressione adeguata e non sostituisce necessariamente il lavoro continuo.

SIT

Lo sprint interval training utilizza sforzi molto brevi e quasi massimali o massimali, separati da recuperi relativamente lunghi. Produce un forte segnale metabolico in poco tempo, ma ha un costo neuromuscolare e percettivo elevato; per salute generale non è indispensabile e va riservato a soggetti adatti.

Resistance training e mitocondri

L'allenamento contro resistenza è noto per forza e ipertrofia, ma modifica anche contenuto e qualità mitocondriale, soprattutto nei soggetti sedentari o anziani. Aumentando massa contrattile e richiesta energetica migliora la capacità metabolica complessiva del muscolo. Non sostituisce però del tutto il lavoro aerobico quando l'obiettivo principale è massimizzare fitness cardiorespiratoria.

Concurrent training

Nel programma mitocondriale, forza ed endurance possono convivere: la forza protegge massa e funzione, l'endurance fornisce il principale volume ossidativo. L'interferenza diventa un problema soprattutto quando volumi elevati e recupero insufficiente comprimono entrambi gli adattamenti.

Volume versus intensità

Volume e intensità descrivono due componenti diverse della dose. Un volume elevato facilita l'accumulo di lavoro, mentre intensità maggiori aumentano lo stress per unità di tempo. Per gli adattamenti mitocondriali esiste un'ampia zona di efficacia: il problema pratico è combinare stimoli sufficienti senza trasformare ogni seduta in una prova massimale.

Recupero e biogenesi mitocondriale

La biogenesi mitocondriale viene avviata dallo stimolo ma si consolida nelle ore e nei giorni successivi. Sonno, energia disponibile e alternanza fra sedute dure e facili permettono di tradurre segnali come AMPK, CaMK e PGC-1 α in nuova capacità funzionale.

Take home message

I mitocondri rispondono alla continuità: volume aerobico, picchi di intensità selezionati e recupero sufficiente. Massimizzare la fatica non massimizza la biogenesi.

PARTE IV – MEC, CONNETTIVO E MECCANOTRASDUZIONE

Il movimento non agisce soltanto attraverso ormoni e metaboliti: deforma fisicamente cellule e matrice. La meccanotrasduzione permette di leggere il carico come informazione biologica.

Capitolo 13 – Matrice extracellulare e sistema connettivo

Il sistema connettivo non è un semplice riempimento: la MEC organizza l'ambiente meccanico e biochimico in cui le cellule vivono. Collagene, elastina, proteoglicani e glicoproteine specializzate formano una rete capace di sostenere, trasmettere forze e modulare segnali.

MEC come ambiente cellulare

La matrice extracellulare non è un semplice riempitivo. Collagene, elastina, proteoglicani, glicoproteine e acqua formano un ambiente dinamico che trasmette forze, presenta ligandi ai recettori, regola diffusione e influenza il comportamento cellulare.

Collagene

Il collagene costituisce la principale famiglia di proteine strutturali della MEC. Nei tendini e nei legamenti le fibre si orientano secondo le linee di carico; nell'osso partecipano alla componente organica che conferisce tenacità. Il turnover è lento, perciò l'adattamento richiede mesi di carico progressivo più che variazioni rapide di programma.

Elastina

L'elastina permette a molti tessuti di deformarsi e recuperare la forma con un costo energetico ridotto. È abbondante, a esempio, nelle pareti arteriose e in alcune componenti connettivali. Rispetto al collagene ha un turnover molto più lento e una capacità di rigenerazione limitata.

Proteoglicani

I proteoglicani sono formati da una proteina centrale associata a catene di glicosaminoglicani. Trattengono acqua, regolano diffusione di soluti e contribuiscono alla risposta compressiva di cartilagine e altri tessuti. Il carico ciclico ne condiziona distribuzione e turnover.

Glicosaminoglicani

I glicosaminoglicani sono polisaccaridi fortemente idrofili che contribuiscono all'idratazione e alle proprietà viscoelastiche della matrice. La loro interazione con acqua, proteoglicani e collagene permette ai tessuti di sopportare compressione e di facilitare gli scambi interstiziali.

Acido ialuronico

L'acido ialuronico è un glicosaminoglicano non solforato presente nella sostanza fondamentale, nel liquido sinoviale e in numerosi tessuti. Contribuisce a idratazione, scorrimento e viscoelasticità; concentrazione e peso molecolare ne modificano le proprietà biologiche.

Fascia

La fascia è una rete connettivale continua che avvolge, separa e collega strutture corporee. Trasmette forze fra segmenti, ospita terminazioni sensoriali e modifica le proprie proprietà in risposta a immobilità, carico e infiammazione. Non va però descritta come un sistema indipendente dal resto dell'apparato locomotore.

Tendini

Il tendine trasferisce la forza dal muscolo all'osso e immagazzina energia elastica durante molti gesti ciclici. La sua risposta dipende dall'entità e dalla velocità della deformazione; carichi progressivi, soprattutto di trazione, aumentano stiffness e capacità meccanica, mentre il riposo assoluto prolungato ne riduce la competenza.

Legamenti

I legamenti guidano e limitano il movimento articolare, contribuendo alla stabilità passiva e alla propriocezione. Rispondono al carico più lentamente del muscolo; dopo lesione o immobilizzazione il recupero richiede progressione meccanica e tempo biologico adeguato.

Cartilagine

La cartilagine articolare distribuisce i carichi e riduce l'attrito grazie a matrice collagena, proteoglicani e acqua. Essendo priva di vasi, dipende dalla diffusione e dai cicli di compressione-decompressione per gli scambi nutritivi. Il movimento dosato è quindi parte della sua fisiologia.

Membrane basali

Le membrane basali sono sottili matrici specializzate, ricche di laminina e collagene IV, che sostengono epiteli, endotelio e fibre muscolari. Non sono semplici supporti: orientano adesione, polarità e segnalazione cellulare e partecipano alla trasmissione delle forze.

Capitolo 14 – Meccanotrasduzione

La meccanotrasduzione spiega come una deformazione fisica venga convertita in una risposta biochimica. Integrine, adesioni focali, citoscheletro e nucleo costituiscono una continuità funzionale che permette alla cellula di 'leggere' il carico.

Dal carico meccanico al segnale cellulare

Una deformazione della MEC o della membrana viene rilevata da integrine, canali meccanosensibili e citoscheletro. Le forze modificano conformazione di proteine e adesioni focali, attivando chinasi e fattori trascrizionali. In questo modo una grandezza fisica come tensione, compressione o shear stress può diventare una risposta biochimica e infine strutturale.

Integrine

Le integrine attraversano la membrana e collegano la matrice extracellulare al citoscheletro. La loro aggregazione nelle adesioni focali consente di trasformare deformazioni e tensioni in segnali biochimici, coinvolgendo FAK e numerose proteine adattatrici.

Focal adhesion

Le adesioni focali sono complessi multiproteici che collegano integrine e actina. Si assemblano e rimodellano in risposta alla forza e ospitano proteine come talina, vinculina e FAK. Non sono semplici ancoraggi: regolano migrazione, sopravvivenza, proliferazione e adattamento meccanico.

Talina

La talina collega la coda citoplasmatica delle integrine all'actina e può cambiare conformazione sotto tensione, esponendo siti di legame. Questo comportamento la rende un elemento sensibile alla forza nelle adesioni focali. Il reclutamento di altre proteine, fra cui vinculina, stabilizza il collegamento quando il carico aumenta.

Vinculina

La vinculina rinforza il collegamento fra talina, actina e complessi di adesione quando aumenta la tensione. Contribuisce quindi alla trasmissione della forza e alla stabilità delle adesioni focali. La sua funzione mostra come la meccanotrasduzione dipenda da proteine che cambiano organizzazione in base allo stato meccanico della cellula.

FAK

FAK, focal adhesion kinase, viene attivata nelle adesioni focali e integra segnali meccanici e provenienti da fattori di crescita. Attraverso più vie modula citoscheletro, sopravvivenza, migrazione e sintesi proteica. Nel muscolo e nel connettivo è una delle interfacce che convertono il carico in rimodellamento.

Citoplasma e citoscheletro

Microfilamenti di actina, microtubuli e filamenti intermedi organizzano la forma cellulare e distribuiscono le forze dalla membrana al nucleo. Il citoscheletro è dinamico e cambia in pochi secondi o minuti. Questa continuità meccanica spiega perché la geometria della cellula e la rigidità del substrato possano modificare anche l'espressione genica.

Tensegrità

La tensegrità è un modello utile per descrivere come elementi in tensione e compressione distribuiscano le forze attraverso strutture biologiche. Va impiegata come modello biomeccanico e non come spiegazione universale: la risposta tissutale dipende anche da viscosità, architettura, perfusione e attività cellulare.

Meccanosensibilità cellulare

Le cellule non misurano il carico con un unico sensore. Integrine, canali PIEZO, glicocalice, membrane, citoscheletro e giunzioni cellulari contribuiscono a rilevare tensione, pressione, stiramento e flusso. La risposta dipende dal tipo di cellula e dalla storia del carico, perciò lo stesso stimolo può avere esiti diversi in osso, tendine, muscolo o endotelio.

Piezo1/Piezo2

PIEZO1 e PIEZO2 sono canali ionici meccanosensibili. La deformazione della membrana può modificarne l'apertura e quindi il flusso di ioni, traducendo una forza fisica in variazioni elettriche e biochimiche. La loro funzione varia in base al tipo cellulare e al tessuto.

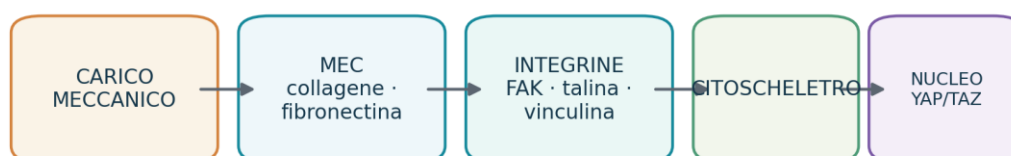
YAP/TAZ

YAP e TAZ partecipano alla trasduzione dei segnali meccanici verso il nucleo. Substrato, rigidità della matrice, forma cellulare e tensione del citoscheletro ne modulano la localizzazione e quindi l'espressione di geni coinvolti in crescita, differenziazione e rimodellamento.

Trasmissione del segnale al nucleo

Le forze possono raggiungere il nucleo attraverso il citoscheletro e complessi LINC, modificando forma nucleare e accessibilità della cromatina. Parallelamente vie biochimiche attivano fattori come YAP/TAZ, MAPK e altri regolatori trascrizionali. L'adattamento strutturale nasce dall'integrazione di queste vie meccaniche e chimiche.

Meccanotrasduzione: la forza diventa informazione biologica



La risposta dipende da intensità, direzione, frequenza del carico e capacità di recupero del tessuto.

Figura 5. Dalla matrice extracellulare al nucleo: schema della meccanotrasduzione.

Fermati un attimo

La meccanotrasduzione non significa che ogni tensione sia terapeutica. Un tessuto reagisce in modo utile solo entro una dose compatibile con la sua capacità attuale.

Capitolo 15 – Esercizio e rimodellamento della MEC

Allenare la MEC significa applicare carichi che il tessuto possa trasformare in rimodellamento. Muscolo e connettivo si adattano con tempi differenti: la progressione deve rispettare questa asimmetria, soprattutto nei tendini e nelle strutture a lento turnover.

Fibroblasti

I fibroblasti sono le cellule principali del rimodellamento connettivale: percepiscono tensione e deformazione attraverso integrine e citoscheletro, quindi modulano sintesi, organizzazione e degradazione della matrice. La risposta dipende dalla storia del carico e non dal singolo picco di forza; stimoli ripetuti e recuperabili orientano il tessuto verso una struttura più adatta alla funzione richiesta.

Sintesi del collagene

La sintesi del collagene aumenta dopo carichi meccanici adeguati, ma la risposta è lenta e prosegue per molte ore. La qualità del rimodellamento dipende dalla ripetizione dello stimolo, dall'energia disponibile e dalla disponibilità di aminoacidi e micronutrienti necessari alla maturazione della matrice.

Turnover della matrice

La matrice extracellulare è in continuo turnover. Sintesi di collagene e proteoglicani, degradazione mediata anche da metalloproteinasi e maturazione dei legami crociati procedono con velocità diverse nei vari tessuti. L'esercizio modifica questo equilibrio nel tempo: il risultato utile nasce dalla ripetizione di carichi compatibili con la capacità di recupero, non da una singola seduta aggressiva.

Stiffness

La stiffness descrive la resistenza di un tessuto alla deformazione sotto carico. Nel tendine una certa rigidità è funzionale alla trasmissione rapida della forza, mentre un eccesso o un difetto possono alterare la meccanica. Allenamento, età, immobilizzazione e proprietà del collagene la modificano; per questo non va interpretata come valore universalmente 'buono' o 'cattivo'.

Elasticità

L'elasticità consente a un tessuto di deformarsi e recuperare forma, immagazzinando e restituendo parte dell'energia meccanica. Elastina, architettura delle fibre e contenuto acquoso contribuiscono in misura diversa secondo il distretto. Il training modifica soprattutto l'organizzazione funzionale del complesso muscolo-tendine più che una generica 'elasticità' dell'intera fascia.

Idratazione della MEC

L'acqua è parte integrante della sostanza fondamentale della MEC. Proteoglicani e glicosaminoglicani richiamano acqua e influenzano viscosità, diffusione dei soluti e risposta alla compressione. Movimento, pressione osmotica e stato infiammatorio ne modificano la distribuzione; l'idratazione sistemica è necessaria, ma da sola non corregge una matrice poco caricata o patologicamente alterata.

Movimento dei fluidi interstiziali

Compressione, rilascio e scorrimento generati dal movimento spostano il fluido interstiziale e facilitano gli scambi fra capillari, matrice e cellule. Questo meccanismo è particolarmente rilevante nei tessuti poco vascolarizzati, come la cartilagine. L'alternanza fra carico e scarico favorisce quindi nutrizione e omeostasi tissutale molto più di una pressione statica prolungata.

Adattamento fasciale

La fascia si adatta alla storia dei carichi: immobilità prolungata, dolore e movimenti monotoni possono ridurre scorrimento e variabilità, mentre un programma che combina forza, escursioni articolari e compiti multidirezionali mantiene meglio la funzione. Le modificazioni osservate sono del sistema miofasciale nel suo insieme, non di una presunta fascia isolata.

Immobilità e fibrosi

L'immobilizzazione riduce i segnali meccanici necessari al turnover connettivale, favorisce perdita di organizzazione e può aumentare rigidità e aderenze. Se l'assenza di carico si prolunga, deposizione e degradazione della matrice possono sbilanciarsi verso fibrosi e perdita di scorrimento. La ripresa richiede carico progressivo: un tessuto decondizionato non recupera con l'inattività ulteriore né con un sovraccarico improvviso.

Sovraccarico e degenerazione

Il carico è necessario per mantenere connettivo e cartilagine, ma la relazione dose-risposta non è lineare. Stimoli troppo rapidi, ripetitivi o non recuperati possono superare la capacità di rimodellamento e favorire dolore o lesione; al contrario l'assenza di carico riduce capacità e tolleranza. La strategia è costruire progressivamente un margine fra capacità del tessuto e domanda.

Carico ottimale e recupero

Il carico ottimale per un tessuto connettivo è quello sufficientemente alto da stimolare rimodellamento senza superare la capacità di recupero. Poiché tendini, legamenti e cartilagine si adattano più lentamente del muscolo, la progressione deve essere meno impulsiva e valutare dolore, rigidità e funzione nelle 24–48 ore successive.

PARTE V – OSSO, CARTILAGINE E ARTICOLAZIONI

OssO e cartilagine non sono strutture inerti. Il carico adeguato è necessario per conservarne la funzione; il problema nasce sia dalla sedentarietà sia dall'eccesso non progressivo.

Capitolo 16 – Exercise Physiology dell'osso

OssO come tessuto dinamico

L'osso viene continuamente rimodellato da osteoclasti e osteoblasti sotto il controllo degli osteociti. Questo turnover permette di riparare microdanni, adattare l'architettura al carico e contribuire all'omeostasi minerale. Massa, microarchitettura, geometria e qualità del materiale concorrono insieme alla resistenza alla frattura.

Osteociti

Gli osteociti sono le cellule ossee mature più numerose e funzionano come sensori meccanici. Attraverso la rete lacuno-canalicolare percepiscono deformazioni e flusso di liquidi e modulano osteoblasti e osteoclasti, anche tramite sclerostina e segnali Wnt.

Osteoblasti

Gli osteoblasti sintetizzano la matrice organica dell'osso e ne promuovono la mineralizzazione. Derivano da cellule mesenchimali e, al termine della fase formativa, possono diventare osteociti o cellule di rivestimento.

Osteoclasti

Gli osteoclasti sono cellule multinucleate specializzate nel riassorbimento osseo. La loro attività è necessaria al normale rimodellamento ma, quando supera stabilmente la formazione, la massa e la microarchitettura ossea peggiorano.

Meccanostat

Il modello del meccanostat descrive l'osso come tessuto capace di adattarsi alle deformazioni meccaniche abituali. Gli osteociti rilevano il carico e regolano il rimodellamento; stimoli dinamici, variati e sufficientemente intensi tendono a essere più osteogenici della semplice attività a basso carico.

Legge di Wolff

La legge di Wolff rimane un utile principio storico: l'architettura ossea si modifica in rapporto alle richieste meccaniche. Oggi il concetto viene integrato con la fisiologia degli osteociti, la via Wnt/ β -catenina, la sclerostina e l'accoppiamento fra formazione e riassorbimento.

Wnt/ β -catenina

La via Wnt/ β -catenina favorisce differenziazione e attività osteoblastica. Il carico meccanico può modulare questa via anche riducendo segnali inibitori come la sclerostina prodotta dagli osteociti. L'effetto osteogenico dell'esercizio nasce dall'interazione fra deformazione, segnali cellulari e disponibilità di energia, proteine, calcio e vitamina D.

Sclerostina

La sclerostina, prodotta soprattutto dagli osteociti, inibisce la via Wnt e quindi la formazione ossea. Il carico meccanico può ridurne l'espressione in specifici contesti, favorendo un ambiente più permissivo alla formazione ossea.

Rimodellamento osseo

Il rimodellamento osseo accoppia riassorbimento e nuova formazione in unità multicellulari. Ormoni, calcio, vitamina D, disponibilità energetica e carico meccanico ne modificano il bilancio; l'adattamento richiede settimane e mesi.

Massa versus qualità ossea

La densità minerale non esaurisce la qualità dell'osso. Geometria, microarchitettura, collagene, mineralizzazione e accumulo di microdanni contribuiscono alla resistenza alla frattura; per questo due ossa con BMD simile possono avere competenza meccanica diversa.

Osso: il carico è un segnale, non soltanto un peso

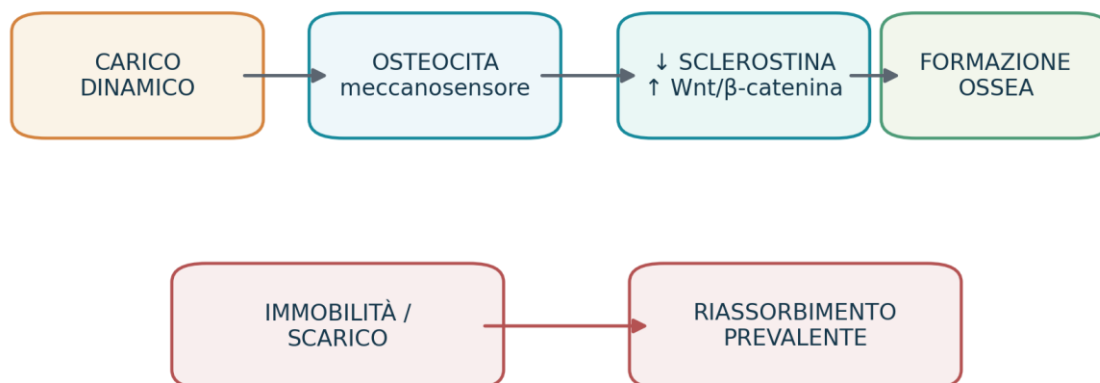


Figura 6. Il carico meccanico modula il rimodellamento osseo attraverso la funzione degli osteociti.

Capitolo 17 – Quale esercizio per l'osso

Resistance training

Per interpretare resistance training conviene seguire la sequenza stimolo → risposta → recupero → adattamento. Una singola misura descrive soltanto un momento del processo, mentre la ripetizione degli stimoli determina il cambiamento stabile. Questa distinzione evita di confondere un picco acuto con il beneficio a lungo termine.

Impatti

Gli impatti brevi e relativamente intensi producono elevate deformazioni ossee e possono essere molto osteogenici. Salti, atterraggi e cambi di direzione vanno però introdotti solo quando forza, tecnica e rischio di frattura lo consentono.

Salti

I salti combinano impatto e rapida produzione di forza e sono utili per osso e potenza. La dose si esprime anche come numero di contatti; poche serie ben eseguite possono essere sufficienti, soprattutto nei programmi per salute.

Corsa

La corsa carica soprattutto arti inferiori, bacino e colonna e può contribuire al mantenimento osseo, ma lo stimolo diventa meno efficace con l'abitudine. Variazioni di velocità, pendenza e direzione aumentano la novità meccanica, purché siano tollerate.

Cammino

Il cammino è fondamentale per funzione, autonomia e prevenzione delle cadute, ma lo stimolo osteogenico può essere modesto nei soggetti già abituati a camminare. Per l'osso va quindi integrato con resistance training e, quando sicuri, impatti più intensi e variati.

Esercizio in acqua

L'esercizio in acqua riduce il carico gravitazionale e facilita movimento in presenza di dolore o obesità. È molto utile per fitness e funzione, ma lo stimolo diretto sull'osso è inferiore rispetto alle attività in carico.

Dose minima osteogenica

Per stimolare l'osso serve un carico sufficientemente diverso dalle sollecitazioni abituali. Brevi esposizioni ad alta deformazione, variazioni di direzione, salti o resistance training possono fornire segnali efficaci, con recupero fra le esposizioni. La dose minima dipende da età, sede scheletrica, esperienza, densità ossea e rischio di frattura, quindi non esiste un numero universale.

Recupero dell'osso

Il rimodellamento osseo richiede tempo. Dopo uno stimolo meccanico efficace non serve ripetere continuamente lo stesso impatto: brevi esposizioni separate da recupero possono essere più osteogeniche di un carico lungo e monotono.

Osteopenia

Nell'osteopenia l'esercizio ha una funzione preventiva e terapeutica: resistance training e impatti appropriati aiutano a mantenere o aumentare lo stimolo osteogenico prima che il rischio di frattura diventi elevato.

Osteoporosi

Nell'osteoporosi la priorità è migliorare forza e ridurre il rischio di caduta senza rinunciare al carico sull'osso. La selezione di impatti e flessioni spinali sotto carico deve considerare storia di fratture e sede della fragilità.

Prevenzione delle cadute

La prevenzione delle cadute richiede forza degli arti inferiori, equilibrio, velocità di reazione, vista e gestione dell'ambiente domestico. Gli esercizi devono sfidare realmente l'equilibrio in sicurezza, non limitarsi a movimenti facili e ripetitivi.

Capitolo 18 – Cartilagine e articolazioni

Omeostasi cartilaginea

L'omeostasi cartilaginea dipende dall'equilibrio fra sintesi e degradazione della matrice. Condrociti e matrice rispondono a carichi meccanici, infiammazione e composizione del liquido sinoviale. Sia l'immobilità sia carichi eccessivi e ripetuti possono spostare l'equilibrio verso una minore capacità funzionale.

Carico e nutrizione della cartilagine

La cartilagine riceve nutrienti soprattutto per diffusione dal liquido sinoviale e dall'osso subcondrale. I cicli di carico e scarico favoriscono movimento di acqua e soluti; per questo il movimento regolare, entro una dose tollerata, sostiene la funzione meglio dell'inattività prolungata.

Liquido sinoviale

Il liquido sinoviale riduce attrito e favorisce gli scambi nutritivi della cartilagine, che è priva di vasi. Il movimento alterna compressione e decompressione e facilita il trasporto di soluti. Immobilità prolungata e carico eccessivo sono entrambi sfavorevoli: la cartilagine beneficia di una esposizione ciclica e progressiva.

Compressione e decompressione

Durante il carico la cartilagine espelle parte del fluido interstiziale e distribuisce la pressione; durante lo scarico il fluido rientra. Questo ciclo contribuisce alla lubrificazione e agli scambi di nutrienti e metaboliti. La variabilità del movimento e i periodi di recupero proteggono meglio del carico statico protratto.

Artrosi

L'artrosi coinvolge l'intera articolazione: cartilagine, osso subcondrale, sinovia, muscoli e strutture periarticolari. Il dolore non è proporzionale in modo semplice alla radiografia. Esercizio aerobico, forza e riduzione del peso quando indicata migliorano funzione e sintomi, mentre il programma deve rispettare tolleranza e eventuali riacutizzazioni.

Movimento ciclico

Cammino, ciclismo e altri movimenti ciclici alternano compressione e decompressione e possono favorire lubrificazione e scambio di nutrienti nell'articolazione. Il beneficio dipende però dalla dose: dolore crescente, gonfiore persistente o perdita di funzione indicano che il carico va modificato.

Esercizio e dolore articolare

Il dolore durante la riabilitazione non equivale automaticamente a danno, ma deve essere interpretato per intensità, durata e risposta nelle ore successive. Una modesta sintomatologia transitoria può essere compatibile con progressione; dolore crescente, gonfiore importante o perdita di funzione richiedono riduzione del carico e valutazione. Il monitoraggio della risposta a 24 ore è spesso più utile del giudizio sul singolo momento.

Mobilità e stabilità

Mobilità e stabilità non sono obiettivi opposti. Un'articolazione deve possedere escursione sufficiente e controllo attivo lungo quella escursione. Il programma va quindi costruito sul deficit reale: aumentare mobilità dove manca movimento, forza e controllo dove manca capacità di gestirlo.

Take home message

La cartilagine e l'articolazione hanno bisogno di movimento e carico graduato. Immobilità e sovraccarico sono due estremi dello stesso errore.

PARTE VI – MEMBRANE CELLULARI E SEGNALE

Ogni adattamento passa attraverso membrane capaci di ricevere, filtrare e trasmettere segnali. Trasportatori, recettori e canali meccanosensibili collegano l'ambiente esterno alla risposta intracellulare.

Capitolo 19 – Membrana cellulare e adattamento all'esercizio

Struttura della membrana

La membrana plasmatica è un doppio strato lipidico dinamico contenente proteine, colesterolo e microdomini. Oltre a delimitare la cellula, regola trasporto, eccitabilità, adesione e ricezione di segnali. L'esercizio modifica flussi di ioni, distribuzione dei trasportatori e composizione lipidica nel tempo, contribuendo alla plasticità cellulare.

Fosfolipidi

I fosfolipidi formano il doppio strato della membrana e ne determinano in parte fluidità, curvatura e capacità di ospitare proteine. La composizione degli acidi grassi cambia con dieta e metabolismo, ma viene regolata attivamente dalla cellula.

Colesterolo di membrana

Il colesterolo di membrana stabilizza il doppio strato e modula fluidità e organizzazione dei microdomini. Troppo o troppo poco altera la funzione di recettori e trasportatori; il suo ruolo di membrana è distinto dalla concentrazione delle lipoproteine plasmatiche.

Fluidità

La fluidità della membrana dipende da temperatura, colesterolo e composizione degli acidi grassi. Deve restare entro un intervallo che permetta movimento laterale delle proteine senza perdere integrità strutturale.

Lipid rafts

I lipid rafts sono microdomini ricchi di colesterolo e sfingolipidi che possono organizzare recettori e molecole di segnalazione. Sono strutture dinamiche e il loro ruolo va interpretato come parte dell'architettura di membrana, non come compartimenti rigidi.

Recettori

I recettori di membrana trasformano segnali extracellulari in risposte intracellulari. L'esercizio modifica ripetutamente ormoni, forze meccaniche e metaboliti e quindi cambia il contesto in cui questi recettori vengono attivati e regolati.

Trasportatori

I trasportatori controllano il passaggio selettivo di glucosio, aminoacidi e ioni. Un esempio centrale è GLUT4, che aumenta sulla membrana del muscolo durante la contrazione e in risposta all'insulina.

Canali ionici

I canali ionici regolano eccitabilità e gradienti elettrici di membrana. Nel muscolo e nel nervo il movimento di Na^+ , K^+ e Ca^{2+} è indispensabile per potenziale d'azione, contrazione e recupero dopo lo sforzo.

Meccanosensibilità

Stiramento, pressione e shear stress possono modificare direttamente la funzione di canali ionici, integrine e proteine di membrana. Questa sensibilità è importante nel muscolo, nell'endotelio, nell'osso e nei neuroni sensoriali. Lo stimolo meccanico viene così trasformato in flussi ionici e segnali intracellulari prima ancora che compaiano cambiamenti strutturali visibili.

Capitolo 20 – Segnalazione metabolica

GLUT4

La contrazione muscolare favorisce la traslocazione di GLUT4 verso la membrana attraverso vie in parte indipendenti dall'insulina. Questo spiega perché una singola seduta possa aumentare l'assorbimento di glucosio e perché l'esercizio regolare migliori il controllo glicemico.

Insulina

L'insulina favorisce ingresso del glucosio e sintesi di glicogeno nel muscolo, ma la contrazione attiva anche vie di trasporto del glucosio parzialmente indipendenti dall'insulina. Dopo l'esercizio la sensibilità insulinica rimane aumentata per ore, effetto particolarmente rilevante nella prevenzione e gestione dell'insulino-resistenza.

AMPK

AMPK è uno dei principali sensori energetici cellulari. Il rapporto AMP/ATP, il calcio e lo stato del glicogeno ne modulano l'attività; la sua importanza sta soprattutto nel coordinare l'uso dei substrati e l'adattamento ossidativo.

CaMK

Le CaMK (calcium/calmodulin-dependent protein kinases) rispondono ai transitori intracellulari di Ca^{2+} generati dalla contrazione. Nel muscolo contribuiscono a collegare frequenza e durata dell'attivazione con trascrizione genica e adattamenti ossidativi, anche attraverso interazioni con PGC-1 α . Il loro ruolo è quindi particolarmente evidente quando il segnale contrattile viene ripetuto nel tempo.

Akt

Akt è un nodo centrale della via PI3K-Akt, attivata fra l'altro da insulina e fattori di crescita. Nel muscolo favorisce captazione e deposito dei nutrienti e può convergere su mTORC1, mentre inibisce segnali catabolici mediati da FOXO. L'esercizio modifica la sensibilità di questa rete, ma la risposta anabolica non dipende da Akt in modo isolato.

mTOR

Nella segnalazione metabolica mTORC1 rappresenta il versante anabolico sensibile a nutrienti e carico. Interagisce con AMPK, insulina/Akt e segnali meccanici: la risposta finale nasce dalla rete, non da un interruttore isolato.

MAPK

Le MAPK comprendono diverse chinasi, fra cui ERK, p38 e JNK, sensibili a tensione meccanica, metaboliti e stress cellulare. Trasmettono segnali verso proteine citoplasmatiche e fattori trascrizionali, contribuendo a rimodellamento, biogenesi mitocondriale e risposta infiammatoria. Il tipo di esercizio e l'entità dello stress determinano quali rami della famiglia prevalgono.

Segnalazione redox

La segnalazione redox traduce variazioni controllate di ROS in modificazioni enzimatiche e trascrizionali. Nell'esercizio interagisce con AMPK, MAPK e Nrf2; il confine fra segnale e danno dipende da intensità, durata e capacità antiossidante endogena.

Adattamento metabolico

L'adattamento metabolico è il risultato cumulativo di segnali ripetuti: aumentano enzimi ossidativi, trasportatori, riserve di glicogeno, capacità mitocondriale e, secondo lo stimolo, sistemi glicolitici e tampone. La stessa seduta produce soltanto una perturbazione transitoria; è la successione di stimolo, recupero e nuova esposizione a trasformare il fenotipo metabolico.

Capitolo 21 – Membrane mitocondriali ed esercizio

Membrana mitocondriale interna

La membrana mitocondriale interna ospita catena respiratoria, ATP sintasi e numerosi trasportatori. Le sue creste aumentano la superficie disponibile e la loro organizzazione cambia con domanda energetica e stato funzionale dell'organello.

Potenziale di membrana

Il potenziale di membrana mitocondriale nasce dal gradiente elettrochimico di protoni generato dalla catena respiratoria. È necessario per la sintesi di ATP e per numerosi trasporti; un potenziale eccessivamente basso o alto può segnalare disfunzione.

Catena respiratoria

La catena respiratoria trasferisce elettroni attraverso complessi I–IV e usa l'energia liberata per pompare protoni. L'ossigeno è l'accettore finale; l'ATP sintasi sfrutta poi il gradiente per fosforilare ADP.

Cardiolipina

La cardiolipina è un fosfolipide caratteristico della membrana mitocondriale interna e contribuisce all'organizzazione dei complessi respiratori. La sua ossidazione o alterazione può compromettere bioenergetica e stabilità della membrana.

Produzione di ATP

La produzione di ATP deriva dall'integrazione fra fosfageni, glicolisi e metabolismo ossidativo. La membrana mitocondriale interna ospita i complessi respiratori e l'ATP sintasi, mentre la richiesta contrattile determina quanto rapidamente debbano lavorare. Allenare capacità e controllo di questi sistemi permette di sostenere più lavoro con una perturbazione relativa minore.

ROS mitocondriali

I mitocondri producono ROS soprattutto come conseguenza del flusso elettronico. A basse quantità queste specie partecipano alla segnalazione adattativa; quando produzione e difese si sbilanciano possono danneggiare proteine, lipidi e DNA mitocondriale.

Mitohormesis

Nella membrana mitocondriale, piccole perturbazioni ossidative possono attivare risposte adattative che migliorano difesa e qualità dell'organello. È il principio di mitohormesis: lo stimolo utile è transitorio e proporzionato, non un aumento indiscriminato dello stress ossidativo.

PARTE VII – SISTEMA CARDIOVASCOLARE E RESPIRATORIO

La prestazione aerobica dipende da una catena: aria, polmone, sangue, cuore, vasi, microcircolo e mitocondri. Allenare questa catena migliora non solo la performance, ma anche la prognosi di molte patologie croniche.

Capitolo 22 – Adattamenti cardiovascolari

Frequenza cardiaca

Durante una seduta la frequenza cardiaca aumenta per sostenere la gittata cardiaca e quindi il trasporto di ossigeno. Con l'allenamento la stessa intensità assoluta richiede spesso una frequenza più bassa grazie a maggiore gittata sistolica e migliore efficienza periferica.

Gittata sistolica

La gittata sistolica è il volume di sangue espulso dal ventricolo a ogni battito. Durante l'esercizio aumenta grazie a maggiore riempimento e contrattilità; nell'endurance training può crescere anche a riposo e a intensità submassimali per l'espansione del volume plasmatico e gli adattamenti cardiaci. Un valore più alto consente di sostenere la stessa portata con una frequenza cardiaca relativamente minore.

Gittata cardiaca

La gittata cardiaca è il prodotto fra frequenza cardiaca e gittata sistolica. Aumenta quasi linearmente con la richiesta metabolica fino ai valori massimali e determina, insieme al contenuto arterioso di ossigeno, quanta O_2 può essere consegnata ai tessuti. L'allenamento di endurance ne aumenta soprattutto la componente sistolica e quindi la capacità massima di trasporto.

Volume plasmatico

L'espansione del volume plasmatico è uno degli adattamenti più rapidi all'endurance: può comparire già nelle prime settimane. Aumenta il precarico, sostiene la gittata sistolica, migliora la termoregolazione e rende più stabile la circolazione durante sforzi prolungati. L'aumento della quota liquida può anche diluire temporaneamente emoglobina ed ematocrito senza indicare una vera anemia.

Ritorno venoso

Il ritorno venoso porta il sangue periferico al cuore e determina parte del riempimento ventricolare. Durante l'esercizio viene sostenuto dalla pompa muscolare, dalla pompa respiratoria, dalla venocostrizione simpatica e dalle valvole venose. Immobilità prolungata o ridotta efficacia di questi meccanismi limitano il precarico e favoriscono ristagno periferico.

Adattamenti cardiaci

Il cuore si rimodella in relazione al tipo e alla dose di carico. L'endurance favorisce soprattutto aumento della capacità di riempimento e della gittata sistolica; il resistance training espone invece a picchi pressori maggiori e produce adattamenti differenti. Nel soggetto sano si tratta di rimodellamento fisiologico, da distinguere dalle modificazioni patologiche per funzione, proporzioni e contesto clinico.

Endotelio

L'endotelio è un organo regolatorio che controlla tono vascolare, permeabilità, coagulazione e infiammazione. Lo shear stress pulsatile dell'esercizio aumenta l'attività di eNOS e la biodisponibilità di ossido nitrico, migliorando nel tempo la vasodilatazione endotelio-dipendente. Sedentarietà, fumo, iperglicemia e infiammazione cronica agiscono invece in direzione opposta.

Ossido nitrico

L'aumento dello shear stress endoteliale durante l'esercizio stimola eNOS e favorisce la biodisponibilità di ossido nitrico. Con l'allenamento ciò contribuisce a una migliore funzione endoteliale e alla regolazione del tono vascolare.

Capillarizzazione

L'endurance training stimola angiogenesi e aumento della densità capillare nel muscolo attivo, in parte attraverso segnali come VEGF. Più capillari riducono la distanza di diffusione per ossigeno e substrati e ampliano la superficie di scambio. Il beneficio periferico completa gli adattamenti centrali del cuore e contribuisce all'aumento della capacità aerobica.

Adattamenti cardiovascolari principali

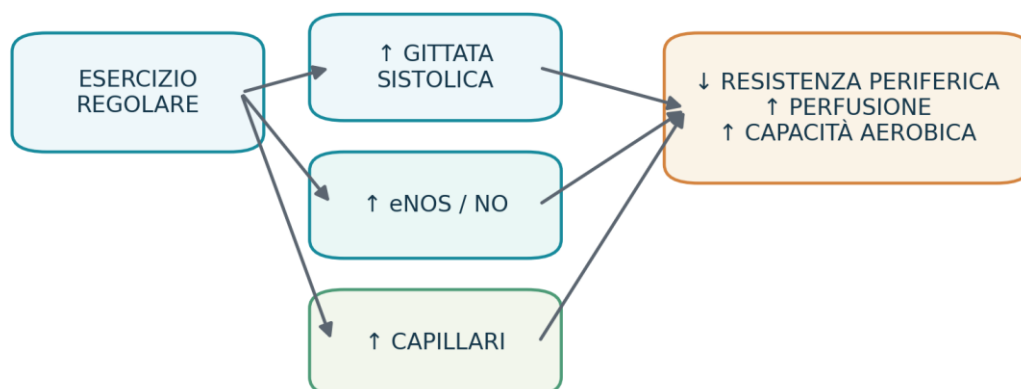


Figura 7. Adattamenti cardiovascolari centrali e periferici indotti dall'allenamento.

Capitolo 23 – Pressione e circolazione

Pressione arteriosa durante l'esercizio

Durante esercizio dinamico la pressione sistolica cresce in rapporto all'aumento della gittata cardiaca, mentre la diastolica tende a modificarsi poco o può ridursi leggermente per la vasodilatazione periferica. Gli esercizi di forza possono produrre picchi pressori molto maggiori, soprattutto con carichi elevati e manovra di Valsalva. Nel soggetto iperteso intensità, respirazione, terapia farmacologica e risposta individuale devono quindi essere considerate insieme.

Resistenze vascolari

Le resistenze vascolari sistemiche derivano soprattutto dal calibro delle arteriole. Nei muscoli attivi metaboliti locali e segnali endoteliali provocano vasodilatazione, mentre il simpatico mantiene vasocostrizione nei distretti meno prioritari. Il risultato è una redistribuzione del flusso che permette di aumentare molto la portata cardiaca senza un incremento proporzionale della pressione media.

Vasodilatazione

La vasodilatazione durante l'esercizio nasce dall'integrazione di ossido nitrico, adenosina, K^+ , CO_2 , variazioni di pH e altri segnali metabolici prodotti dal tessuto attivo. Questi fattori attenuano localmente la vasocostrizione simpatica e aumentano il flusso dove la richiesta è maggiore. Con l'allenamento migliora anche la capacità endoteliale di rispondere allo shear stress.

Autoregolazione

L'autoregolazione consente a un distretto di adeguare il proprio flusso alle necessità metaboliche nonostante variazioni della pressione sistemica. Nel muscolo in esercizio prevalgono segnali locali legati al metabolismo; nel cervello e in altri organi esistono intervalli entro cui il flusso viene mantenuto relativamente stabile. L'allenamento migliora l'efficienza della distribuzione, ma non elimina i limiti imposti dalla perfusione sistemica.

Microcircolo

Il microcircolo comprende arteriole, capillari e venule, cioè la sede in cui avvengono gli scambi reali con il tessuto. L'esercizio aumenta il reclutamento capillare e, nel lungo periodo, la densità della rete nei muscoli allenati. Ne derivano migliore diffusione di ossigeno, rimozione dei metaboliti e controllo della resistenza periferica.

Esercizio e ipertensione

L'esercizio regolare è parte della terapia non farmacologica dell'ipertensione. Aerobica, resistance training e lavoro isometrico selezionato possono ridurre la pressione a riposo, con una risposta ipotensiva già osservabile nelle ore successive a una seduta. La prescrizione deve progredire gradualmente e tenere conto di valori basali, farmaci, comorbidità e risposta pressoria allo sforzo.

Capitolo 24 – Fisiologia respiratoria

Ventilazione

La ventilazione minuto è il prodotto fra volume corrente e frequenza respiratoria. Cresce con l'intensità per aumentare l'ingresso di O_2 e soprattutto l'eliminazione di CO_2 ; alle basse intensità aumenta molto il volume corrente, mentre vicino al massimo cresce maggiormente la frequenza. La ventilazione è quindi una risposta alla richiesta metabolica, non una misura diretta dell'ossigeno effettivamente utilizzato dal muscolo.

Perfusione

La perfusione polmonare dipende dalla gittata del ventricolo destro e dalla distribuzione del sangue nei capillari alveolari. Durante l'esercizio vengono reclutati e distesi più capillari, aumentando la superficie disponibile per gli scambi e migliorando l'abbinamento ventilazione/perfusione. Nelle patologie cardiopolmonari questo passaggio può diventare un limite importante alla tolleranza allo sforzo.

Diffusione

La diffusione dei gas avviene attraverso la membrana alveolo-capillare secondo gradienti di pressione, superficie disponibile e spessore della barriera. Durante l'esercizio il tempo di transito capillare si riduce, ma nel polmone sano la maggiore superficie perfusa mantiene normalmente adeguato lo scambio. Fibrosi, edema o altre alterazioni della membrana possono invece far emergere una limitazione diffusiva.

Trasporto dell'ossigeno

L'ossigeno viaggia principalmente legato all'emoglobina; gittata cardiaca e contenuto arterioso determinano la quantità consegnata ai tessuti. Capillarizzazione e diffusione consentono poi il passaggio verso il muscolo e i mitocondri. Anemia, patologie cardiopolmonari e bassa capacità periferica possono limitare punti differenti della stessa catena.

Emoglobina

L'emoglobina trasporta la quasi totalità dell'ossigeno arterioso. La capacità di trasporto dipende dalla sua concentrazione e saturazione; per questo anemia e carenza di ferro possono ridurre la prestazione anche con cuore e polmoni normali. Negli sport di endurance l'espansione del plasma può abbassare la concentrazione misurata senza ridurre necessariamente la massa totale di emoglobina.

CO₂

La CO₂ è prodotta dal metabolismo ossidativo e trasportata nel sangue soprattutto come bicarbonato. Durante sforzi intensi aumenta anche per il tamponamento degli ioni H⁺, contribuendo alla crescita della ventilazione oltre la prima soglia ventilatoria. Eliminare CO₂ è quindi parte essenziale del controllo acido-base durante l'esercizio.

Controllo respiratorio

La ventilazione è regolata da centri bulbari e pontini che integrano segnali chimici, meccanici e feed-forward dal sistema motorio. Durante l'esercizio aumenta rapidamente per mantenere gas ematici e pH entro intervalli funzionali. Alle alte intensità l'aumento di CO₂ derivante dal tamponamento contribuisce alla forte crescita ventilatoria.

Muscoli respiratori

Diaframma, intercostali e muscoli accessori aumentano progressivamente il loro lavoro con la ventilazione. Negli sforzi molto intensi o nelle patologie respiratorie possono affaticarsi e attivare un metaboreflexo che redistribuisce parte del flusso verso i muscoli respiratori. Allenarne specificamente la forza può ridurre dispnea e costo ventilatorio in soggetti selezionati.

Allenamento respiratorio

L'allenamento dei muscoli inspiratori può aumentare forza e resistenza respiratoria e ridurre la percezione di dispnea in alcune popolazioni. È particolarmente utile quando il lavoro respiratorio è elevato, come in alcune patologie polmonari o discipline di endurance. Rimane un complemento e non sostituisce l'allenamento globale cardiorespiratorio.

Take home message

Allenare la respirazione significa soprattutto migliorare l'integrazione fra polmone, cuore, sangue e muscolo. La ventilazione da sola non definisce la capacità aerobica.

PARTE VIII – SISTEMA NERVOSO, CERVELLO E MENTE

Ogni esercizio è anche un compito nervoso. Forza, equilibrio e resistenza richiedono controllo motorio, mentre l'attività regolare modifica perfusione, plasticità e regolazione dello stress.

Capitolo 25 – Adattamento neurologico

Neuroplasticità

La neuroplasticità è la capacità del sistema nervoso di modificare connessioni, eccitabilità e strategie in risposta all'esperienza. L'esercizio offre simultaneamente stimoli motori, sensoriali e metabolici; compiti nuovi o progressivi richiedono adattamenti più specifici rispetto alla semplice ripetizione automatica.

Controllo motorio

Il controllo motorio nasce dall'integrazione fra intenzione, informazioni sensoriali, modelli interni e vincoli del compito. Non esiste una singola 'tecnica corretta' universale: il sistema ricerca soluzioni sufficientemente stabili ed economiche rispetto a corpo, ambiente e obiettivo.

Propriocezione

La propriocezione informa il sistema nervoso su posizione, movimento e tensione attraverso recettori muscolari, tendinei, articolari e cutanei. Si allena efficacemente quando il compito richiede controllo reale, non soltanto instabilità artificiale.

Equilibrio

L'equilibrio combina informazioni vestibolari, visive e somatosensoriali con rapide risposte motorie. Nell'anziano va allenato in modo progressivo variando base di appoggio, perturbazioni, compiti doppi e direzioni, sempre entro condizioni di sicurezza.

Coordinazione

La coordinazione migliora soprattutto attraverso pratica specifica e variabile. Ripetere un gesto consolida il programma motorio; introdurre variazioni appropriate aumenta la capacità di adattarlo a velocità, carichi e condizioni ambientali differenti.

Apprendimento motorio

L'apprendimento motorio richiede pratica, feedback e tempo. Nelle prime fasi un feedback frequente può aiutare, ma una dipendenza eccessiva dall'istruttore limita l'autonomia; progressivamente conviene favorire percezione interna del risultato e capacità di autocorrezione.

Adattamento neurale alla forza

Nelle prime settimane di allenamento della forza, una quota importante del miglioramento deriva da adattamenti neurali: migliore reclutamento, maggiore frequenza di scarica, coordinazione più efficiente e minore inibizione. Per questo la forza può aumentare prima che l'ipertrofia diventi evidente.

Capitolo 26 – Exercise physiology del cervello

BDNF

Nel cervello il BDNF sostiene plasticità sinaptica, apprendimento e sopravvivenza neuronale. L'esercizio aerobico ne aumenta spesso la disponibilità acuta e, nel tempo, contribuisce a un ambiente favorevole alla plasticità.

Neurogenesi

La neurogenesi adulta è stata studiata soprattutto nell'ippocampo e nell'animale; nell'uomo la sua entità resta oggetto di discussione. È più corretto attribuire i benefici cognitivi dell'esercizio a un insieme di meccanismi: perfusione, fattori neurotrofici, plasticità sinaptica, metabolismo e riduzione dei fattori di rischio vascolare.

Angiogenesi cerebrale

L'attività fisica aumenta la richiesta di perfusione cerebrale e può sostenere segnali angiogenici, fra cui VEGF, soprattutto nel contesto di allenamento aerobico. L'effetto dipende da intensità, età e stato vascolare e si integra con gli adattamenti sistemici della circolazione.

Cognizione

Le funzioni cognitive possono beneficiare dell'esercizio attraverso miglioramento vascolare e metabolico, fattori neurotrofici, sonno e riduzione della sedentarietà. Gli effetti medi sono favorevoli ma non uniformi: tipo di compito, età e stato cognitivo iniziale modificano la risposta.

Memoria

Memoria e apprendimento coinvolgono reti ippocampali e corticali sensibili a sonno, perfusione, stress e attività fisica. L'esercizio aerobico regolare è associato a miglioramenti modesti ma significativi soprattutto quando sostituisce inattività e si accompagna a buone abitudini di sonno.

Funzioni esecutive

Le funzioni esecutive comprendono pianificazione, inibizione, flessibilità e attenzione. L'esercizio che richiede decisione, coordinazione o intervalli di intensità può aggiungere una componente cognitiva allo stimolo cardiorespiratorio, ma il beneficio dipende soprattutto dalla continuità della pratica.

Neuroprotezione

La neuroprotezione indotta dall'esercizio è multifattoriale: migliore fitness cardiorespiratoria, controllo glicemico, pressione più favorevole, BDNF, segnalazione redox adattativa e riduzione della sedentarietà agiscono insieme. Nessun singolo mediatore spiega da solo l'effetto.

Esercizio e cervello: vie convergenti di adattamento

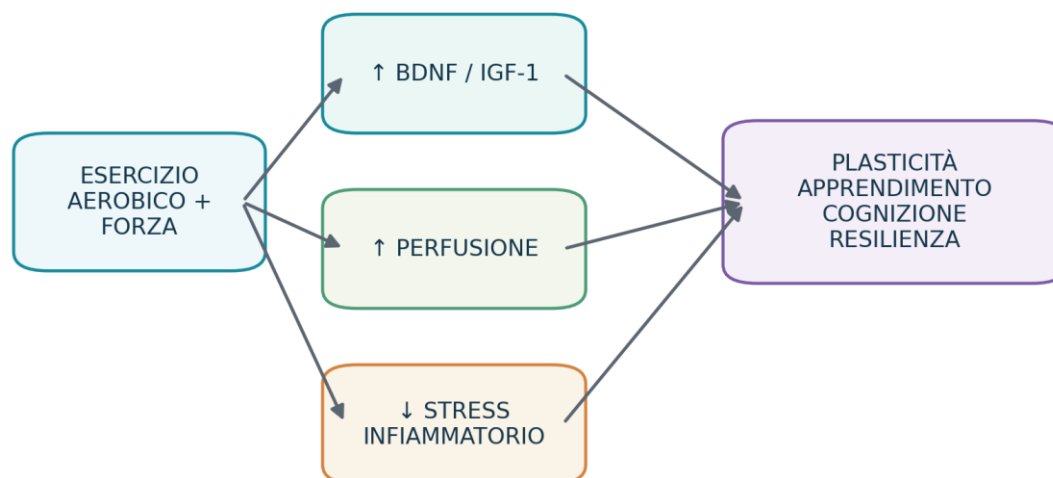


Figura 8. Vie convergenti attraverso cui l'esercizio sostiene plasticità e funzione cerebrale.

Capitolo 27 – Movimento e salute mentale

Stress

L'esercizio è uno stressor controllabile che, se dosato, può migliorare regolazione autonoma, qualità del sonno e percezione di autoefficacia. Quando il carico fisico si somma a stress psicologico elevato, però, la stessa seduta può aumentare il costo allostatico: la dose va quindi adattata al contesto.

Ansia

Nell'ansia l'esercizio può ridurre tensione somatica, migliorare sonno e aumentare la tolleranza alle sensazioni corporee associate allo sforzo. L'effetto non è immediato per tutti e la progressione deve evitare che tachicardia e dispnea vengano interpretate come segnali di pericolo.

Depressione

Nella depressione l'esercizio ha efficacia clinica documentata come intervento autonomo nelle forme appropriate o come componente di un trattamento più ampio. L'aderenza è parte della terapia: programmi semplici, supervisionati e progressivi funzionano meglio di prescrizioni teoricamente perfette ma non praticabili.

Sistema limbico

Il sistema limbico integra emozione, memoria, motivazione e risposta allo stress. L'esercizio ne modifica l'attività indirettamente attraverso circuiti cortico-limbici, segnali neuroendocrini e neurotrofici; parlare di un unico 'centro emotivo' sarebbe una semplificazione.

Neurotrasmettitori

Serotonina, dopamina, noradrenalina, endocannabinoidi e oppioidi endogeni partecipano alla risposta acuta allo sforzo, ma nessuno spiega da solo gli effetti dell'esercizio sull'umore. Le modificazioni dipendono da intensità, durata, esperienza e stato psicologico iniziale.

Asse HPA

L'esercizio acuto è uno stressor e può aumentare temporaneamente l'attività dell'asse ipotalamo-ipofisi-surrene. L'allenamento regolare, se recuperato, può migliorare la regolazione dello stress; un carico eccessivo sommato a stress non allenanti può invece contribuire a disfunzioni del recupero.

Esercizio e resilienza

La resilienza non coincide con sopportare più stress. Un programma regolare crea esperienze di controllo, progressione e recupero che possono aumentare autoefficacia e flessibilità della risposta allo stress. L'effetto è maggiore quando l'esercizio non diventa un ulteriore obbligo incontrollabile.

Esercizio e qualità del sonno

L'attività fisica regolare tende a migliorare qualità e continuità del sonno, soprattutto nei soggetti sedentari o con sonno disturbato. Sedute molto intense e tardive possono interferire con l'addormentamento in alcune persone; la risposta individuale conta più di un divieto orario rigido.

Take home message

Il movimento è uno strumento biologico e psicologico. Per umore e stress contano regolarità, piacere e aderenza; nei disturbi clinici l'esercizio si integra alle altre terapie.

PARTE IX – SISTEMA ENDOCRINO, IMMUNITARIO E REDOX

L'esercizio rompe temporaneamente l'equilibrio interno per costruirne uno più competente. Ormoni, immunità e sistemi redox orchestrano questa transizione; il loro significato cambia profondamente fra risposta acuta e stato cronico.

Capitolo 28 – Risposta endocrina all'esercizio

La risposta endocrina all'esercizio è funzionale allo sforzo: ormoni e segnali metabolici mobilitano substrati, regolano circolazione e preparano il recupero. Il significato di un picco acuto dipende dal contesto e non coincide con l'adattamento cronico.

Insulina

Durante l'esercizio l'insulina tende a ridursi, mentre la contrazione muscolare mantiene elevato l'ingresso di glucosio attraverso segnali propri. Nel recupero aumenta la sensibilità insulinica, facilitando il ripristino del glicogeno e migliorando il controllo glicemico.

Glucagone

Il glucagone sostiene la disponibilità di glucosio aumentando produzione epatica durante il digiuno e l'esercizio prolungato. La sua risposta si coordina con catecolamine e riduzione dell'insulina per evitare una caduta eccessiva della glicemia.

Catecolamine

Adrenalina e noradrenalina aumentano con intensità e durata dello sforzo. Sostengono frequenza cardiaca, mobilitazione di glicogeno e lipidi e redistribuzione del flusso; con l'allenamento la stessa potenza submassimale richiede spesso una risposta catecolaminergica minore.

Cortisolo

Il cortisolo aumenta soprattutto negli sforzi prolungati, intensi o svolti con bassa disponibilità energetica. Facilita la disponibilità di substrati e la risposta allo stress; il singolo picco post-esercizio non va confuso con ipercortisolismo cronico né usato come misura diretta del catabolismo muscolare.

GH

Durante l'esercizio il GH può aumentare, soprattutto con elevato stress metabolico e sforzi prolungati. Il picco acuto riflette la risposta energetica e di rimodellamento, ma non predice da solo ipertrofia o perdita di grasso.

IGF-1

L'IGF-1 partecipa a crescita, rimodellamento e segnalazione anabolica, con componenti endocrine e locali. Nell'adattamento muscolare contano molto le risposte autocrine e paracrine del tessuto; la concentrazione sierica non riassume da sola ciò che accade nel muscolo.

Testosterone

Il testosterone sostiene muscolo, osso e funzione riproduttiva. L'allenamento di forza può produrre aumenti transitori, ma la crescita muscolare dipende molto più da tensione locale, volume efficace, nutrizione e progressione.

Estrogeni

Gli estrogeni influenzano osso, muscolo, endotelio e metabolismo dei substrati. La loro riduzione in menopausa modifica il rischio di perdita ossea e sarcopenia; l'esercizio contro resistenza e il lavoro con impatti appropriati diventano quindi particolarmente importanti.

Ormoni tiroidei

Gli ormoni tiroidei regolano metabolismo basale, termogenesi e funzione cardiovascolare. L'esercizio acuto può modificare transitoriamente concentrazioni periferiche, ma l'allenamento non deve essere interpretato come terapia sostitutiva di una disfunzione tiroidea.

Adipokine

Le adipokine, fra cui leptina e adiponectina, collegano tessuto adiposo, metabolismo e infiammazione. La riduzione del grasso viscerale e il miglioramento della fitness possono spostare questo profilo in senso favorevole anche senza grandi variazioni di peso.

Fermati un attimo

I picchi acuti di testosterone e GH dopo una seduta non predicono da soli l'ipertrofia. La crescita dipende soprattutto dallo stimolo locale, dalla nutrizione e dalla progressione.

Capitolo 29 – Infiammazione e immunità

L'esercizio modifica temporaneamente numero e distribuzione delle cellule immunitarie e il profilo delle citochine. Ripetuto con una dose recuperabile, questo stress acuto si associa a un ambiente sistemico meno infiammatorio.

Exercise-induced inflammation

Una seduta impegnativa produce una risposta infiammatoria transitoria che partecipa alla riparazione e all'adattamento. Il problema non è la presenza di infiammazione in sé, ma l'incapacità di risolverla quando carico, sonno, energia disponibile o stato clinico non consentono un recupero adeguato.

Infiammazione fisiologica

Una seduta impegnativa produce una risposta infiammatoria transitoria necessaria a segnalazione, riparazione e rimodellamento. Il problema non è l'aumento acuto di mediatori, ma la persistenza di uno stato infiammatorio elevato senza adeguato recupero. L'allenamento regolare tende invece ad associarsi a un profilo sistemico meno infiammatorio.

Infiammazione cronica

L'infiammazione cronica di basso grado è associata a sedentarietà, adiposità viscerale e numerose patologie metaboliche. L'esercizio regolare tende a ridurla attraverso perdita di grasso viscerale, miokine, miglioramento metabolico e modulazione immunitaria.

Immunità innata

L'immunità innata risponde già durante la singola seduta con mobilitazione di neutrofili, monociti e cellule NK. Queste variazioni sono transitorie e dipendono da intensità e durata; con allenamento regolare cambia soprattutto la qualità della sorveglianza immunitaria.

Immunità adattativa

L'immunità adattativa viene influenzata dal traffico di linfociti e dallo stato metabolico. L'esercizio regolare moderato è associato a migliore funzione immunitaria, mentre deficit energetico, sonno scarso e carichi molto elevati possono aumentare temporaneamente la suscettibilità alle infezioni.

Esercizio moderato versus esercizio estremo

La relazione fra esercizio e immunità non segue una semplice divisione 'moderato buono, intenso cattivo'. Conta la dose totale e soprattutto il contesto: atleta ben nutrito e recuperato tollera carichi che sarebbero eccessivi per un soggetto malato, in deficit energetico o decondizionato.

Immunosenescenza

Con l'età cambiano numero, distribuzione e funzione delle cellule immunitarie. L'attività fisica regolare non 'ringiovanisce' completamente il sistema, ma è associata a un profilo immunitario più favorevole e a minore infiammazione cronica rispetto alla sedentarietà.

Capitolo 30 – ROS, redox e hormesis

Il redox dell'esercizio è bifasico: la seduta aumenta transitoriamente ROS e richiesta di difesa, mentre l'allenamento potenzia sistemi endogeni di controllo. Confondere queste due scale temporali porta a considerare dannoso ciò che, nella giusta dose, è adattativo.

Produzione fisiologica dei ROS

I ROS vengono prodotti normalmente da mitocondri, NADPH ossidasi e altri sistemi e agiscono come segnali. Durante l'esercizio il loro aumento contribuisce ad attivare difese antiossidanti endogene, biogenesi mitocondriale e adattamento. Solo quando produzione e capacità di controllo si sbilanciano in modo marcato e persistente prevale il danno ossidativo.

Segnalazione redox

Nel capitolo redox interessa soprattutto la dinamica: un aumento transitorio dei ROS può attivare difese e riparazione, mentre un'eccessiva esposizione non recuperata danneggia lipidi, proteine e DNA. L'allenamento sposta progressivamente questa soglia di tolleranza.

Nrf2

Nrf2 coordina l'espressione di numerosi geni coinvolti nella difesa antiossidante ed elettrofila. Piccoli aumenti transitori dei ROS durante l'esercizio sono parte del segnale che favorisce questo adattamento.

Glutathione

Il glutathione è uno dei principali sistemi redox intracellulari. Nella forma ridotta neutralizza perossidi attraverso la glutathione perossidasi e viene rigenerato usando NADPH; l'allenamento regolare può aumentare la capacità di questo circuito.

SOD

La superossido dismutasi converte l'anione superossido in perossido di idrogeno. Le isoforme citosolica e mitocondriale rappresentano una prima linea di difesa e aumentano con l'adattamento a ripetuti stimoli ossidativi.

Catalasi

La catalasi degrada il perossido di idrogeno soprattutto nei perossisomi, producendo acqua e ossigeno. Lavora in parallelo con glutathione perossidasi e perossiredossine, con importanza diversa secondo tessuto e concentrazione di H_2O_2 .

GPx

La glutathione perossidasi riduce perossidi usando glutathione ridotto e contiene selenio in alcune isoforme. La sua funzione dipende quindi anche dallo stato nutrizionale, ma supplementare selenio oltre il fabbisogno non significa aumentarne indefinitamente l'attività.

Mitohormesis

La mitohormesis descrive un paradosso apparente: una modesta produzione di ROS durante l'esercizio può indurre una risposta protettiva più ampia. L'obiettivo fisiologico non è eliminare i ROS, ma aumentare la capacità di gestirli e usarli come segnali.

Antiossidanti alimentari

Gli antiossidanti assunti con gli alimenti partecipano a una rete complessa e non equivalgono a megadosi di singole molecole. Frutta, verdura, cacao, spezie e altri vegetali forniscono polifenoli e micronutrienti insieme alla matrice alimentare; l'obiettivo è sostenere l'equilibrio redox, non annullare il segnale ossidativo dell'esercizio.

Quando l'eccesso di antiossidanti può interferire con l'adattamento

Alte dosi farmacologiche di alcuni antiossidanti assunte sistematicamente intorno all'allenamento possono attenuare segnali redox necessari all'adattamento in alcuni studi. Ciò non giustifica evitare frutta e verdura: il problema riguarda soprattutto la supplementazione indiscriminata ad alte dosi, non una dieta ricca di alimenti vegetali.

ROS ed esercizio: il principio della hormesis

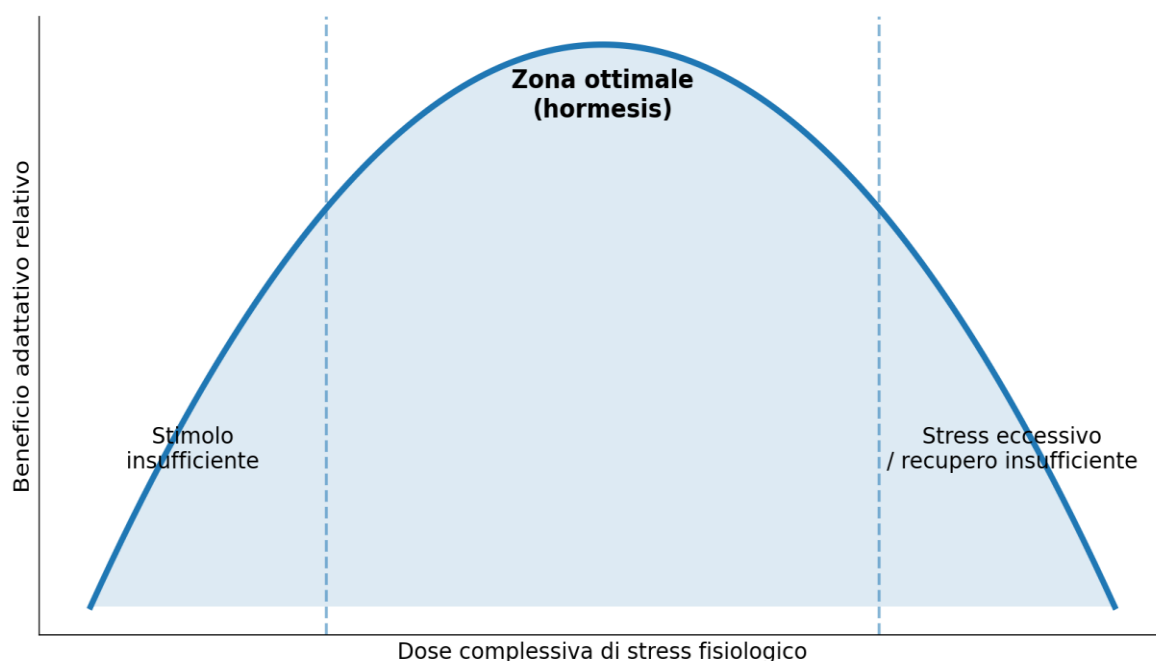


Figura 9. Il beneficio adattativo è massimo entro un intervallo di stress compatibile con il recupero.

Fermati un attimo

ROS non significa automaticamente danno. Una quota di segnalazione ossidativa è necessaria per l'adattamento; "spegnere" indiscriminatamente i ROS può essere controproducente.

PARTE X – MICROBIOTA ED EXERCISE PHYSIOLOGY

Intestino e movimento comunicano attraverso flusso sanguigno, metaboliti, immunità e dieta. L'interazione è reale, ma deve essere letta evitando di attribuire al microbiota ogni effetto dell'esercizio.

Capitolo 31 – Asse esercizio-intestino

Microbiota ed esercizio

Esercizio, dieta, composizione corporea e microbiota sono fortemente interdipendenti. Le persone attive mostrano spesso una maggiore diversità microbica e differenti profili metabolici, ma non è sempre possibile separare l'effetto dell'allenamento da quello della dieta e dello stile di vita.

Diversità microbica

Una maggiore diversità del microbiota viene spesso associata a dieta varia e buona salute metabolica, ma non è un obiettivo da massimizzare senza contesto. L'esercizio può modificarla indirettamente attraverso dieta, transito, composizione corporea e ambiente immunitario.

SCFA

Gli acidi grassi a catena corta, prodotti dalla fermentazione microbica delle fibre, comprendono acetato, propionato e butirrato. Agiscono come substrati e segnali per epitelio, fegato e sistema immunitario; dieta e microbiota ne condizionano la produzione più direttamente dell'esercizio in sé.

Butirrato

Il butirrato è una fonte energetica primaria per i colonociti e partecipa alla regolazione della barriera e dell'immunità mucosale. L'esercizio può favorire un ambiente metabolico associato a una maggiore produzione di SCFA, ma l'effetto dipende fortemente dall'alimentazione, in particolare dall'apporto di fibre fermentabili.

Permeabilità intestinale

Sforzi lunghi e intensi, soprattutto al caldo o con disidratazione, possono ridurre temporaneamente il flusso splancnico e aumentare la permeabilità intestinale. La gestione di intensità, idratazione, carboidrati e tolleranza gastrointestinale diventa quindi parte della programmazione dell'endurance.

Esercizio moderato

L'esercizio moderato sostiene la salute intestinale soprattutto attraverso effetti sistemici: migliore metabolismo, minore adiposità viscerale, motilità e modulazione immunitaria. Non esiste però una dose intestinale universale; sintomi, pasto precedente e stato di idratazione modificano molto la tolleranza.

Esercizio prolungato/intenso

Gli sforzi lunghi o molto intensi ridistribuiscono il flusso ematico verso muscoli e cute e possono aumentare temperatura, permeabilità intestinale e sintomi gastrointestinali. Il rischio cresce con caldo, disidratazione, uso di FANS e alimentazione non sperimentata. Idratazione, acclimatazione e training dell'intestino fanno parte della preparazione.

Gut ischemia

Durante esercizi prolungati, soprattutto al caldo, il flusso splancnico può ridursi perché una quota maggiore di gittata viene diretta a muscoli e cute. Se la riduzione è marcata, la barriera intestinale e la tolleranza digestiva possono peggiorare; disidratazione, FANS e intensità elevata aumentano il rischio.

Gastrointestinal distress dell'atleta

Nell'atleta i sintomi gastrointestinali possono derivare da ridotta perfusione splancnica, impatto meccanico, disidratazione, ingestione concentrata di carboidrati o alimenti poco tollerati. La strategia più efficace è spesso allenare anche l'intestino, sperimentando in sedute controllate quantità e composizione dell'alimentazione di gara.

Take home message

Esercizio e intestino si influenzano in entrambe le direzioni. Un carico ben tollerato può favorire salute metabolica; uno sforzo estremo, disidratazione e alimentazione sbagliata possono fare il contrario.

PARTE XI – EXERCISE CHRONOBIOLOGY

La stessa seduta eseguita in momenti diversi non avviene nello stesso ambiente ormonale e termico. Tuttavia la cronobiologia deve aiutare l'aderenza e il sonno, non trasformarsi in un nuovo dogma sull'"ora perfetta".

Capitolo 32 – Ritmi circadiani ed esercizio

Orologio biologico centrale

Il nucleo soprachiasmatico coordina i ritmi circadiani principalmente attraverso il segnale luminoso. L'esercizio non sostituisce la luce come zeitgeber principale, ma può contribuire alla sincronizzazione dell'orologio centrale e degli orologi periferici.

Orologi periferici

Quasi tutti i tessuti possiedono orologi periferici che regolano in modo temporale metabolismo e funzione. Il nucleo soprachiasmatico li coordina soprattutto attraverso luce e segnali neuroendocrini, mentre pasti ed esercizio possono agire come sincronizzatori secondari.

Zeitgeber

Uno zeitgeber è un segnale ambientale capace di sincronizzare un ritmo biologico. La luce è il più potente per l'orologio centrale; attività fisica, pasti e temperatura contribuiscono alla sincronizzazione periferica e possono aiutare a stabilizzare routine irregolari.

Luce

La luce mattutina anticipa e stabilizza il sistema circadiano attraverso la retina e il nucleo soprachiasmatico. Per sonno e cronobiologia rimane il segnale principale; l'esercizio può rinforzarne l'effetto ma non sostituirlo.

Alimentazione

Il timing dei pasti interagisce con gli orologi periferici e con il metabolismo dell'esercizio. Regolarità, qualità complessiva e adeguata disponibilità energetica hanno priorità sulle manipolazioni estreme. Nei soggetti con obiettivi metabolici, il rapporto fra pasti e attività può essere utilizzato per ridurre le escursioni glicemiche e sostenere il ritmo sonno-veglia.

Movimento

Anche il movimento possiede una dimensione temporale. Allenarsi con una certa regolarità fornisce un segnale agli orologi periferici del muscolo e del metabolismo; l'effetto è più utile quando si integra con luce, sonno e orari dei pasti coerenti.

Temperatura corporea

La temperatura corporea segue un ritmo circadiano e tende a essere più bassa nella seconda parte della notte e più alta nel tardo pomeriggio. Questa oscillazione contribuisce alle differenze giornaliere di forza, mobilità e percezione dello sforzo.

Cortisolo

Il cortisolo possiede un marcato ritmo circadiano, con concentrazioni generalmente più alte al risveglio e progressiva riduzione nel corso della giornata. L'esercizio può modificarne acutamente il livello; per confrontare misure endocrine è quindi indispensabile standardizzare l'orario.

Melatonina

La melatonina segnala la notte biologica e facilita l'avvio del sonno. Luce serale intensa, soprattutto nelle ore prossime al sonno, ne ritarda la secrezione; l'esercizio serale non è necessariamente dannoso, purché non mantenga eccessiva attivazione nel soggetto sensibile.

Capitolo 33 – Quando allenarsi

Allenamento mattutino

Allenarsi al mattino facilita la regolarità per molte persone e può essere utile quando l'obiettivo è anticipare il ritmo sonno-veglia. Forza e potenza possono risultare inferiori nelle prime ore in alcuni soggetti, differenza che si riduce con riscaldamento e abitudine.

Allenamento pre-pranzo

Una seduta prima di pranzo può sfruttare una lunga finestra di recupero diurna e collocarsi bene rispetto a un pasto completo post-allenamento. Nei soggetti con obiettivi glicemici è utile osservare il rapporto fra esercizio, terapia e composizione del pasto successivo.

Allenamento pomeridiano

Nel pomeriggio temperatura corporea e prestazioni neuromuscolari sono spesso favorevoli. Questa fascia può quindi facilitare lavori di forza e potenza, ma il vantaggio medio è modesto rispetto a fattori più importanti come continuità, sonno e qualità del programma.

Allenamento serale

L'allenamento serale è compatibile con un buon sonno nella maggior parte dei soggetti quando termina con sufficiente anticipo e non è eccessivamente attivante. Chi nota difficoltà di addormentamento può anticipare la seduta, ridurre l'intensità finale e curare la fase di defaticamento.

Cronotipo

Cronotipo, abitudini e obblighi sociali modificano la risposta soggettiva all'orario di allenamento. Le meta-analisi non dimostrano un'unica fascia oraria superiore per tutti: la regolarità e la compatibilità con sonno e aderenza contano più di una presunta "ora perfetta".

Performance e ora del giorno

Forza, potenza e temperatura corporea mostrano spesso valori medi più elevati nel pomeriggio, ma l'entità dell'effetto è variabile. L'allenamento abituale a una certa ora può ridurre le differenze e il cronotipo modifica la risposta. Per la maggior parte delle persone la migliore ora è quella che permette costanza, qualità e sonno adeguato.

Esercizio e sincronizzazione circadiana

L'esercizio è un segnale temporale capace di influenzare orologi periferici e, in misura minore, il sistema circadiano centrale. L'effetto dipende dall'orario e dal cronotipo. Una routine relativamente stabile, combinata con luce diurna e orari del sonno coerenti, può rafforzare l'organizzazione temporale senza trasformare il timing in una regola rigida.

Esercizio e sonno

Esercizio e sonno hanno una relazione bidirezionale: allenarsi con regolarità tende a migliorare il sonno, mentre dormire poco riduce qualità tecnica, tolleranza allo sforzo e recupero. La collocazione oraria va scelta osservando la risposta individuale più che applicando una regola valida per tutti.



Esercizio e ritmo circadiano

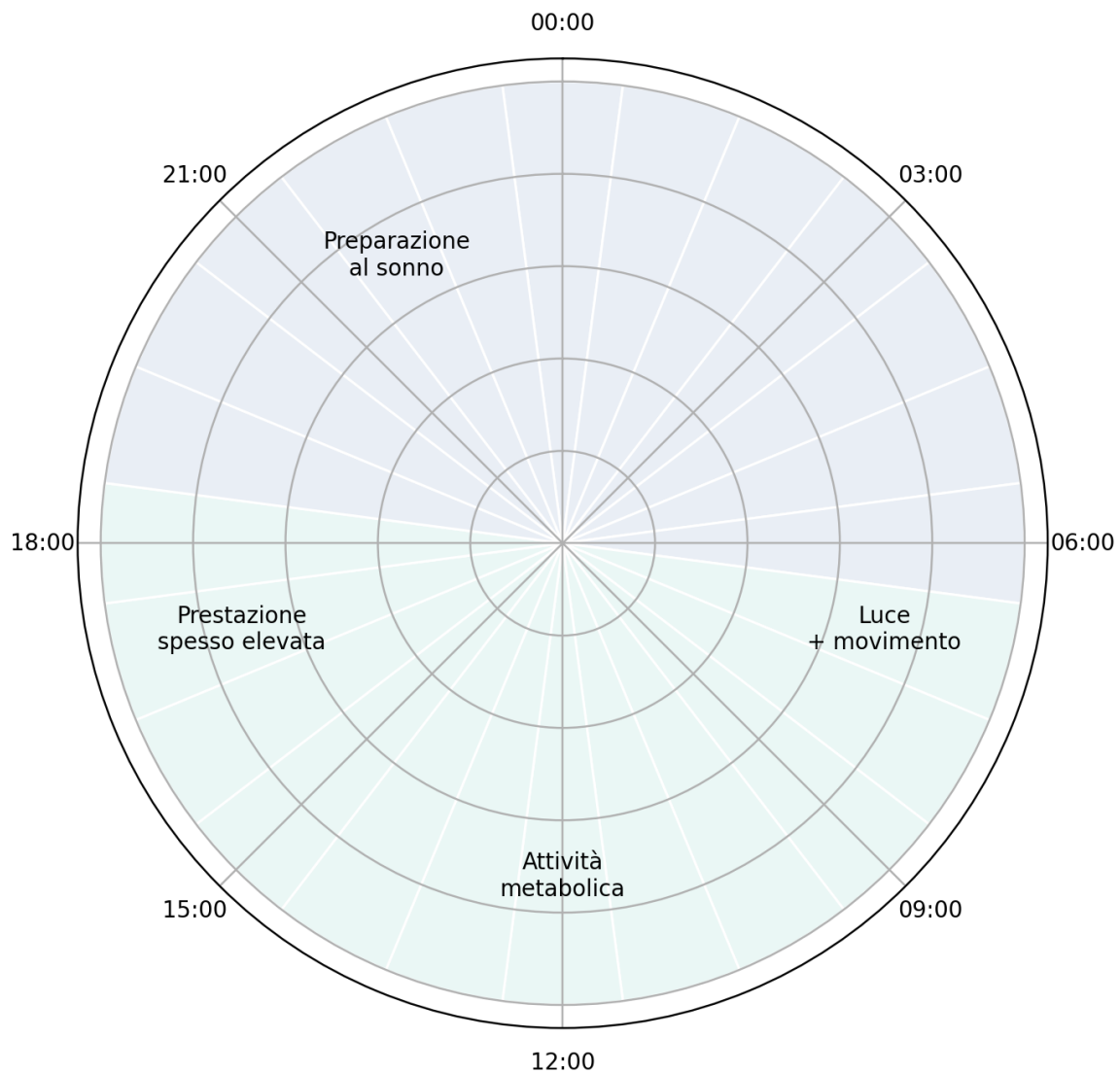


Figura 10. L'esercizio può contribuire alla sincronizzazione circadiana, senza esistere un orario universalmente migliore.

Take home message

Non esiste un'unica ora ideale per allenarsi. L'orario migliore è quello che si accorda con cronotipo, pasti, sonno e possibilità di essere costanti.

PARTE XII – METODI DI ALLENAMENTO

I metodi sono strumenti. La loro efficacia dipende dalla corrispondenza fra stimolo, obiettivo e capacità di recupero, più che dal nome attribuito alla seduta.

Capitolo 34 – Resistance training

Forza

Per aumentare la forza servono esposizioni regolari a tensioni elevate e gesti sufficientemente specifici. Le linee ACSM 2026 indicano un vantaggio dei carichi $\geq 80\%$ 1RM per la forza massima, pur confermando che progressione e costanza contano più di dettagli marginali.

Ipertrofia

L'ipertrofia può essere ottenuta con un ampio intervallo di carichi se le serie producono sufficiente reclutamento e il volume è adeguato. Il volume settimanale mostra una relazione dose-risposta fino a un punto individuale oltre il quale la fatica cresce più del beneficio.

Potenza

La potenza richiede forza espressa rapidamente. Carichi moderati mossi con intenzione di massima accelerazione, salti e gesti balistici sono strumenti specifici; la qualità di ogni ripetizione viene prima dell'esaurimento.

Volume

Nel resistance training il volume può essere espresso con serie efficaci per gruppo muscolare, ripetizioni o tonnellaggio. Per l'ipertrofia il numero di serie settimanali è spesso il parametro più pratico, ma deve essere interpretato insieme a prossimità al cedimento e distribuzione della frequenza.

Intensità

L'intensità può indicare carico relativo ($\%1RM$) oppure sforzo percepito. Carichi elevati sono specifici per la forza; carichi più bassi possono sostenere ipertrofia se le serie vengono portate abbastanza vicino al limite tecnico.

Frequenza

La frequenza serve soprattutto a distribuire il volume e a mantenere qualità tecnica. Allenare un distretto almeno due volte a settimana è spesso pratico, ma a volume equivalente la frequenza non possiede un effetto magico indipendente.

Tempo sotto tensione

Il tempo sotto tensione descrive la durata della serie, non la qualità dello stimolo. Esecuzioni eccessivamente lente riducono il carico utilizzabile; velocità controllate in eccentrica e un'intenzione concentrica vigorosa sono generalmente sufficienti.

Range of motion

Lavorare attraverso un'escursione articolare ampia e tollerata tende a favorire forza e ipertrofia lungo una maggiore porzione del movimento. Range parziali possono essere utili per specificità, riabilitazione o sovraccarico selettivo, ma non dovrebbero sostituire automaticamente il movimento completo.

RIR

Nel resistance training il RIR stima quante ripetizioni valide rimarrebbero prima del cedimento. È utile per modulare la prossimità al limite e mantenere un margine maggiore nelle serie tecniche o nei periodi di alta fatica.

RPE

Nel resistance training l'RPE integra difficoltà della serie e percezione globale dello sforzo. Può essere associato al RIR per rendere la prescrizione più flessibile quando il carico esterno non riflette bene lo stato del giorno.

Cedimento muscolare

Il cedimento può essere uno strumento, non un requisito. Per molti obiettivi è sufficiente terminare le serie vicino al cedimento mantenendo tecnica e volume; l'uso sistematico del cedimento aumenta la fatica e può peggiorare la qualità delle serie successive.

Fermati un attimo

Il cedimento muscolare non è obbligatorio per crescere. Avvicinarsi sufficientemente al cedimento consente spesso lo stesso stimolo con minore fatica sistemica.

Capitolo 35 – Endurance training

Allenamento continuo

L'allenamento continuo mantiene uno sforzo relativamente stabile per periodi prolungati. È semplice da dosare, adatto alla costruzione della base aerobica e consente di accumulare volume con basso costo tecnico.

Zone 1–5

Le zone di intensità sono modelli operativi, non compartimenti biologici rigidi. Sistemi a tre o cinque zone possono essere entrambi utili se ancorati a dati individuali come soglie ventilatorie, lattato, potenza o frequenza cardiaca.

Zone 2

Il lavoro di Zone 2 è utile soprattutto perché permette molto volume aerobico con recupero rapido. La zona esatta dipende dal metodo con cui viene definita: parlare di una frequenza cardiaca universale è quindi improprio.

Threshold training

Il threshold training concentra il lavoro vicino alla soglia di lattato o ventilatoria superiore, dove la richiesta metabolica è elevata ma ancora sostenibile per intervalli relativamente lunghi. Migliora la capacità di mantenere alte frazioni del VO_2max , ma richiede più recupero del lavoro facile.

Polarized training

Nel modello polarizzato la maggior parte del volume è svolta a bassa intensità e una quota minore a intensità alta, con relativamente poco lavoro intermedio. È una strategia utile soprattutto negli sport di endurance con grandi volumi, non una regola obbligatoria per ogni soggetto.

Volume e frequenza

Nell'endurance il volume costruisce la base adattativa, mentre la frequenza permette di distribuirlo senza concentrare troppa fatica in poche sedute. Aumentare prima la regolarità e poi la durata è spesso più tollerabile che allungare bruscamente le singole sessioni.

Capitolo 36 – HIIT e SIT

Definizioni

HIIT indica intervalli svolti ad alta intensità, generalmente vicino o sopra la potenza associata a VO_{2max} , separati da recuperi; SIT utilizza sprint molto brevi e quasi massimali o massimali. Durata degli intervalli, rapporto lavoro-recupero e modalità determinano uno stimolo diverso. La nomenclatura deve quindi accompagnarsi sempre alla descrizione della dose.

Adattamenti cardiovascolari

Gli intervalli intensi aumentano rapidamente richiesta di gittata cardiaca e flusso periferico. Ripetuti nel tempo possono migliorare VO_{2max} , funzione endoteliale e tolleranza a intensità elevate. Nei soggetti clinici l'efficacia non elimina la necessità di screening e progressione, perché il picco di carico cardiovascolare è superiore a quello del lavoro moderato.

Adattamenti mitocondriali

L'elevato turnover di ATP attiva AMPK, CaMK, p38 MAPK e PGC-1 α e può produrre un forte segnale per la biogenesi mitocondriale. Anche piccoli volumi possono quindi essere efficaci, ma la capacità di accumulare lavoro e recuperare limita la dose reale. Una base aerobica facilita la tolleranza degli intervalli.

Metabolismo

HIIT e SIT richiedono contemporaneamente fosfocreatina, glicolisi e metabolismo ossidativo. Il contributo aerobico aumenta nelle ripetizioni successive mentre la fosfocreatina viene ricostituita nei recuperi. La diversa durata degli intervalli permette di spostare il carico verso potenza neuromuscolare, tolleranza glicolitica o VO_2 .

Applicazioni cliniche

Intervalli adattati possono essere utilizzati anche in cardiometabolico, obesità e riabilitazione selezionata, spesso con intensità relative elevate ma velocità assolute modeste. La supervisione, la scelta di cyclette o cammino e la durata breve degli intervalli permettono di modulare il rischio. Non sono obbligatori se il soggetto aderisce meglio a lavoro continuo moderato.

Limiti

Gli intervalli intensi producono maggiore fatica, richiedono familiarizzazione e possono aumentare rischio di sintomi in soggetti non valutati. Un programma composto soltanto da HIIT sacrifica volume aerobico facile, forza e recupero. L'efficienza temporale è un vantaggio, non una ragione per trasformare ogni seduta in lavoro massimale.

Capitolo 37 – Concurrent training

Interference effect

L'interference effect descrive la possibilità che elevati volumi di endurance attenuino alcuni adattamenti di forza o ipertrofia. Non è inevitabile: dipende da volume, modalità, livello dell'atleta, stato energetico e distanza fra gli stimoli.

AMPK versus mTOR

AMPK e mTOR sono spesso presentati come vie opposte, ma nell'organismo reale coesistono e si modulano nel tempo. Il problema emerge soprattutto quando un forte segnale energetico di endurance coincide ripetutamente con una richiesta anabolica e il recupero è limitato.

Sequenza forza/endurance

Quando forza ed endurance sono nella stessa seduta, conviene eseguire per primo l'obiettivo prioritario. Separare i due stimoli di alcune ore o in giorni diversi riduce l'interferenza quando volumi e intensità sono elevati; per salute generale la combinazione nella stessa seduta resta spesso perfettamente adeguata.

Separazione temporale delle sedute

Separare le sedute di forza e endurance di alcune ore o in giorni diversi può preservare qualità e ridurre interferenza nei programmi ad alto volume. Per il soggetto che si allena per salute, farle nella stessa seduta resta spesso una soluzione efficace e sostenibile.

Applicazioni per salute e longevità

Per salute e longevità la combinazione di endurance e forza copre adattamenti complementari: VO_2 e funzione vascolare da un lato, forza, massa muscolare e osso dall'altro. Due o più sedute di forza e una quota regolare di attività aerobica costituiscono una struttura robusta, da adattare a età e patologie. La priorità è mantenere entrambe le qualità lungo gli anni, non massimizzarne una a scapito dell'altra.

Fermati un attimo

Concurrent training non significa dover scegliere per forza fra forza e endurance. L'interferenza dipende soprattutto da volume, priorità e vicinanza delle sedute.

Capitolo 38 – Altri metodi

Isometria

L'isometria sviluppa tensione senza variazione apprezzabile della lunghezza muscolo-tendinea. È utile per forza angolo-specifica, analgesia in alcuni quadri tendinei e situazioni in cui il movimento è temporaneamente limitato; per una funzione completa va poi integrata con lavoro dinamico.

Eccentrico

Il lavoro eccentrico produce elevata forza con costo energetico relativamente basso. È prezioso per forza, ipertrofia e adattamento tendineo ma, se introdotto bruscamente, aumenta DOMS e danno muscolare; la progressione iniziale deve quindi essere prudente.

Pliometria

La pliometria utilizza rapidamente il ciclo stiramento-accorciamento per migliorare capacità elastica e rate of force development. Salti e balzi richiedono base di forza, tecnica e gestione attenta del volume di contatti.

Circuit training

Il circuit training combina esercizi in sequenza con recuperi brevi. Può allenare contemporaneamente forza resistente e fitness cardiorespiratoria, risultando pratico quando il tempo è limitato; non è però il metodo migliore per massimizzare forza o potenza.

Functional training

Il termine functional training ha senso soltanto se riferito a una funzione definita. Un esercizio è 'funzionale' quando trasferisce capacità al compito desiderato; instabilità, complessità o somiglianza visiva con il gesto quotidiano non garantiscono automaticamente un miglior trasferimento.

Mobilità

Il lavoro di mobilità mira a ottenere o mantenere escursione articolare utilizzabile. Stretching, controllo attivo e forza in posizioni allungate possono essere combinati; ciò che conta è distinguere una reale limitazione di movimento da una semplice mancanza di controllo.

Equilibrio

Per prevenire cadute l'equilibrio deve essere allenato vicino al limite di stabilità, in condizioni controllate. Ridurre appoggi, modificare direzione e aggiungere compiti doppi sono progressioni utili quando la forza di base è sufficiente.

Propriocezione

La propriocezione può essere stimolata variando superficie, velocità, carico e richiesta di controllo. Il trasferimento è migliore quando il compito assomiglia alle situazioni in cui la stabilità deve essere realmente mantenuta.

Cammino

Come metodo di attività fisica, il cammino ha costo tecnico basso e grande sostenibilità. Intensità, pendenza, velocità e durata possono essere manipolate; per soggetti decondizionati rappresenta spesso il ponte più semplice verso un lavoro aerobico strutturato.

Nordic walking

Il Nordic walking aumenta il coinvolgimento degli arti superiori e può innalzare il costo energetico rispetto al cammino alla stessa velocità. È utile in programmi di fitness e riabilitazione quando la tecnica con i bastoncini è appresa correttamente.

Esercizio in acqua

L'acqua permette esercizio aerobico e di forza con minore impatto articolare e maggiore resistenza multidirezionale. È particolarmente utile nelle fasi in cui il carico a terra è poco tollerato, purché venga poi recuperata anche la competenza in gravità quando l'obiettivo lo richiede.

Take home message

Isometria, eccentrico, pliometria, circuiti e lavoro in acqua sono strumenti. La loro utilità dipende dal problema che devono risolvere, non dal nome del metodo.

PARTE XIII – PRESCRIZIONE DELL'ESERCIZIO

Prescrivere significa quantificare. Frequenza, intensità, tempo, tipo, volume e progressione rendono l'esercizio riproducibile, monitorabile e correggibile.

Variabile	Domanda pratica
Frequenza	Quante esposizioni per settimana?
Intensità	Quanto è impegnativo lo stimolo?
Tempo	Quanto dura la seduta o l'intervallo?
Tipo	Quale modalità produce l'adattamento desiderato?
Volume	Quanto lavoro totale viene accumulato?
Progressione	Come cambia la dose nel tempo?

Capitolo 39 – Dose dell'esercizio

FITT-VP

FITT-VP organizza la prescrizione in Frequenza, Intensità, Tempo, Tipo, Volume e Progressione. Il modello obbliga a trasformare un generico "fare movimento" in una dose verificabile e modificabile nel tempo.

Frequenza

La frequenza stabilisce quante esposizioni allo stimolo vengono distribuite nella settimana. Deve consentire di raggiungere il volume necessario mantenendo qualità e recupero; aumentarla è utile soprattutto quando una singola seduta diventerebbe troppo lunga o faticosa.

Intensità

L'intensità descrive quanto lo stimolo è impegnativo rispetto alla capacità individuale. Può essere quantificata con %1RM, velocità, frequenza cardiaca, potenza, RPE o RIR: il parametro va scelto in base al tipo di esercizio e all'obiettivo.

Tempo

Il tempo descrive la durata della singola seduta o dell'esposizione e deve essere interpretato insieme all'intensità. Trenta minuti continui, tre blocchi da dieci minuti o brevi pause attive possono avere funzioni diverse. Nei principianti conviene spesso aumentare prima la durata tollerata e solo successivamente l'intensità.

Tipo

Il tipo di esercizio deve corrispondere al bersaglio: aerobico per capacità cardiorespiratoria, resistance training per forza e muscolo, impatto per osso quando sicuro, equilibrio per prevenzione delle cadute. Molte condizioni richiedono una combinazione. La modalità scelta deve inoltre essere accessibile, gradita e compatibile con articolazioni e comorbidità.

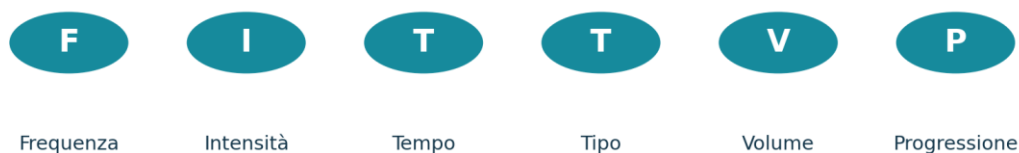
Volume

Il volume è la quantità totale di lavoro e può essere espresso in minuti, distanza, serie, ripetizioni o lavoro meccanico. Ha senso soltanto insieme all'intensità: cento minuti facili e cento minuti ad alta intensità non sono la stessa dose.

Progressione

Progressione significa modificare gradualmente una o più componenti del FITT-VP quando lo stimolo corrente è ben tollerato. Aumentare contemporaneamente frequenza, durata e intensità rende difficile attribuire la risposta e aumenta il rischio di sovraccarico. Una progressione conservativa è particolarmente importante dopo inattività, malattia o in presenza di dolore.

FITT-VP: tradurre un obiettivo in una dose di esercizio



La prescrizione è completa solo quando comprende anche recupero, progressione e monitoraggio.

Figura 11. FITT-VP: le variabili fondamentali della prescrizione.

Capitolo 40 – Misurare l'intensità

%1RM

La percentuale di 1RM esprime il carico esterno rispetto al massimo sollevabile una volta in condizioni standardizzate. È utile per la prescrizione della forza, ma non descrive da sola la difficoltà reale della serie; RIR, velocità e stato giornaliero completano l'informazione.

RIR

Come misura dell'intensità relativa, il RIR permette di autoregolare il carico senza testare continuamente il massimale. La sua precisione migliora con l'esperienza e tende a ridursi quando si tenta di stimare molte ripetizioni residue.

RPE

Per l'esercizio aerobico l'RPE permette di stimare l'intensità quando frequenza cardiaca e potenza sono poco affidabili o non disponibili. La scala funziona meglio dopo familiarizzazione e usando descrittori coerenti.

Frequenza cardiaca

La frequenza cardiaca è un indicatore pratico dell'intensità aerobica, ma va interpretata con farmaci, caldo, disidratazione e stato di allenamento. Per prescrivere bene conviene associarla a RPE, talk test o soglie individuali.

HRmax

La frequenza cardiaca massima è individuale e le formule basate sull'età producono soltanto stime. Quando la precisione è importante, un test appropriato è preferibile; beta-bloccanti e altre terapie possono rendere le formule poco utili.

Heart Rate Reserve

La Heart Rate Reserve è la differenza fra frequenza cardiaca massima e frequenza a riposo. Il metodo di Karvonen usa una percentuale di questa riserva aggiungendo poi la frequenza a riposo, ottenendo una stima dell'intensità più individualizzata della sola percentuale di FCmax. Farmaci cronotropi, aritmie e neuropatia autonoma possono però renderla poco affidabile.

VO₂

Nel capitolo dedicato all'intensità, il VO₂ permette di esprimere il lavoro aerobico in termini relativi alla capacità individuale. Percentuali di VO₂max o VO₂reserve sono più fisiologiche della sola velocità esterna, ma richiedono una misurazione valida.

Talk test

Il talk test sfrutta la capacità di parlare durante l'esercizio come indice pratico di intensità. Una conversazione agevole tende a corrispondere a intensità moderate; quando parlare diventa difficile ci si avvicina a intensità superiori. È utile quando la frequenza cardiaca è poco interpretabile.

Lattato

Il lattato aumenta quando il flusso glicolitico supera temporaneamente la capacità di utilizzazione del piruvato e quando il suo trasporto fra compartimenti cambia. È insieme metabolita, substrato e molecola di segnalazione. La sua concentrazione ematica dipende dal rapporto fra produzione, trasporto e clearance, non dalla sola "produzione di acido".

Fermati un attimo

Nessun numero misura l'intensità in modo perfetto. %1RM, FC, RPE, RIR e talk test descrivono aspetti diversi dello stesso problema.

Capitolo 41 – Periodizzazione

Microciclo

Il microciclo è l'unità breve della programmazione, spesso una settimana, nella quale vengono distribuite sedute, recuperi e priorità. Non deve necessariamente coincidere con sette giorni se il ritmo di allenamento richiede una struttura diversa.

Mesociclo

Il mesociclo raggruppa più microcicli orientati a un obiettivo prevalente, a esempio accumulo di volume, forza o sviluppo aerobico. La durata deve essere abbastanza lunga da produrre adattamento e abbastanza breve da consentire una rivalutazione.

Macrocycle

Il macrociclo descrive l'orizzonte più ampio della programmazione: stagione, anno o percorso riabilitativo. Serve a ordinare priorità successive, non a prevedere rigidamente ogni seduta con mesi di anticipo.

Progressione lineare

Nella progressione lineare una variabile cambia prevalentemente in una direzione nel tempo, a esempio aumentando il carico e riducendo gradualmente le ripetizioni. È semplice e funziona bene quando l'obiettivo è stabile e il margine di miglioramento è ampio.

Ondulata

La periodizzazione ondulata varia volume e intensità più frequentemente, anche all'interno della stessa settimana. Può permettere di allenare qualità diverse senza attendere blocchi lunghi e risulta utile quando forza, potenza e ipertrofia devono coesistere.

Block periodization

La block periodization concentra per alcune settimane una qualità prioritaria mantenendo le altre con una dose minima. È utile soprattutto nell'alta prestazione, dove gli obiettivi sono numerosi e il carico totale non permette di svilupparli tutti simultaneamente.

Deload

Il deload riduce temporaneamente volume, intensità o entrambi per dissipare fatica senza interrompere completamente lo stimolo. Non deve essere calendarizzato in modo dogmatico: può essere programmato oppure introdotto quando prestazione e recupero mostrano segnali coerenti.

Individualizzazione

L'individualizzazione trasforma il piano in un processo. Risposta al carico, aderenza, dolore, sonno e andamento della prestazione decidono se aumentare, mantenere o ridurre la dose; la programmazione migliore è quella capace di modificarsi senza perdere la direzione.

Take home message

Periodizzare significa distribuire stimolo e recupero nel tempo. Una struttura semplice che cambia con la risposta vale più di un calendario sofisticato ma rigido.

PARTE XIV – EXERCISE PHYSIOLOGY PER OBIETTIVI

Qui la fisiologia viene invertita: non si parte dal metodo, ma dal risultato desiderato. Ogni obiettivo richiede una combinazione diversa di forza, endurance, recupero, nutrizione e monitoraggio.

Capitolo 42 – Aumento della massa muscolare

Per aumentare la massa muscolare occorre accumulare nel tempo contrazioni ad alta tensione con un volume che possa essere recuperato. Resistance training, disponibilità energetica e proteine adeguate agiscono sullo stesso processo; la priorità è far crescere progressivamente il lavoro efficace senza trasformare il programma in una continua ricerca di cedimento e DOMS.

Stimolo meccanico

Per aumentare massa muscolare lo stimolo meccanico deve coinvolgere un numero sufficiente di fibre con elevata tensione e ripetersi con volume recuperabile. Serie eseguite con tecnica stabile e relativamente vicine al limite prestativo possono essere efficaci con carichi diversi. La progressione può avvenire aumentando ripetizioni, carico, serie o qualità del range di movimento.

Volume ottimale

Per l'ipertrofia il volume settimanale deve essere sufficiente a produrre molte contrazioni ad alta tensione, ma non tanto elevato da degradare tecnica e recupero. In pratica si parte da una dose moderata e si aumentano le serie solo quando performance e recupero lo consentono.

Frequenza

Distribuire il lavoro per un muscolo in due o più sedute facilita spesso qualità delle serie e gestione della fatica. La frequenza è quindi soprattutto uno strumento organizzativo del volume, non un fine autonomo.

Proteine

Per sostenere l'ipertrofia conta prima di tutto l'apporto proteico totale e una distribuzione in pasti contenenti proteine complete. Il singolo shake post-allenamento ha valore pratico, ma non compensa una giornata povera di proteine o energia.

Creatina

La creatina monoidrato aumenta le riserve di fosfocreatina e facilita la ripetizione di lavoro ad alta intensità. Nel tempo può amplificare i guadagni di forza e massa magra ottenuti con il resistance training; il beneficio deriva dalla continuità d'uso più che dal minuto esatto di assunzione.

Recupero

L'ipertrofia richiede recupero sufficiente per ripetere serie di qualità e sostenere sintesi proteica. Dormire poco e mantenere un deficit energetico marcato riducono la capacità di accumulare volume efficace e aumentano la probabilità di stallo.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	Resistance training con volume progressivo; ~10 serie/settimana per muscolo come riferimento adattabile
Nutrizione	proteine 1,6 g/kg/die circa come riferimento pratico, energia sufficiente
Integrazione	creatina monoidrato; whey/EAA solo se utili a coprire il fabbisogno
Monitoraggio	circonferenze, forza, peso, composizione corporea

Take home message

Per l'ipertrofia servono tensione, volume sufficiente, proteine ed energia adeguate. Il dolore muscolare non è un criterio di efficacia.

Capitolo 43 – Aumento della forza

La forza massima dipende sia dalla dimensione del muscolo sia dalla capacità del sistema nervoso di reclutarlo nel gesto richiesto. Carichi relativamente elevati, pratica tecnica e recuperi sufficienti sono quindi più specifici dell'allenamento orientato soltanto alla fatica. La progressione deve migliorare ciò che il soggetto riesce a produrre, non soltanto ciò che riesce a tollerare.

Adattamento neurale

L'aumento della forza iniziale dipende molto da adattamenti neurali: reclutamento, rate coding e coordinazione migliorano prima che il muscolo cresca in modo sostanziale. Per questo la tecnica e la pratica frequente dei gesti principali sono decisive.

Carichi elevati

Carichi elevati permettono di allenare specificamente la produzione di forza massima e il reclutamento ad alta soglia. Non è necessario lavorare sempre al massimale: serie con carichi submassimali, adeguato recupero e tecnica stabile consentono progressione con minore fatica. Nei principianti la coordinazione conta più della ricerca precoce di percentuali estreme.

Specificità

La forza è specifica per gesto, angolo, velocità e tipo di contrazione. Un aumento generale di forza trasferisce molto nei principianti, mentre negli esperti il programma deve avvicinarsi alle richieste reali del compito. In ambito salute conviene mantenere una base multiarticolare e sufficientemente varia, evitando specializzazione inutile.

Recupero

Nell'allenamento della forza il recupero fra serie deve essere abbastanza lungo da mantenere carico e qualità tecnica, spesso 2–5 minuti nei movimenti principali. Fra sedute, la disponibilità a esprimere forza e l'assenza di dolore crescente guidano meglio di un intervallo fisso valido per tutti.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	carichi elevati, tecnica specifica, 2–3+ esposizioni settimanali ai pattern prioritari
Nutrizione	energia e proteine adeguate; carboidrati intorno alle sedute dure
Integrazione	creatina; caffeina selettivamente
Monitoraggio	1RM o e1RM, velocità della barra, RPE/RIR

Take home message

La forza è specifica: carichi progressivi, tecnica stabile e recuperi sufficienti vengono prima di qualunque finezza di programmazione.

Capitolo 44 – Potenza e performance neuromuscolare

La potenza è forza espressa rapidamente. Va allenata quando il sistema neuromuscolare è fresco, con movimenti eseguiti ad alta intenzione volontaria e con un carico che consenta velocità elevata. Salti, lanci, sprint e sollevamenti esplosivi sono strumenti possibili; il criterio comune è interrompere la serie quando la velocità cala in modo evidente.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	carichi moderati mossi rapidamente, salti/lanci/sprint secondo esperienza
Nutrizione	carboidrati adeguati per alta qualità, proteine sufficienti
Integrazione	creatina; caffeina in soggetti tolleranti
Monitoraggio	salto, sprint, velocità, qualità tecnica

Take home message

La potenza richiede forza espressa rapidamente. Quando la velocità delle ripetizioni crolla, il lavoro sta diventando altro.

Capitolo 45 – Biogenesi mitocondriale

La biogenesi mitocondriale richiede perturbazioni energetiche ripetute e recuperate. Un grande volume aerobico sostenibile aumenta la capacità ossidativa, mentre intervalli più intensi producono un segnale concentrato; la combinazione permette di sviluppare quantità e qualità della rete mitocondriale senza rendere ogni seduta massimale.

Zone 2

Per stimolare la capacità ossidativa, il lavoro di Zone 2 permette di accumulare molto tempo con fatica contenuta. È particolarmente utile quando la priorità è aumentare volume aerobico senza compromettere forza o recupero.

HIIT

L'HIIT aggiunge uno stimolo concentrato vicino alle alte frazioni di VO_2max . In un programma per mitocondri è una componente, non l'intero programma: una o poche sedute ben recuperate possono bastare.

Concurrent training

Per la biogenesi mitocondriale il concurrent training permette di sviluppare capacità ossidativa senza rinunciare alla forza. La sequenza va scelta in base alla priorità; separare sedute impegnative è utile quando entrambe richiedono alta qualità.

Nutrizione correlata

La disponibilità di carboidrati modula l'intensità sostenibile e alcuni segnali molecolari dell'endurance. Sedute occasionalmente svolte con glicogeno ridotto possono amplificare alcuni segnali, ma compromettono la qualità se abusate. Per salute e performance la priorità resta una dieta adeguata all'energia richiesta, con periodizzazione dei carboidrati solo quando serve.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	Zone 2 ad alto volume + intervalli intensi selezionati
Nutrizione	carboidrati periodizzati; evitare bassa disponibilità cronica
Integrazione	nitrati/cafeina solo per prestazione specifica
Monitoraggio	VO ₂ max, soglie, HR/RPE, volume tollerato

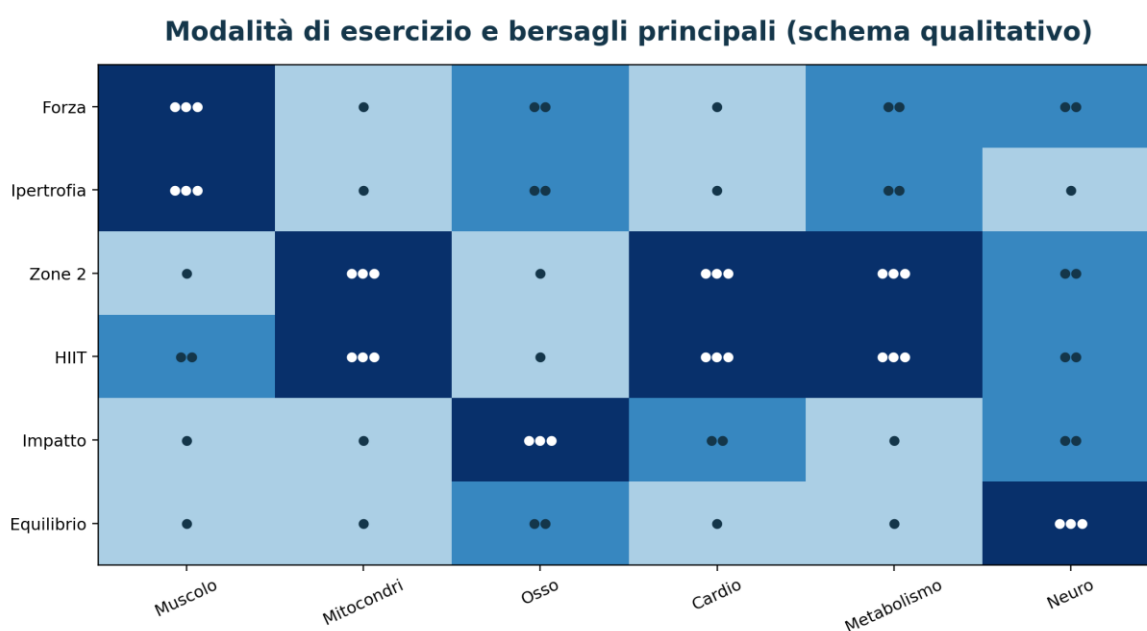


Figura 12. Relazione qualitativa fra modalità di esercizio e bersagli principali.

Take home message

La biogenesi mitocondriale nasce da stress energetici ripetuti e recuperati. Volume facile e intervalli intensi possono entrambi contribuire.

Capitolo 46 – Salute ossea

Per l'osso il segnale decisivo è meccanico e sito-specifico. Resistance training, impatti e cambi di direzione generano deformazioni più osteogeniche del solo esercizio in scarico; intensità e complessità devono però essere compatibili con densità ossea, storia di fratture ed equilibrio. Nella prevenzione delle cadute forza e capacità reattiva sono parte dello stesso obiettivo.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	forza + impatti multidirezionali se sicuri
Nutrizione	proteine, calcio alimentare, vitamina D adeguata, energia sufficiente
Integrazione	vitamina D solo se insufficiente; creatina utile soprattutto per muscolo
Monitoraggio	DEXA quando indicata, forza, equilibrio, cadute

Take home message

L'osso risponde a carichi intensi, dinamici e variati. Il cammino è utile, ma non sempre è uno stimolo osteogenico sufficiente.

Capitolo 47 – MEC, fascia e tendini

MEC, fascia e tendini rispondono soprattutto alla storia del carico. Trazione, compressione e shear stress devono aumentare abbastanza lentamente da consentire rimodellamento del collagene e recupero; i tempi sono più lunghi di quelli metabolici del muscolo. La costanza per settimane e mesi vale più della continua variazione di tecniche.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	carico progressivo, eccentrico/isometrico secondo tendine, recupero più lento del muscolo
Nutrizione	proteine complete, vitamina C alimentare, energia adeguata
Integrazione	collagene/gelatina contestuali; nessun sostituto del carico
Monitoraggio	dolore, funzione, rigidità, capacità di carico

Take home message

Tendini e fascia si adattano lentamente. Per il connettivo la costanza del carico per mesi conta più della ricerca continua di tecniche nuove.

Capitolo 48 – Membrane cellulari

Le membrane cellulari non sono un bersaglio allenabile in modo isolato. L'esercizio ne influenza indirettamente composizione e funzione attraverso flussi ionici, traslocazione di trasportatori, turnover lipidico, segnali meccanici e redox. Per questo l'obiettivo pratico è migliorare metabolismo e funzione dei tessuti, non inseguire una presunta 'fluidificazione' della membrana con un singolo metodo.



Componente	Indicazione pratica
Esercizio	aerobica + forza per migliorare turnover metabolico e segnalazione
Nutrizione	grassi di qualità, PUFA, micronutrienti, controllo glicemico
Integrazione	omega-3 se indicati dalla dieta/clinica
Monitoraggio	lipidi, glicemia, performance, composizione corporea

Take home message

Le membrane sono parte attiva della segnalazione e del metabolismo. Esercizio e qualità nutrizionale ne sostengono la funzione senza bisogno di ipotetici 'riparatori' universali.

Capitolo 49 – Sensibilità insulinica e controllo glicemico

Per migliorare sensibilità insulinica e controllo glicemico sono utili sia contrazioni ripetute durante la giornata sia allenamento strutturato. Il muscolo capta glucosio attraverso vie attivate dalla contrazione e rimane più sensibile all'insulina dopo la seduta; resistance training aumenta inoltre la massa capace di smaltire glucosio. Camminare dopo i pasti può completare, con costo minimo, il lavoro aerobico e di forza.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	cammino post-prandiale, aerobica e forza regolari
Nutrizione	carboidrati di qualità, fibre, distribuzione coerente con terapia
Integrazione	nessun integratore necessario di routine
Monitoraggio	glicemia, HbA1c, CGM se disponibile, farmaci

Take home message

La contrazione muscolare aumenta rapidamente l'utilizzo del glucosio. Forza, aerobica e riduzione del tempo seduto sono complementari.

Capitolo 50 – Riduzione del grasso corporeo

La riduzione del grasso corporeo richiede un deficit energetico sostenibile. L'esercizio aumenta il dispendio e soprattutto aiuta a conservare massa, forza e capacità metabolica durante la dieta; il NEAT determina una parte rilevante del risultato fuori dalla palestra. La strategia migliore è quella che permette di perdere grasso senza trasformare il soggetto in una persona più leggera ma meno funzionale.

Dispendio energetico

L'esercizio aumenta il dispendio energetico durante la seduta e, se regolare, può modificare anche attività spontanea e composizione corporea. Per dimagrire resta necessario un bilancio energetico compatibile con la perdita di grasso; il movimento amplia il margine senza dover affidare tutto alla restrizione alimentare.

EPOC

L'EPOC è l'aumento transitorio del consumo di ossigeno dopo l'esercizio dovuto al ripristino dell'omeostasi. Cresce con intensità e volume ma, nella maggior parte dei programmi, contribuisce molto meno al dispendio totale di quanto spesso venga pubblicizzato.

Massa magra

Preservare massa magra durante il dimagrimento mantiene forza, funzione e una quota maggiore del dispendio energetico. Il resistance training e un apporto proteico adeguato sono quindi centrali anche quando l'obiettivo estetico o clinico è ridurre il grasso.

NEAT

Il NEAT può variare spontaneamente durante una dieta: alcune persone si muovono meno quando l'energia disponibile si riduce. Cammino, pause attive e obiettivi di passi aiutano a limitarne il calo senza aggiungere necessariamente altra fatica da allenamento.

Restrizione calorica ed esercizio

Restrizione calorica ed esercizio devono essere coordinati. Un deficit moderato facilita la perdita di grasso conservando meglio prestazione e massa magra; deficit aggressivi, soprattutto con molto allenamento, aumentano fame, fatica e rischio di bassa disponibilità energetica.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	aerobica + forza + incremento NEAT
Nutrizione	deficit moderato, proteine elevate per preservare massa magra
Integrazione	creatina; proteine in polvere per praticità
Monitoraggio	peso medio settimanale, circonferenza vita, forza, aderenza

Take home message

Perdere grasso richiede un deficit sostenibile; l'esercizio rende il percorso migliore preservando muscolo, fitness e dispendio quotidiano.

Capitolo 51 – Salute cardiovascolare

La salute cardiovascolare beneficia di una combinazione di volume aerobico, esposizioni a intensità più elevate quando tollerate e resistance training. Questi stimoli agiscono su pressione, funzione endoteliale, capacità cardiorespiratoria e metabolismo. La priorità clinica non è inseguire un singolo valore, ma aumentare la riserva funzionale riducendo contemporaneamente i fattori di rischio modificabili.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	aerobica regolare + forza 2–3 volte/settimana
Nutrizione	modello mediterraneo, fibra, grassi insaturi, sodio adeguato al profilo
Integrazione	nitrati alimentari/omega-3 solo in contesti specifici
Monitoraggio	PA, FC, VO ₂ , lipidi, sintomi

Take home message

La salute cardiovascolare non dipende soltanto dall'aerobica: forza, funzione endoteliale, pressione e capacità periferica di usare ossigeno fanno parte dello stesso sistema.

Capitolo 52 – Salute cerebrale e cognitiva

Per cervello e cognizione contano regolarità e varietà dello stimolo. Attività aerobica, forza e compiti motori complessi agiscono attraverso perfusione, fattori neurotrofici, sonno, controllo metabolico e interazione sociale. L'esercizio più utile è quindi quello sufficientemente impegnativo da produrre adattamento e sufficientemente sostenibile da essere mantenuto nel lungo periodo.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	aerobica + forza + coordinazione/apprendimento
Nutrizione	dieta varia, adeguata energia e omega-3 alimentari
Integrazione	creatina: possibile ruolo cognitivo ma evidenza non uniforme
Monitoraggio	fitness, sonno, test cognitivi se clinicamente indicati

Take home message

Il cervello beneficia di un corpo allenato: perfusione, metabolismo, BDNF, sonno e competenza motoria agiscono insieme.

Capitolo 53 – Ottimizzazione circadiana e sonno

L'esercizio può diventare un potente segnale temporale per l'organismo, ma l'orario va scelto insieme a luce, sonno, pasti e cronotipo. Una seduta mattutina può rafforzare la regolarità della giornata; una seduta serale non è automaticamente dannosa, purché intensità e distanza dal sonno siano ben tollerate. La costanza dell'orario conta più della ricerca di una finestra universale.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	orario regolare compatibile con cronotipo; evitare alta intensità tardiva se disturba il sonno
Nutrizione	pasti regolari, limitare grandi pasti/alcol vicino al sonno
Integrazione	caffeina da evitare nelle ore che compromettono il sonno
Monitoraggio	sonno, HRV, energia diurna, aderenza

Take home message

L'esercizio può rafforzare il ritmo circadiano, ma funziona meglio quando si accorda con luce diurna e sonno regolare.

Capitolo 54 – Healthy aging e longevità

La longevità funzionale richiede riserve diverse: capacità aerobica, forza, potenza, massa muscolare, osso ed equilibrio. Con l'età nessuna di queste può essere affidata all'altra; camminare non sostituisce la forza e sollevare pesi non sostituisce la capacità cardiorespiratoria. Un programma per healthy aging deve quindi essere multimodale e adattabile nei periodi di malattia o ridotta autonomia.

Forza

Nell'healthy aging la forza è una riserva funzionale: determina la facilità con cui si affrontano scale, alzate, trasporti e recupero dopo malattia. Va allenata direttamente con resistenze progressive, non affidata soltanto al cammino.

VO₂max

Il VO₂max è una delle principali riserve fisiologiche associate alla longevità funzionale. Con l'età tende a ridursi, ma l'allenamento aerobico mantiene un margine maggiore rispetto alle richieste delle attività quotidiane e delle malattie intercorrenti.

Massa muscolare

La massa muscolare costituisce riserva proteica e metabolica, ma la sua utilità dipende dalla funzione. In età avanzata conservarla richiede resistance training e apporto proteico adeguato; la priorità è impedire che immobilità e malattia producano perdite accelerate. Massa, forza e qualità muscolare vanno quindi monitorate insieme.

Mitocondri

Con l'età la capacità ossidativa tende a ridursi, in parte per inattività. Endurance e intervalli appropriati mantengono biogenesi, capillarizzazione e flessibilità metabolica, mentre il resistance training sostiene anche i mitocondri delle fibre mantenute. La combinazione è più coerente con la longevità funzionale di un unico metodo.

Osso

La longevità richiede un osso capace di tollerare carico e un sistema neuromuscolare capace di evitare le cadute. Resistance training, impatti sicuri e lavoro di equilibrio affrontano entrambi i lati del problema. Nei soggetti osteoporotici la scelta degli esercizi deve rispettare sede e gravità del rischio di frattura.

Equilibrio

L'equilibrio riduce il rischio di caduta soltanto se viene realmente messo alla prova in condizioni progressive e sicure. Forza degli arti inferiori, visione, sensibilità e velocità di reazione completano il quadro: nessun esercizio su una superficie instabile, da solo, sostituisce questa integrazione.

Autonomia funzionale

Autonomia significa poter camminare, alzarsi, salire scale, trasportare oggetti e reagire a perturbazioni senza assistenza. Queste capacità dipendono da forza relativa, potenza, equilibrio e fitness cardiorespiratoria. La programmazione per healthy aging deve quindi testare e allenare compiti reali, non soltanto parametri di laboratorio.

Componente	Indicazione pratica
Esercizio	forza + aerobica + potenza + equilibrio, mantenuti per tutta la vita
Nutrizione	proteine adeguate, energia sufficiente, dieta mediterranea
Integrazione	creatina e correzione carenze come opzioni con migliore razionale
Monitoraggio	forza, VO_2 , velocità del cammino, equilibrio, composizione corporea

Take home message

La longevità funzionale è una riserva da costruire: VO_2 , forza, potenza, equilibrio e massa muscolare devono restare sopra la soglia richiesta dalla vita quotidiana.

PARTE XV – EXERCISE PHYSIOLOGY CLINICA

Nella patologia l'esercizio non è un generico consiglio salutistico. Diventa una dose terapeutica che deve rispettare diagnosi, rischio, farmaci, sintomi e capacità funzionale.

Capitolo 55 – Sarcopenia e fragilità

Nella sarcopenia l'obiettivo non è soltanto aumentare la massa muscolare, ma recuperare forza, potenza e autonomia. Il resistance training progressivo è il cardine; equilibrio, cammino e un apporto proteico adeguato completano il programma. Nei soggetti fragili la dose iniziale può essere modesta, purché venga realmente fatta progredire.



Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	preservare forza, potenza e autonomia
Modalità prioritarie	resistance training progressivo 2–3 volte/settimana; cammino, potenza controllata ed equilibrio
Dose orientativa	iniziare da carichi gestibili, 6–12 ripetizioni, 1–3 serie; progressione graduale
Precauzioni principali	malnutrizione, cadute, dolore, cardiopatie, polifarmacoterapia
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Nella sarcopenia la forza viene prima della sola quantità di muscolo. Anche nell'età avanzata il carico deve progredire se il soggetto lo tollera.

Capitolo 56 – Osteopenia e osteoporosi

Nell'osteopenia e nell'osteoporosi l'esercizio deve produrre stimoli osteogenici senza aumentare inutilmente il rischio di caduta o frattura. Resistance training, esercizi con carico e, quando appropriati, impatti progressivi vanno combinati con lavoro su equilibrio e forza degli arti inferiori.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	aumentare stimolo osteogenico e ridurre rischio di caduta
Modalità prioritarie	resistance training + impatti se sicuri + equilibrio
Dose orientativa	50–85% 1RM, 5–12 ripetizioni, 2–3 giorni/settimana; impatti personalizzati ≥3 giorni/settimana
Precauzioni principali	fratture vertebrali, dolore acuto, tecnica nei carichi spinali, rischio di caduta
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Osteoporosi significa allenare contemporaneamente osso e prevenzione delle cadute: forza, carico e equilibrio devono procedere insieme.

Capitolo 57 – Artrosi e patologie articolari

Nell'artrosi il movimento non va sospeso per principio. L'obiettivo è aumentare forza, capacità aerobica e tolleranza al carico riducendo dolore e limitazione funzionale. Il carico viene modulato sui sintomi e sulla risposta nelle ore successive, non sull'immagine radiologica isolata.



Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	ridurre dolore e migliorare funzione articolare
Modalità prioritarie	forza, esercizio ciclico, mobilità e aerobica a basso impatto
Dose orientativa	2–3 sedute di forza/settimana più attività aerobica regolare
Precauzioni principali	riacutizzazioni, gonfiore importante, allineamento e tolleranza al carico
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Nell'artrosi il movimento è parte della cura. La dose si regola sulla risposta dei sintomi e della funzione, non sulla paura del carico.

Capitolo 58 – Sovrappeso e obesità

Nel sovrappeso e nell'obesità il successo non si misura soltanto sulla bilancia. Fitness, circonferenza vita, forza, pressione e controllo glicemico possono migliorare anche prima di una grande perdita di peso. Il programma deve essere sostenibile e progressivo, evitando che l'eccesso di carico articolare diventi una barriera al movimento.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	migliorare fitness, massa magra e salute metabolica anche prima del dimagrimento
Modalità prioritarie	aerobica + forza + aumento NEAT
Dose orientativa	150–300 min/settimana di attività moderata con progressione; 2–3 sedute di forza
Precauzioni principali	barriere articolari, stigma, farmaci, ipertensione, aderenza
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Con obesità la salute può migliorare prima del peso. Fitness, forza e circonferenza vita sono risultati clinici, non semplici effetti collaterali.

Capitolo 59 – Insulino-resistenza e diabete tipo 2

Nell'insulino-resistenza e nel diabete tipo 2, aerobica e resistance training agiscono con meccanismi complementari. La contrazione aumenta l'ingresso di glucosio nel muscolo e l'allenamento migliora sensibilità insulinica e massa attiva; interrompere spesso la sedentarietà aggiunge un ulteriore beneficio.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	aumentare sensibilità insulinica e controllo glicemico
Modalità prioritarie	aerobica + forza + interruzioni della sedentarietà
Dose orientativa	attività quasi quotidiana; evitare >2 giorni consecutivi di inattività quando possibile
Precauzioni principali	ipoglicemizzanti, neuropatia, retinopatia, nefropatia, rischio piede
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Messaggi chiave

Nel diabete tipo 2 forza, aerobica e interruzione della sedentarietà sono complementari. La contrazione muscolare aumenta l'assorbimento di glucosio anche attraverso vie non dipendenti dall'insulina.

Take home message

Nel diabete tipo 2 l'effetto della contrazione sul glucosio è immediato e quello dell'allenamento è cumulativo. Interrompere la sedentarietà aggiunge beneficio.

Capitolo 60 – Diabete tipo 1

Nel diabete tipo 1 l'esercizio offre benefici cardiovascolari, muscolari e psicologici paragonabili a quelli della popolazione generale, ma richiede gestione specifica di insulina e carboidrati. Tipo, durata e intensità dello sforzo modificano diversamente la glicemia; il monitoraggio deve quindi essere individuale.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	ottenere benefici di fitness e salute mantenendo sicurezza glicemica
Modalità prioritarie	aerobica e forza con gestione individuale di insulina e carboidrati
Dose orientativa	dose simile alla popolazione generale quando possibile, con monitoraggio CGM/glicemia
Precauzioni principali	ipoglicemia tardiva, iperglicemia/chetoni, variazioni insuliniche, attività non pianificata
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Fermati un attimo

Il diabete tipo 1 non rende l'esercizio "meno efficace". I benefici possono essere ampi, ma la gestione di insulina, carboidrati, glicemia e rischio di ipoglicemia richiede una strategia specifica.

Take home message

Nel diabete tipo 1 l'esercizio è molto utile ma richiede una gestione specifica di insulina, carboidrati e glicemia.

Capitolo 61 – Sindrome metabolica

La sindrome metabolica richiede un intervento capace di agire simultaneamente su adiposità viscerale, pressione, lipidi e controllo glicemico. La combinazione di attività aerobica, forza e riduzione della sedentarietà è più razionale della ricerca di un singolo metodo 'metabolico'.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	ridurre insieme pressione, adiposità viscerale, glicemia e dislipidemia
Modalità prioritarie	programma combinato aerobica + forza + NEAT
Dose orientativa	progressione verso 150–300 min/settimana + 2–3 sedute forza
Precauzioni principali	rischio cardiovascolare globale e terapia farmacologica
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

La sindrome metabolica non ha bisogno di un metodo 'metabolico': ha bisogno di forza, aerobica, movimento quotidiano e nutrizione coerente.

Capitolo 62 – Dislipidemie

Nelle dislipidemie l'esercizio migliora soprattutto trigliceridi, fitness e composizione corporea; gli effetti su LDL-C possono essere più modesti e dipendono molto dalla dieta e dalla perdita di peso. Il resistance training aggiunge benefici funzionali e metabolici che l'aerobica da sola non offre.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	migliorare trigliceridi, HDL, fitness e composizione corporea
Modalità prioritarie	prevalenza aerobica con forza
Dose orientativa	volume settimanale sufficiente e progressivo; intensità variata
Precauzioni principali	statine, dolore muscolare, rischio cardiovascolare
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

L'esercizio migliora trigliceridi, fitness e metabolismo; per LDL-C possono restare determinanti dieta e terapia.

Capitolo 63 – Ipertensione

Nell'ipertensione l'attività aerobica regolare, il resistance training e l'isometria possono ridurre la pressione a riposo. La prescrizione deve considerare valori basali, farmaci e risposta pressoria allo sforzo; trattenere il respiro durante carichi elevati aumenta transitoriamente la pressione e richiede particolare cautela nei soggetti non allenati.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	ridurre pressione a riposo e rischio cardiovascolare
Modalità prioritarie	aerobica, forza dinamica, isometria selezionata, combinato
Dose orientativa	3–5 giorni/settimana aerobica; 2–3 forza; isometria se appropriata
Precauzioni principali	risposta pressoria eccessiva, valsalva, farmaci, valori non controllati
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

L'allenamento può ridurre la pressione a riposo. Nei soggetti ipertesi respirazione, farmaci e progressione dei carichi fanno parte della prescrizione.

Capitolo 64 – Cardiopatia ischemica e riabilitazione cardiovascolare

Dopo cardiopatia ischemica l'esercizio è parte della prevenzione secondaria, ma intensità e progressione devono rispettare stratificazione del rischio, sintomi e terapia. La riabilitazione cardiologica supervisionata resta il contesto ideale nelle fasi iniziali o nei soggetti a rischio più elevato.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	recuperare capacità funzionale e ridurre rischio di nuovi eventi
Modalità prioritarie	riabilitazione cardiologica supervisionata, aerobica + forza
Dose orientativa	prescrizione basata su test e rischio, progressione individuale
Precauzioni principali	ischemia, aritmie, scompenso, terapia beta-bloccante, sintomi
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Dopo cardiopatia ischemica il movimento deve tornare progressivamente normale, ma la fase iniziale richiede stratificazione del rischio e supervisione quando indicata.

Capitolo 65 – Steatosi epatica metabolica – MASLD

Nella MASLD l'esercizio riduce il grasso epatico anche quando la perdita di peso è modesta. Aerobica e forza sono entrambe efficaci; la priorità pratica è raggiungere un volume sostenibile e migliorare sensibilità insulinica, fitness e composizione corporea.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	ridurre grasso epatico e migliorare sensibilità insulinica
Modalità prioritarie	aerobica + forza; HIIT in selezionati
Dose orientativa	150–300 min/settimana, con incremento del volume se tollerato
Precauzioni principali	fibrosi avanzata, comorbidità metaboliche, fatigue
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Nella MASLD il grasso epatico può ridursi anche con un dimagrimento modesto. Conta la regolarità dell'esercizio più della scelta fra forza e aerobica.

Capitolo 66 – Menopausa

In menopausa la riduzione degli estrogeni modifica rapidamente osso, distribuzione del grasso e qualità muscolare. Resistance training, impatti appropriati e attività aerobica devono quindi essere combinati per preservare densità ossea, forza e salute cardiometabolica.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	preservare osso, muscolo, metabolismo e qualità del sonno
Modalità prioritarie	forza + impatto se sicuro + aerobica + equilibrio
Dose orientativa	forza 2–3 volte/settimana, attività aerobica regolare
Precauzioni principali	osteoporosi, sintomi vasomotori, pavimento pelvico, terapia ormonale
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

In menopausa muscolo e osso richiedono uno stimolo esplicito: resistance training e carico osteogenico sono componenti centrali.

Capitolo 67 – Andropausa e aging maschile

Con l'età maschile diminuiscono progressivamente forza, potenza e spesso testosterone, ma non ogni declino funzionale va attribuito agli ormoni. Resistance training, sonno, composizione corporea e fitness aerobica rimangono gli interventi di base; una sospetta carenza androgenica richiede valutazione clinica, non una compensazione empirica con allenamento o integratori.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	contrastare perdita di forza e fitness legata all'età
Modalità prioritarie	forza multiarticolare + aerobica + potenza controllata
Dose orientativa	2–3 sedute di forza e 2–4 aerobiche/settimana
Precauzioni principali	patologie cardiovascolari, prostata, terapie, deficit ormonali da valutare clinicamente
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Nell'aging maschile la funzione non si protegge inseguendo picchi ormonali. Forza, sonno, composizione corporea e fitness sono obiettivi più concreti.

Capitolo 68 – Malattie neurodegenerative

Nelle malattie neurodegenerative l'esercizio mira a conservare funzione e partecipazione più che a inseguire un singolo biomarcatore. Aerobica, forza, equilibrio e compiti motori specifici vengono combinati in modo diverso in Parkinson, deterioramento cognitivo e altre condizioni, con attenzione al rischio di caduta e alla fatica.

Parkinson

Nel Parkinson l'esercizio può migliorare capacità aerobica, forza, equilibrio, andatura e qualità di vita. Strategie con cueing, esercizi ampi, doppio compito e lavoro di potenza possono essere utili in base allo stadio. Rischio di caduta, fluttuazioni farmacologiche e sintomi autonomici richiedono supervisione e coordinamento clinico.

Alzheimer

Nella malattia di Alzheimer e nel deterioramento cognitivo l'attività fisica sostiene fitness, autonomia, sonno e fattori vascolari, con possibili benefici cognitivi medi ma variabili. Programmi semplici, ripetitivi e assistiti favoriscono aderenza e sicurezza. L'esercizio è parte della gestione multidimensionale e non va presentato come trattamento risolutivo.

Deterioramento cognitivo

Nel mild cognitive impairment la combinazione di aerobico, forza e compiti motori complessi può sostenere funzione e autonomia. È utile integrare esercizio con socialità, sonno, controllo pressorio e gestione dei fattori metabolici. La progressione deve essere comprensibile e mantenere basso il rischio di caduta.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	mantenere mobilità, equilibrio e funzioni cognitive
Modalità prioritarie	aerobica, forza, equilibrio, compiti dual-task e specifici
Dose orientativa	frequente e regolare, con supervisione in base allo stadio
Precauzioni principali	cadute, freezing, ipotensione, deterioramento cognitivo, farmaci
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Nelle malattie neurodegenerative il risultato principale è la funzione mantenuta: camminare, alzarsi, girarsi, bilanciarsi e partecipare alla vita quotidiana.

Capitolo 69 – Depressione e disturbi d’ansia

Depressione e disturbi d’ansia possono beneficiare dell’esercizio come intervento strutturato, da solo nelle forme appropriate o insieme alle altre terapie. La difficoltà principale è spesso iniziare e mantenere la pratica: supervisione, obiettivi semplici e scelta di attività tollerate sono parte integrante della prescrizione.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	ridurre sintomi e migliorare autoefficacia, sonno e fitness
Modalità prioritarie	cammino/jogging, forza, yoga o combinazioni gradite
Dose orientativa	3–5 sedute/settimana, iniziando da dose sostenibile
Precauzioni principali	rischio suicidario, grave anedonia, farmaci, necessità di trattamento multidisciplinare
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Fermati un attimo

L’esercizio è un trattamento utile per depressione e ansia, ma non va presentato come sostituto automatico di psicoterapia o farmaci. La gravità clinica determina il livello di integrazione terapeutica.

Take home message

Nei disturbi dell’umore un programma realmente seguito vale più di un programma perfetto. Semplicità, supervisione e aderenza sono parte della terapia.

Capitolo 70 – Patologie respiratorie croniche

Nelle patologie respiratorie croniche l’esercizio riduce decondizionamento e dispnea da sforzo migliorando efficienza periferica e fiducia nel movimento. La riabilitazione polmonare combina lavoro aerobico, forza, educazione e, quando indicato, training dei muscoli respiratori.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	ridurre dispnea e migliorare capacità di esercizio
Modalità prioritarie	riabilitazione polmonare: endurance, forza, educazione, respirazione
Dose orientativa	programma supervisionato, spesso 2–3 sedute/settimana più lavoro domiciliare
Precauzioni principali	desaturazione, ossigenoterapia, riacutizzazioni, ipertensione polmonare
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Nelle patologie respiratorie la dispnea non deve tradursi automaticamente in inattività. La riabilitazione costruisce tolleranza allo sforzo in sicurezza.

Capitolo 71 – Exercise Oncology

Nell'oncologia moderna l'esercizio è utilizzato prima, durante e dopo molti trattamenti per preservare funzione e ridurre fatigue. Tipo e dose dipendono da terapia, anemia, neuropatie, rischio osseo, immunosoppressione e fase clinica; la prescrizione deve quindi essere coordinata con il team curante.

Prevenzione

L'attività fisica regolare è associata a rischio più basso per diversi tumori, ma l'entità varia per sede e non elimina altri fattori di rischio. Il beneficio coinvolge composizione corporea, insulina, infiammazione, immunità e ormoni. La prevenzione oncologica richiede quindi attività fisica insieme a peso sano, dieta, astensione dal fumo e screening appropriati.

Durante i trattamenti

Durante i trattamenti oncologici l'esercizio viene adattato giorno per giorno a terapia, fatigue, anemia, dolore, neuropatie e rischio osseo. Sedute brevi e frequenti possono essere preferibili a sessioni lunghe; in presenza di metastasi ossee, febbre, citopenie rilevanti o complicanze acute servono restrizioni specifiche e coordinamento con il team curante. L'obiettivo è conservare funzione senza aggiungere uno stress non recuperabile.

Recupero

Durante e dopo le terapie oncologiche il recupero può essere limitato da fatigue, anemia, nausea, alterazioni del sonno e perdita di massa muscolare. La dose di esercizio va quindi autoregolata senza trasformare ogni giornata difficile in immobilità completa.

Fatigue oncologica

La cancer-related fatigue non migliora necessariamente con il riposo prolungato. Esercizio aerobico e resistance training dosati in base a trattamento, anemia, dolore e stato funzionale possono ridurre la fatigue e preservare capacità. Le sedute possono essere brevi e frequenti, con autoregolazione nelle giornate peggiori.

Sarcopenia oncologica

Tumore, infiammazione, inattività e trattamenti possono accelerare perdita di massa e forza. Resistance training, energia e proteine sufficienti sono centrali quando tollerati, mentre nausea, mucosite e alterazioni gastrointestinali possono richiedere supporto nutrizionale specifico. La priorità è mantenere funzione e ridurre il decondizionamento durante il percorso terapeutico.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	preservare funzione, ridurre fatigue e complicanze del trattamento
Modalità prioritarie	aerobica + forza adattate a terapia e sintomi
Dose orientativa	obiettivo progressivo verso linee guida generali, con modulazione per cicli terapeutici
Precauzioni principali	anemia, neutropenia, metastasi ossee, cardiotossicità, neuropatia, ferite
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

In oncologia il riposo indiscriminato può accelerare sarcopenia e decondizionamento. La dose di esercizio va adattata a terapia, sintomi e rischi specifici.

Capitolo 72 – Autoimmunità e patologie infiammatorie

Nelle malattie autoimmuni e infiammatorie l'inattività prolungata aumenta decondizionamento e perdita di forza. L'esercizio va modulato sull'attività di malattia e sulla fatigue, aumentando progressivamente il carico nelle fasi stabili e riducendolo nelle riacutizzazioni senza trasformare il riposo in immobilità cronica.

Esercizio come modulatore

Nelle patologie autoimmuni e infiammatorie l'esercizio regolare può migliorare capacità, composizione corporea e infiammazione sistemica senza richiedere immobilità cronica. La dose deve però rispettare organi coinvolti, terapia, fatigue e fase della malattia. L'obiettivo è mantenere funzione con uno stimolo che non aggiunga un costo di recupero sproporzionato.

Fasi di attività della malattia

Durante fasi stabili si può progredire verso le normali raccomandazioni adattate; durante riacutizzazioni importanti si riducono volume e intensità, privilegiando mobilità e attività tollerata. Febbre, coinvolgimento cardiaco o sistemico severo richiedono sospensione e valutazione. La programmazione deve quindi essere dinamica e coordinata con l'andamento clinico.

Dose dello stimolo

La dose efficace è quella che migliora capacità senza amplificare fatigue, dolore o sintomi sistemici nelle 24–48 ore successive. RPE, durata e risposta post-esercizio aiutano ad autoregolare. Nei soggetti molto decondizionati brevi blocchi distribuiti nella giornata possono essere superiori a una singola seduta lunga.



Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	mantenere funzione senza amplificare fatigue o riacutizzazione
Modalità prioritarie	aerobica moderata + forza con autoregolazione
Dose orientativa	dose flessibile, ridotta nelle fasi di attività elevata
Precauzioni principali	febbre, riacutizzazione, terapia immunosoppressiva, coinvolgimento d'organo
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Nelle patologie infiammatorie la dose cambia con la fase di malattia. Ridurre il carico durante una riacutizzazione non significa rinunciare al movimento nel lungo periodo.

Capitolo 73 – Dolore cronico

Nel dolore cronico l'obiettivo è recuperare capacità e fiducia nel movimento. Il dolore non coincide sempre con danno in corso; esposizione graduale, forza, attività aerobica e educazione possono ridurre disabilità, purché il programma eviti sia il timore del carico sia aumenti troppo rapidi.

Sensibilizzazione centrale

La sensibilizzazione centrale descrive un aumento della responsività dei sistemi nocicettivi che può mantenere dolore anche quando il danno tissutale non spiega l'intensità dei sintomi. Sonno, stress, paura del movimento e decondizionamento possono contribuire. L'esercizio graduale mira a ricostruire sicurezza e capacità, non a "rompere" il dolore con intensità elevate.

Movimento

Nel dolore cronico il movimento va recuperato progressivamente e in modo significativo per la persona. L'obiettivo non è dimostrare che 'si può sopportare il dolore', ma ampliare con gradualità attività, forza e fiducia riducendo l'evitamento.

Gradual exposure

La gradual exposure espone progressivamente il soggetto a movimenti o carichi temuti, partendo da livelli tollerabili e aumentando in base alla risposta. Riduce evitamento e migliora autoefficacia quando viene associata a educazione e obiettivi funzionali. L'incremento non deve dipendere soltanto dall'assenza totale di dolore, ma dalla stabilità dei sintomi e dalla funzione.

Esercizio e modulazione del dolore

Una singola seduta può produrre exercise-induced hypoalgesia, ma nelle persone con dolore cronico la risposta è variabile e talvolta invertita. A lungo termine l'esercizio migliora capacità, sonno, umore e controllo motorio, fattori che riducono l'impatto del dolore. Il programma va scelto con il soggetto e mantenuto sufficientemente sostenibile da essere continuato.

Voce	Applicazione
Obiettivo fisiologico	ridurre paura del movimento e migliorare capacità funzionale
Modalità prioritarie	esposizione graduale, forza, aerobica, educazione sul dolore
Dose orientativa	progressione guidata dalla funzione, non dalla ricerca di dolore zero
Precauzioni principali	red flags, deficit neurologici progressivi, dolore acuto traumatico
Nutrizione	evitare bassa disponibilità energetica; adeguare proteine, carboidrati e idratazione al quadro clinico
Monitoraggio	sintomi, RPE, parametri specifici della patologia e progressione funzionale

Take home message

Nel dolore cronico si allena anche la fiducia nel movimento. Il progresso è aumentare capacità e autonomia, non inseguire l'assenza assoluta di sensazioni.

PARTE XVI – NUTRIZIONE ED ESERCIZIO

L'allenamento crea una domanda biologica; la nutrizione fornisce energia e materiali per rispondervi. Quantità totali e qualità della dieta vengono prima delle finezze del timing.

Capitolo 74 – Energia e disponibilità energetica

L'energia disponibile condiziona ogni adattamento. Un apporto troppo basso può ridurre performance, funzione endocrina, salute ossea e recupero; un surplus eccessivo aumenta invece l'accumulo di grasso. Prima di discutere il timing occorre quindi verificare che il bilancio energetico sia coerente con obiettivo e carico di allenamento.

Fabbisogno energetico

Il fabbisogno energetico comprende metabolismo basale, termogenesi alimentare, attività quotidiana ed esercizio. Le equazioni stimano un punto di partenza, ma il dato utile emerge dal trend di peso e composizione corporea insieme a fame, prestazione, sonno e recupero. Nello sport il dispendio può cambiare molto fra giorni e periodi, quindi la stima va aggiornata quando cambia il carico.

Energy availability

La disponibilità energetica rappresenta l'energia alimentare residua dopo aver sottratto il costo dell'esercizio, rapportata alla massa magra. Una disponibilità cronicamente insufficiente può compromettere funzione endocrina, osso, immunità, sintesi proteica e performance.

RED-S

La Relative Energy Deficiency in Sport descrive conseguenze multisistemiche di una disponibilità energetica insufficiente, negli uomini e nelle donne. Non coincide con il semplice dimagrimento né richiede un disturbo alimentare: può derivare anche da carichi crescenti non accompagnati da un adeguato apporto.

Surplus

Un surplus energetico moderato facilita l'aumento di massa quando l'allenamento fornisce uno stimolo anabolico sufficiente. Un eccesso ampio non accelera proporzionalmente la crescita muscolare e aumenta soprattutto l'accumulo di grasso. Velocità di incremento del peso, circonferenze e prestazioni permettono di correggere progressivamente l'apporto.

Deficit

Il deficit energetico deve essere abbastanza ampio da ridurre il grasso ma non tanto da compromettere aderenza, sonno, funzione endocrina e qualità dell'allenamento. Proteine adeguate e resistance training aiutano a preservare massa magra; nei soggetti molto allenati o già magri la perdita deve essere più lenta per limitare il costo prestativo e il rischio di bassa disponibilità energetica.

Ricomposizione corporea

La ricomposizione corporea, cioè ridurre grasso mentre aumenta o si conserva massa magra, è più probabile nei principianti, nei soggetti detrained, nelle persone con maggiore adiposità e quando dieta e resistance training vengono corretti contemporaneamente. Negli atleti avanzati il processo è più lento e spesso richiede fasi con priorità nutrizionali diverse.

Capitolo 75 – Proteine

Le proteine forniscono gli aminoacidi necessari al turnover e al rimodellamento dei tessuti. Nella pratica contano quantità giornaliera, qualità e distribuzione dei pasti; il timing vicino all'allenamento rifinisce una base che deve essere già adeguata.

Quantità

La quantità proteica va riferita a peso corporeo, obiettivo e disponibilità energetica. Per molti adulti che si allenano 1,4–2,0 g/kg/die coprono ampiamente le esigenze; negli anziani o durante un deficit calorico può essere utile collocarsi nella parte alta dell'intervallo, se non esistono controindicazioni cliniche.

Qualità

La qualità proteica dipende da contenuto di aminoacidi essenziali, digeribilità e quantità effettivamente consumata. Proteine animali e alcune combinazioni vegetali possono raggiungere facilmente una quota adeguata di EAA; conta l'intero pasto più del punteggio teorico di un singolo alimento.

EAA

Gli aminoacidi essenziali forniscono tutti i precursori che il corpo non sintetizza in quantità adeguata. Per stimolare e sostenere la sintesi proteica sono più completi dei soli BCAA; una proteina di elevata qualità li apporta naturalmente insieme.

Leucina

Nel pasto, la leucina contribuisce a superare la soglia anabolica, soprattutto nell'anziano. Una volta attivata la sintesi, però, servono tutti gli aminoacidi essenziali; aumentare indefinitamente la leucina non aumenta indefinitamente la risposta.

Digestibilità

La digeribilità determina quanta parte degli aminoacidi ingeriti diventa disponibile. Nelle ore vicine all'allenamento può essere utile scegliere fonti ben tollerate e non eccessivamente ricche di grassi o fibre, soprattutto prima di attività intense.

Distribuzione nella giornata

Distribuire le proteine in tre o quattro pasti permette di offrire più volte una quantità efficace di EAA al muscolo. Nell'anziano è preferibile evitare che quasi tutta la quota giornaliera venga concentrata a cena.

Protein feeding

Ogni pasto proteico produce un aumento transitorio della sintesi proteica muscolare, seguito da una fase refrattaria. Per questo è più utile una distribuzione ragionata nell'arco della giornata che una somministrazione continua di piccole quantità.

Anabolic resistance

Con l'età o in alcune condizioni cliniche il muscolo risponde meno a dosi piccole di proteine e aminoacidi: è la cosiddetta resistenza anabolica. Resistance training e pasti con una quantità sufficiente di proteine complete sono i due strumenti principali per contrastarla.

Anziano

Nell'anziano la priorità è raggiungere la quota proteica senza ridurre troppo l'energia totale. Proteine ad alta densità nutrizionale, distribuite nei pasti e associate a resistance training, aiutano a preservare forza e massa magra.

Sportivo

Nello sportivo la richiesta proteica cresce con volume di allenamento, deficit energetico e necessità di recupero. Superata una quota adeguata, aumentare ancora le proteine non sostituisce carboidrati, energia totale e qualità del programma.



Situazione	Proteine: riferimento pratico
Adulto attivo	~1,4–2,0 g/kg/die
Ipertrofia/forza	spesso ~1,6 g/kg/die è un buon punto di partenza; individualizzare
Deficit calorico con RT	può essere utile salire in rapporto a massa magra e severità del deficit
Anziano	attenzione a quota per pasto, qualità, EAA/leucina e apporto energetico

Capitolo 76 – Carboidrati

I carboidrati sostengono soprattutto il lavoro ad alta intensità e il volume di allenamento, grazie al glicogeno muscolare ed epatico. La quota ottimale varia molto fra soggetti e giorni: non esiste un valore unico valido per forza, endurance, riposo e dimagrimento.

Glicogeno muscolare

Il glicogeno muscolare è il deposito locale di carboidrati utilizzato soprattutto quando cresce l'intensità. La deplezione è specifica dei muscoli e delle fibre reclutate e può ridurre potenza e capacità di sostenere volume. Sedute lunghe, intervalli e doppie sessioni richiedono quindi maggiore attenzione al ripristino rispetto a un lavoro breve e leggero.

Glicogeno epatico

Il glicogeno epatico contribuisce a mantenere la glicemia fra i pasti, durante la notte e nell'esercizio prolungato. Dopo il digiuno notturno può essere parzialmente ridotto anche quando il glicogeno muscolare è ben conservato. Carboidrati assunti prima o durante endurance lungo sostengono quindi non soltanto il muscolo ma anche la disponibilità sistemica di glucosio.

Prima dell'esercizio

Prima dell'esercizio i carboidrati sono tanto più utili quanto maggiore è durata e intensità della seduta. Un pasto nelle 1–4 ore precedenti può includere fonti digeribili insieme a proteine e liquidi; avvicinandosi all'allenamento conviene ridurre grassi e fibre nei soggetti sensibili. Per una seduta breve e facile non è necessario creare un rituale nutrizionale specifico.

Durante

Durante esercizio prolungato i carboidrati aiutano a mantenere glicemia e ossidazione esogena, ritardando il calo prestativo. Indicativamente 30–60 g/ora coprono molte sedute di endurance, mentre eventi molto lunghi possono richiedere quantità maggiori, spesso con miscele di glucosio e fruttosio. La tolleranza gastrointestinale va allenata insieme al gesto atletico.

Dopo

Dopo l'esercizio la priorità cambia in base al tempo disponibile prima della seduta successiva. Se il recupero è breve, carboidrati abbondanti nelle prime ore accelerano la risintesi del glicogeno; se il giorno seguente è di riposo, conta soprattutto raggiungere la quota giornaliera. Associare proteine complete facilita contemporaneamente il recupero muscolare.

Periodizzazione dei carboidrati

Periodizzare i carboidrati significa adattarne la disponibilità alla finalità della seduta. Le giornate con volume elevato o lavori di qualità richiedono più substrato; alcune sedute facili possono essere svolte con disponibilità minore per modulare i segnali ossidativi. La strategia perde senso se riduce cronicamente energia, qualità del training o recupero.

Train low

Allenarsi con bassa disponibilità di carboidrati può amplificare alcuni segnali dell'adattamento ossidativo, ma riduce la capacità di sostenere intensità e volume. Va impiegato solo in programmi selezionati, non come regola quotidiana e non in soggetti a rischio di bassa disponibilità energetica.

Train high

Allenarsi con adeguata disponibilità di carboidrati favorisce la qualità nelle sedute intense o prolungate. Periodizzare i carboidrati significa allinearne la disponibilità alla finalità della seduta, non mantenere sempre quantità elevate o sempre ridotte.

Capitolo 77 – Lipidi

I lipidi forniscono energia, acidi grassi essenziali e componenti delle membrane e degli ormoni steroidei. Ridurli eccessivamente per aumentare carboidrati o proteine può compromettere qualità della dieta; la scelta delle fonti conta almeno quanto la quota totale.

Lipidi come substrato

I lipidi diventano un substrato importante negli sforzi prolungati a bassa e moderata intensità. L'aumento della capacità ossidativa con l'endurance permette di utilizzare più grassi a una stessa potenza submassimale, risparmiando parte del glicogeno.

PUFA

Gli acidi grassi polinsaturi includono famiglie omega-6 e omega-3 e partecipano sia alla struttura delle membrane sia alla sintesi di mediatori lipidici. Il rapporto fra fonti alimentari e fabbisogno complessivo conta più della ricerca di un rapporto numerico universale.

Omega-3

EPA e DHA si incorporano nelle membrane e influenzano mediatori dell'infiammazione, funzione cardiovascolare e, in alcuni studi, risposta muscolare nell'anziano. L'integrazione va considerata soprattutto quando il consumo di pesce è basso.

Membrane cellulari

La qualità dei lipidi alimentari contribuisce alla composizione delle membrane cellulari e alla disponibilità di precursori per mediatori lipidici. Fosfolipidi, colesterolo e acidi grassi determinano fluidità e organizzazione dei microdomini, ma la composizione è strettamente regolata. L'obiettivo nutrizionale è un apporto adeguato di grassi essenziali e fonti insature, non la manipolazione estrema della membrana.

Ormoni steroidei

Gli ormoni steroidei derivano dal colesterolo; ciò non significa che una dieta ricca di grassi aumenti automaticamente testosterone o estrogeni. Una quota lipidica adeguata evita carenze energetiche e fornisce acidi grassi essenziali, mentre la regolazione endocrina resta molto più complessa.

Capitolo 78 – Distribuzione dei nutrienti nei pasti

Distribuire i nutrienti nella giornata serve a far coincidere disponibilità energetica, digestione e recupero con l'orario delle sedute. Non esiste una ripartizione universale fra colazione, pranzo e cena: la struttura va adattata al cronotipo, al lavoro e soprattutto al momento dell'allenamento.

Colazione

La colazione dovrebbe fornire una quota proteica significativa e, quando precede o segue un allenamento, carboidrati proporzionati al lavoro previsto. Frutta, cereali poco raffinati o altre fonti amidacee possono essere modulati secondo tolleranza e obiettivo; grassi e fibre vanno ridotti soltanto quando una seduta intensa è molto vicina.

Pranzo

Il pranzo può rappresentare sia il principale pasto di recupero sia il pasto pre-allenamento del pomeriggio. Una fonte proteica completa, verdure, carboidrati in quantità coerente con il carico e grassi di qualità costruiscono la base; prima di sedute impegnative la digeribilità prevale sulla ricerca di un pasto eccessivamente ricco di fibra.

Cena

La cena completa il recupero e prepara il digiuno notturno. Proteine di qualità, verdure e una quota di carboidrati modulata sul lavoro della giornata favoriscono il ripristino senza imporre pasti enormi; quando l'allenamento è serale, digeribilità e distanza dal sonno diventano parte della prescrizione nutrizionale.

Spuntini

Gli spuntini non sono obbligatori. Sono utili quando separano pasti molto distanti, aumentano l'apporto proteico senza appesantire i pasti principali o forniscono energia prima di una seduta. In assenza di queste necessità, moltiplicare le occasioni alimentari non offre un vantaggio metabolico automatico.

Allenamento prima di colazione

Allenarsi prima di colazione può essere tollerato nelle sedute aerobiche facili e brevi, ma non costituisce una via privilegiata al dimagrimento. Per lavori intensi o prolungati la bassa disponibilità di carboidrati può ridurre qualità e volume. Dopo la seduta è opportuno ripristinare energia, liquidi e proteine, soprattutto se nella giornata segue altro allenamento.

Allenamento pre-pranzo

Se l'allenamento precede il pranzo, il pasto successivo può fornire insieme proteine, carboidrati, liquidi e micronutrienti per il recupero. La colazione va dimensionata in base alla durata e intensità della seduta, evitando sia digiuno forzato sia pasti eccessivi.

Allenamento pomeridiano

Per una seduta pomeridiana il pranzo rappresenta il principale pasto pre-allenamento e dovrebbe essere digeribile, con carboidrati e proteine sufficienti. Un piccolo spuntino può essere aggiunto se passano molte ore o se il lavoro è lungo.

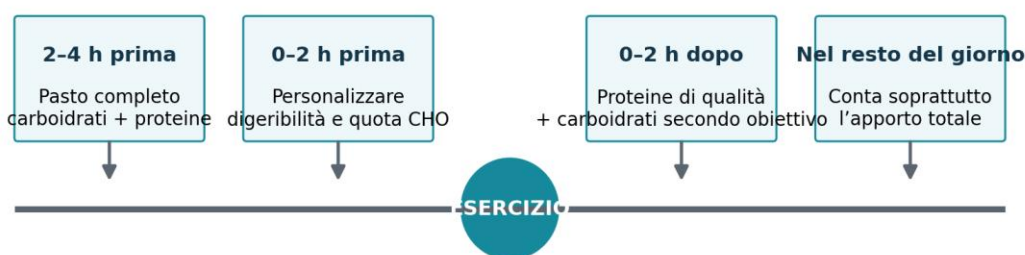
Allenamento serale

Dopo allenamento serale la cena deve favorire recupero senza compromettere il sonno: proteine complete, carboidrati proporzionati al carico e un contenuto di grassi e fibra compatibile con la digestione. Nei soggetti sensibili conviene evitare pasti enormi immediatamente prima di coricarsi.

Giorni di riposo

Nei giorni di riposo la quota proteica rimane stabile perché il rimodellamento continua anche lontano dalla seduta. I carboidrati possono essere ridotti se il dispendio cala, senza eliminarli per principio; verdure, frutta, legumi, grassi di qualità e micronutrienti mantengono il ruolo di base. Il riposo serve a recuperare, non a trasformare la giornata in restrizione compensatoria.

Nutrizione intorno all'esercizio



Il timing raffina la strategia: disponibilità energetica e fabbisogno giornaliero restano prioritari.

Figura 13. Il timing nutrizionale raffina una strategia fondata sull'apporto giornaliero.

Pasto	Principio distributivo
Colazione	proteine di qualità + carboidrati/fibre secondo attività; evitare una quota proteica trascurabile
Pranzo	pasto completo; utile come pre- o post-workout se l'allenamento è vicino
Cena	proteine + vegetali + quota di carboidrati proporzionata a esercizio e sonno
Spuntino	facoltativo: utile per energia o proteine quando i pasti principali non bastano

Capitolo 79 – Alimenti da privilegiare e da limitare

La distinzione fra alimenti 'pro' e 'contro' ha senso soltanto se riferita a obiettivo, quantità e momento. La base resta costituita da alimenti poco processati e vari; vicino a esercizi lunghi o intensi possono diventare utili anche fonti più semplici e facilmente digeribili.

Fonti proteiche

Le fonti proteiche da privilegiare sono quelle che permettono di raggiungere la quota giornaliera con buona qualità nutrizionale: pesce, uova, latticini se tollerati, carni non eccessivamente processate, legumi, soia e combinazioni vegetali. La varietà riduce la dipendenza da un unico alimento o integratore.

Carboidrati

I carboidrati vanno scelti in funzione del contesto: cereali integrali, patate, legumi, frutta e altri alimenti ricchi di micronutrienti costituiscono la base; prodotti più raffinati possono diventare utili vicino a sedute lunghe o gare, quando digeribilità e rapidità di assorbimento contano più della fibra.

Grassi

Per i grassi conviene privilegiare olio extravergine di oliva, frutta secca, semi, pesce e altre fonti prevalentemente insature. Pasti molto grassi immediatamente prima di esercizio intenso rallentano lo svuotamento gastrico e possono peggiorare la tolleranza gastrointestinale.

Frutta e verdura

Frutta e verdura forniscono fibre, potassio, folati, vitamina C e numerosi fitochimici. La varietà di colori e specie è più importante della ricerca del singolo 'superfood'; vicino a gare o allenamenti intensi, quantità elevate di fibra possono essere temporaneamente ridotte nei soggetti sensibili.

Alimenti ultraprocessati

Gli alimenti ultraprocessati non sono definiti soltanto dal contenuto calorico, ma dal grado di formulazione industriale e dalla facilità con cui favoriscono un'elevata densità energetica. In una dieta per sportivo possono comparire occasionalmente prodotti pratici, ma non dovrebbero sostituire la base di alimenti nutrienti e riconoscibili.

Alcol

L'alcol peggiora qualità del sonno, idratazione e sintesi proteica muscolare quando assunto in quantità elevate, oltre ad aggiungere energia priva di particolare valore nutrizionale. Nel recupero post-esercizio non offre alcun vantaggio fisiologico.

Idratazione

L'idratazione deve limitare sia disidratazione marcata sia eccesso di acqua ipotonica. La strategia dipende da durata, clima, tasso di sudorazione e possibilità di bere; il peso prima e dopo sedute lunghe può aiutare a stimare le perdite individuali.

Sodio e altri elettroliti

Sodio, potassio, cloro e altri elettroliti partecipano a eccitabilità, contrazione e bilancio dei fluidi. Nelle attività brevi una dieta normale è spesso sufficiente; con sudorazione elevata o sforzi prolungati il sodio diventa l'elettrolita da reintegrare con maggiore attenzione.

Preferire più spesso	Limitare / contestualizzare
pesce, uova, latticini/fermentati, carni magre, legumi, tofu/soia	carni processate e fonti proteiche molto ricche di grassi/sale se frequenti
cereali integrali, patate, riso, frutta, legumi	zuccheri liberi e farine raffinate come base abituale; possono però avere uso pratico nello sport prolungato
olio EVO, frutta secca, semi, pesce grasso	grassi trans e eccesso di fritti/ultraprocessati
verdure e frutta variate	restrizioni inutilmente rigide che riducono aderenza e disponibilità energetica
acqua; elettroliti in base alle perdite	alcol come strategia di recupero: peggiora sintesi proteica e sonno

PARTE XVII – INTEGRAZIONE E NUTRACEUTICA

Un integratore ha senso quando risolve un problema concreto: coprire un fabbisogno, migliorare la praticità, sostenere una prestazione specifica o correggere una carenza. L'evidenza e la sicurezza vengono prima del marketing.

Capitolo 80 – Criteri per valutare un integratore

Prima di discutere una molecola occorre stabilire se esista un problema da risolvere. Un prodotto può avere un effetto statisticamente significativo ma clinicamente piccolo, oppure essere utile soltanto in una disciplina o in presenza di una carenza. Purezza, dose reale e interazioni sono parte dell'efficacia.

Efficacia

L'efficacia richiede studi controllati pertinenti all'obiettivo e una grandezza dell'effetto clinicamente utile, non soltanto significatività statistica. Un integratore può funzionare in una disciplina o popolazione e risultare irrilevante in un'altra. Prima della dose va quindi definito il problema che si vuole risolvere.

Sicurezza

La sicurezza dipende da dose, durata, purezza, età, gravidanza, funzione renale/epatica e farmaci concomitanti. “Naturale” non significa innocuo. Nei soggetti clinici ogni integrazione deve essere confrontata con terapia, pressione, glicemia e rischio di interazioni.

Dosaggio

Il dosaggio va espresso nella quantità della sostanza attiva, non soltanto nel peso del prodotto commerciale. Dosi efficaci derivano dagli studi e vanno adattate a peso corporeo quando la fisiologia lo richiede. Superare l'intervallo studiato raramente aumenta il beneficio e può aumentare gli effetti avversi.

Purezza

Qualità e purezza sono cruciali soprattutto negli atleti soggetti a controlli antidoping. Certificazioni indipendenti riducono il rischio di contaminanti o sostanze non dichiarate, senza garantire l'efficacia. Materia prima, lotto, tracciabilità e stabilità meritano quindi attenzione quanto il marketing del prodotto.

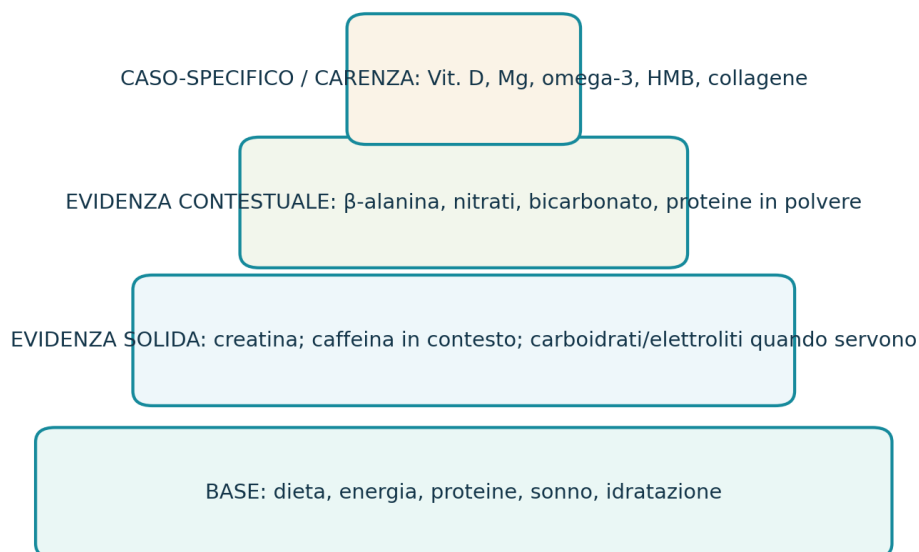
Timing

Il timing è determinante soltanto per alcune molecole. Caffaina e bicarbonato richiedono un rapporto temporale con la gara, mentre creatina e vitamina D dipendono soprattutto dalla regolarità nel tempo. Prima di complicare gli orari conviene verificare che dose e indicazione siano corrette.

Livello dell'evidenza

Il livello dell'evidenza deve distinguere consenso consolidato, risultati promettenti e meccanismi soltanto plausibili. Meta-analisi e position stand hanno più peso di piccoli studi isolati, ma qualità e popolazione restano decisive. Nel volume le integrazioni vengono quindi ordinate per utilità reale e non per novità.

Gerarchia pratica dell'integrazione



La supplementazione completa un programma: non compensa un allenamento o una dieta mal costruiti.

Figura 14. La supplementazione viene dopo allenamento, dieta, sonno e idratazione.

Capitolo 81 – Creatina

La creatina monoidrato è il riferimento fra gli integratori per forza e prestazioni ripetute ad alta intensità. Aumentando la creatina e la fosfocreatina intramuscolari, consente in molti soggetti di sostenere qualche ripetizione o volume in più e, nel tempo, amplifica gli adattamenti al resistance training. Le altre forme commerciali non hanno dimostrato una superiorità costante rispetto al monoidrato.

Bioenergetica

La creatina aumenta il pool intramuscolare di creatina e fosfocreatina, facilitando la risintesi rapida di ATP negli sforzi brevi e ripetuti. Ciò permette spesso qualche ripetizione o una potenza leggermente superiore, vantaggio che nel tempo si traduce in maggiore stimolo allenante. L'effetto è quindi sia acuto sul sistema fosfageno sia cronico attraverso il lavoro accumulato.

Forza

Fra gli effetti più solidi della creatina vi è il supporto agli adattamenti di forza quando viene associata a resistance training. L'aumento della disponibilità di fosfocreatina consente di sostenere meglio serie ripetute e, nel tempo, può tradursi in maggiore lavoro allenante.

Massa muscolare

Associata a resistance training, la creatina aumenta in media massa magra più del solo allenamento. Una parte dell'aumento iniziale è acqua intracellulare, ma gli studi di medio-lungo periodo mostrano anche maggiore accrescimento tissutale. Non sostituisce proteine, energia e progressione del carico.

Cervello

Il cervello utilizza il sistema creatina-fosfocreatina e può aumentarne le riserve con supplementazione, soprattutto quando l'introito alimentare è basso o la domanda energetica è elevata. Alcuni studi suggeriscono benefici cognitivi in specifiche condizioni, ma l'evidenza è meno robusta rispetto a forza e massa muscolare.

Aging

Nell'anziano la creatina è interessante perché può potenziare gli effetti del resistance training su forza e massa magra. Il vantaggio maggiore emerge quando viene inserita in un programma di esercizio, non come intervento isolato. Funzione renale e quadro clinico vanno valutati secondo le normali precauzioni.

Dosaggio

Una strategia semplice utilizza 3–5 g/die di creatina monoidrato. Il caricamento accelera la saturazione ma non è necessario: la stessa saturazione viene raggiunta più lentamente con la dose quotidiana. In soggetti molto grandi alcune strategie usano dosi proporzionali al peso.

Carico sì/no

Il carico classico, circa 20 g/die divisi in 4 dosi per 5–7 giorni, satura rapidamente le riserve ma può aumentare disturbi gastrointestinali o variazioni di peso. Assumere 3–5 g/die senza carico è più semplice e raggiunge lo stesso obiettivo in alcune settimane. La scelta è pratica, non qualitativa.

Timing

Per la creatina il timing rispetto all'allenamento è secondario rispetto all'assunzione quotidiana. Prenderla con un pasto o vicino alla seduta può facilitare l'aderenza e in alcuni studi l'accumulo, ma non esiste una finestra stretta. La continuità è il fattore principale.

Uso continuativo

La creatina monoidrato può essere utilizzata continuativamente nei soggetti sani alle dosi studiate; non è necessario ciclizzarla per mantenere efficacia. La sospensione riduce gradualmente le riserve verso il basale. In presenza di patologia renale o condizioni cliniche complesse è opportuna valutazione medica.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	3–5 g/die; opzionale carico ~20 g/die divisi per 5–7 giorni
Timing	qualsiasi momento; costanza > timing
Livello di evidenza	Alta per forza/potenza e incremento della massa magra con RT
Limiti / precauzioni	possibile aumento di peso per acqua intracellulare; prudenza in patologia renale non valutata

Take home message

La creatina monoidrato ha una delle evidenze più solide fra gli integratori sportivi. La continuità d'uso conta più del timing; altre forme non hanno mostrato vantaggi costanti.

Capitolo 82 – Proteine in polvere

Le proteine in polvere sono alimenti concentrati, non una categoria fisiologicamente superiore alle proteine del cibo. Diventano utili quando praticità, digestione o orari rendono difficile raggiungere la quota giornaliera; qualità aminoacidica, tolleranza e composizione del prodotto determinano la scelta fra whey, caseina e fonti vegetali.

Whey

Le whey sono proteine del siero rapidamente digeribili, ricche di aminoacidi essenziali e leucina. Sono comode quando il pasto non è pratico e stimolano efficacemente la sintesi proteica. Il loro valore dipende però dal contributo al totale giornaliero, non da una superiorità assoluta rispetto a una dieta completa.

Isolate

Le whey isolate contengono una quota proteica maggiore e meno lattosio e grassi rispetto ai concentrati. Possono essere utili nei soggetti che tollerano poco il lattosio o desiderano un prodotto più concentrato. Il vantaggio sulla crescita muscolare è minimo quando quantità di proteine e leucina sono equivalenti.

Concentrate

Le whey concentrate conservano più componenti non proteici e sono generalmente meno costose. La percentuale proteica varia fra prodotti e può essere presente più lattosio. Per molti soggetti rappresentano una scelta perfettamente adeguata se digerite bene.

Caseina

La caseina forma un coagulo gastrico e viene digerita più lentamente, prolungando la disponibilità di aminoacidi. Può essere utile fra pasti distanti o prima del sonno quando serve aumentare l'apporto proteico totale. Non deve però trasformare il pasto serale in un obbligo se il fabbisogno quotidiano è già coperto.

Proteine vegetali

Le proteine vegetali possono sostenere pienamente l'adattamento se quantità e profilo aminoacidico sono adeguati. Miscele di fonti complementari, soia o dosi leggermente maggiori di proteine meno ricche di leucina aiutano a raggiungere la stessa disponibilità di EAA.

Digestione

Velocità di digestione, lattosio, dolcificanti e quantità assunta possono influenzare la tolleranza. Un prodotto che provoca gonfiore o diarrea perde utilità anche se il profilo aminoacidico è eccellente. La scelta fra whey, caseina, proteine vegetali o alimento intero deve quindi considerare il tratto gastrointestinale.

Timing

Dopo l'allenamento una porzione proteica è utile soprattutto quando il pasto precedente è distante. La finestra anabolica è più ampia di quanto suggeriscano vecchi modelli e la sensibilità all'esercizio dura molte ore. Distribuzione giornaliera e dose per pasto hanno priorità sul minuto esatto di assunzione.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	quota necessaria per raggiungere il fabbisogno; spesso 20–40 g per dose
Timing	in un pasto o vicino all'esercizio in base alla praticità
Livello di evidenza	Alta come fonte proteica pratica, non superiore per definizione al cibo
Limiti / precauzioni	allergie/intolleranze, qualità del prodotto, fabbisogno totale

Capitolo 83 – EAA, BCAA e leucina

EAA, BCAA e leucina vanno distinti per funzione. La leucina attiva segnali anabolici, i BCAA comprendono soltanto tre aminoacidi essenziali, mentre per sintetizzare nuove proteine serve la disponibilità dell'intero gruppo degli EAA. In presenza di una quota adeguata di proteine complete, i BCAA isolati hanno quindi un margine di utilità limitato.

Differenze

Gli EAA comprendono tutti gli aminoacidi che l'organismo non può sintetizzare; i BCAA sono soltanto leucina, isoleucina e valina. La leucina segnala l'avvio della sintesi proteica, ma per costruire proteine servono tutti gli EAA. Per questo proteine complete o EAA sono generalmente più razionali dei soli BCAA.

Sintesi proteica

Una dose adeguata di proteina completa fornisce sia il segnale leucina sia i substrati necessari alla sintesi. I soli BCAA possono aumentare alcuni segnali ma non sostengono pienamente la costruzione se mancano gli altri EAA. Il contesto dell'intero pasto e dell'apporto giornaliero resta quindi decisivo.

Indicazioni reali

EAA possono essere utili quando è difficile assumere proteine complete, in pasti molto piccoli o in alcuni contesti clinici con ridotta tolleranza. BCAA isolati hanno meno indicazioni se la dieta copre già proteine di qualità. La scelta deve risolvere un limite reale, non duplicare ciò che il pasto fornisce già.

Limiti dei soli BCAA

L'assunzione di BCAA senza gli altri EAA non fornisce tutti i mattoni necessari alla sintesi di nuove proteine. Inoltre una dieta ricca di proteine contiene già quantità rilevanti di BCAA. Il loro impiego sistematico come principale supplemento post-workout non è quindi supportato quanto proteine complete o EAA.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	EAA o proteina completa preferibili; leucina come trigger entro pasto completo
Timing	vicino ai pasti o post-esercizio quando utile
Livello di evidenza	EAA/proteina completa > soli BCAA per sostenere MPS
Limiti / precauzioni	i BCAA da soli non forniscono tutti i substrati per nuove proteine

Fermati un attimo

BCAA, EAA e proteine complete non sono equivalenti. La leucina può accendere il segnale anabolico, ma per costruire nuove proteine servono tutti gli aminoacidi essenziali.

Take home message

La leucina segnala, gli EAA costruiscono. Quando l'apporto proteico è già adeguato, i soli BCAA aggiungono poco.

Capitolo 84 – HMB

L'HMB è un metabolita della leucina studiato per la capacità di limitare il catabolismo e sostenere il recupero. I risultati più convincenti riguardano soprattutto anziani, soggetti non allenati o condizioni con rischio di perdita muscolare; negli atleti ben allenati l'effetto aggiuntivo è meno costante. Le dosi più utilizzate negli studi sono intorno a 3 g/die.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	circa 3 g/die negli studi
Timing	diviso nella giornata
Livello di evidenza	Mista; beneficio più plausibile in fragilità, immobilità o bassa assunzione, meno nel soggetto ben allenato
Limiti / precauzioni	non sostituisce proteine e RT; evitare promesse di ipertrofia routinaria

Capitolo 85 – Beta-alanina

La beta-alanina aumenta progressivamente la carnosina muscolare e quindi la capacità tampone intracellulare. Il beneficio è più plausibile negli sforzi intensi di durata approssimativa da uno a pochi minuti o in serie ripetute che accumulano acidosi. L'effetto richiede settimane di assunzione; dosi giornaliere fra circa 3,2 e 6,4 g vengono spesso suddivise per limitare la parestesia.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	4–6 g/die per almeno 2–4 settimane
Timing	dosi frazionate; il timing acuto è secondario
Livello di evidenza	Moderata-alta per sforzi intensi ~1–4 min
Limiti / precauzioni	parestesie, attenuabili con dosi frazionate o rilascio prolungato

Capitolo 86 – Caffaina

La caffeina riduce la percezione dello sforzo e può migliorare vigilanza, potenza ed endurance. Molti soggetti ottengono effetti già con circa 1–3 mg/kg, mentre dosi maggiori aumentano più facilmente ansia, tachicardia e disturbi del sonno senza garantire un vantaggio ulteriore. Il timing deve quindi essere deciso anche in base all'ora della seduta e alla sensibilità individuale.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	circa 3–6 mg/kg; alcuni rispondono a dosi inferiori
Timing	~30–60 min prima, variabile con forma e individuo
Livello di evidenza	Alta per endurance e diversi domini di performance
Limiti / precauzioni	sonno, ansia, pressione, tolleranza, gravidanza, sensibilità individuale

Take home message

La caffeina è efficace, ma una dose che migliora la seduta e peggiora il sonno può produrre un bilancio negativo.

Capitolo 87 – Nitrati

I nitrati alimentari, presenti soprattutto in verdure a foglia e barbabietola, possono aumentare la disponibilità di ossido nitrico attraverso la via nitrato-nitrito-NO. In alcuni soggetti migliorano economia dell'esercizio e tolleranza allo sforzo, con maggiore evidenza nell'endurance submassimale. La risposta è variabile e può essere attenuata dall'uso di collutori antibatterici che interferiscono con la conversione orale del nitrato.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	dose standardizzata in nitrato; spesso succo di barbabietola negli studi
Timing	~2–3 h prima o protocolli per più giorni
Livello di evidenza	Moderata, effetto medio piccolo e variabile
Limiti / precauzioni	ipotensione, farmaci nitrati/PDE5, disturbi GI; distinguere nitrato da quantità di succo

Capitolo 88 – Bicarbonato

Il bicarbonato di sodio aumenta temporaneamente la capacità tampone extracellulare e può sostenere prestazioni in cui l'accumulo di H^+ contribuisce alla fatica. È stato studiato soprattutto in sforzi intensi di alcuni minuti e in serie ripetute; dosi intorno a 0,2–0,3 g/kg sono comuni, ma nausea, gonfiore e diarrea ne limitano spesso l'impiego. La tolleranza va verificata lontano dalla gara.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	0,2–0,3 g/kg; 0,3 g/kg frequentemente efficace
Timing	60–180 min prima; protocolli individualizzati
Livello di evidenza	Alta per sforzi intensi 30 s–12 min in molte discipline
Limiti / precauzioni	disturbi GI e alto carico di sodio; testare lontano dalla gara

Take home message

Il bicarbonato è un aiuto specifico per sforzi ad alta intensità; la tolleranza gastrointestinale va testata prima della gara.

Capitolo 89 – Elettroliti

La necessità di elettroliti dipende da sudorazione, durata, clima e composizione del sudore. Il sodio è generalmente l'elettrolita perso in quantità maggiore e diventa prioritario nelle attività lunghe o molto calde; potassio, magnesio e altri minerali sono di norma coperti da una dieta adeguata. Integrare automaticamente grandi quantità senza stimare liquidi e perdite può essere inutile o controproducente.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	in base a sudorazione e durata; sodio spesso il principale
Timing	durante e dopo attività lunghe/calde
Livello di evidenza	Alta quando esiste perdita significativa; inutile standardizzare per tutti
Limiti / precauzioni	ipertensione, patologie renali, eccessiva assunzione di acqua ipotonica

Capitolo 90 – Magnesio

Il magnesio partecipa a centinaia di reazioni, incluse quelle legate ad ATP, funzione neuromuscolare e sintesi proteica. Correggere una carenza è importante, ma nei soggetti con stato nutrizionale adeguato la supplementazione non aumenta in modo affidabile forza o endurance. Forma chimica, tolleranza intestinale e funzione renale devono guidare dose e scelta del prodotto.



Parametro	Indicazione
Dose orientativa	correggere deficit; evitare dosi farmacologiche senza indicazione
Timing	con i pasti o sera secondo tolleranza
Livello di evidenza	Limitata come ergogenico nei soggetti repleti
Limiti / precauzioni	diarrea; insufficienza renale; interazioni con farmaci

Capitolo 91 – Vitamina D

La vitamina D è rilevante per omeostasi del calcio, osso e funzione muscolare. L'integrazione è razionale quando l'esposizione solare e la dieta non mantengono uno stato adeguato, preferibilmente valutato con 25(OH)D; nei soggetti già repleti non è un ergogenico. Dosi elevate croniche senza monitoraggio possono provocare ipercalcemia e non devono essere usate per inseguire valori arbitrariamente alti.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	dose guidata da 25(OH)D, dieta, esposizione e indicazione clinica
Timing	con pasto contenente grassi
Livello di evidenza	Alta per correzione della carenza; non consistente come booster prestativo se repleto
Limiti / precauzioni	evitare megadosi non monitorate; calcio e funzione renale quando indicato

Capitolo 92 – Omega-3

EPA e DHA influenzano composizione delle membrane, mediatori lipidici e funzione cardiovascolare. L'integrazione può essere utile quando il consumo di pesce è scarso e viene studiata anche per recupero e risposta muscolare, soprattutto nell'anziano, ma non sostituisce una dieta di qualità. Le dosi elevate richiedono cautela in presenza di farmaci o condizioni che aumentano il rischio emorragico.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	EPA+DHA secondo dieta/obiettivo; spesso 1–2 g/die negli studi
Timing	con i pasti
Livello di evidenza	Moderata per trigliceridi e salute cardiovascolare; ruolo muscolare ancora contestuale
Limiti / precauzioni	anticoagulanti, dosi elevate, qualità e ossidazione del prodotto

Capitolo 93 – Collagene, gelatina e vitamina C

Collagene e gelatina apportano soprattutto glicina, prolina e idrossiprolina e sono studiati come supporto al rimodellamento di tendini e legamenti. Alcuni protocolli utilizzano circa 10–15 g in prossimità del carico insieme a vitamina C, necessaria alla sintesi del collagene; le evidenze sono promettenti ma non definitive. Non sostituiscono proteine complete quando l'obiettivo è la sintesi proteica muscolare.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	circa 10–15 g, fino a 15–30 g negli studi tendinei; vitamina C in quantità nutrizionale
Timing	~30–60 min prima del carico tendineo secondo alcuni protocolli
Livello di evidenza	Emergente per tendine/MEC; non sostituisce proteine complete per il muscolo
Limiti / precauzioni	evidenza ancora eterogenea; priorità a carico progressivo e apporto proteico totale

Take home message

Collagene o gelatina possono integrare la dieta, ma il segnale decisivo per tendini e legamenti resta il carico meccanico progressivo.

Capitolo 94 – Altri nutraceutici

CoQ10, taurina, citrullina, carnitina, polifenoli e altri nutraceutici hanno razionali e livelli di evidenza molto diversi. Prima di inserirli occorre definire quale limite fisiologico si vuole correggere e verificare che esercizio, dieta, sonno e integrazione di base siano già adeguati. Un effetto biochimico plausibile non equivale automaticamente a un miglioramento clinico o prestativo misurabile.

CoQ10

Il CoQ10 partecipa al trasporto elettronico mitocondriale e agisce come antiossidante liposolubile. La supplementazione può essere interessante in specifiche condizioni, inclusi alcuni soggetti in terapia con statine, ma l'effetto sulla performance negli sportivi sani è incostante. Va quindi usato per indicazioni mirate, non come ergogenico universale.

Taurina

La taurina partecipa a osmoregolazione, gestione del calcio e funzione di membrane e muscolo. Studi acuti suggeriscono possibili effetti su endurance o recupero, ma la risposta è variabile e l'evidenza è inferiore a creatina o caffeina. Dosi e timing devono quindi essere scelti con prudenza.

Citrullina

La citrullina aumenta l'arginina plasmatica più efficacemente dell'arginina orale e può sostenere la produzione di ossido nitrico. La citrullina malato è stata studiata soprattutto per volume di lavoro e percezione della fatica, con risultati non uniformi. L'effetto, quando presente, è modesto e dipende dalla dose reale di citrullina.

Carnitina

La carnitina trasporta acidi grassi a lunga catena nel mitocondrio, ma aumentare l'assunzione orale non aumenta automaticamente l'ossidazione dei grassi nel muscolo. Il contenuto intramuscolare è strettamente regolato e gli effetti ergogenici nei soggetti non carenti sono limitati. Le indicazioni cliniche specifiche vanno separate dal marketing dimagrante.

Polifenoli

I polifenoli possono modulare segnalazione redox e infiammazione. Alimenti ricchi di polifenoli sono coerenti con una dieta di qualità; estratti concentrati ad alte dosi possono invece interferire con alcuni segnali adattativi o avere effetti farmacologici. L'obiettivo è sostenere il sistema redox, non sopprimere ogni ROS post-esercizio.

Antiossidanti: quando sì e quando no

Correggere una carenza e garantire frutta, verdura e micronutrienti è diverso dall'assumere megadosi di antiossidanti intorno a ogni seduta. Alte dosi croniche di alcune vitamine possono attenuare segnali redox coinvolti nell'adattamento. Supplementi mirati hanno senso quando esiste indicazione clinica, carenza o carico eccezionale, evitando l'idea che più antiossidante significhi sempre più recupero.

Parametro	Indicazione
Dose orientativa	dipende dalla molecola e dalla carenza/indicazione
Timing	specifico per sostanza
Livello di evidenza	Variabile: evitare "stack" indiscriminati
Limiti / precauzioni	interazioni farmacologiche, qualità del prodotto, possibile interferenza redox

PARTE XVIII – RECUPERO E OVERTRAINING

L'adattamento si consolida durante il recupero. Il carico allenante diventa produttivo solo se sonno, energia e tempo consentono di ricostruire ciò che lo stimolo ha temporaneamente perturbato.

Capitolo 95 – Fisiologia del recupero

Recuperare significa ristabilire la capacità di produrre una nuova risposta adattativa. I sistemi non recuperano tutti alla stessa velocità: substrati energetici, sistema nervoso, muscolo e connettivo seguono tempi diversi. La programmazione deve quindi distinguere ciò che è stanco da ciò che è ancora in fase di rimodellamento.

Recupero metabolico

Il recupero metabolico comprende risintesi della fosfocreatina, ripristino del glicogeno e normalizzazione degli equilibri ionici. I tempi vanno da minuti a molte ore; la necessità di carboidrati immediati cresce soprattutto quando le sedute sono ravvicinate.

Recupero neuromuscolare

Il recupero neuromuscolare riguarda capacità di produrre forza, eccitabilità e coordinazione. Può rimanere incompleto anche quando il dolore è scomparso; nei programmi di potenza, velocità del gesto e qualità tecnica sono buoni indicatori pratici.

Recupero connettivale

Tendini, legamenti e altre componenti connettivali si rimodellano più lentamente del muscolo. L'assenza di DOMS non significa che siano completamente recuperati: progressione, distribuzione dei carichi e risposta nelle 24–48 ore devono guidare la frequenza.

Recupero endocrino

Il sistema endocrino non deve essere 'riportato a zero' dopo ogni seduta. Le variazioni acute di catecolamine, cortisolo, GH e insulina fanno parte della risposta normale; diventa rilevante il recupero quando alterazioni di sonno, energia disponibile e prestazione persistono nel tempo.

Capitolo 96 – Sonno e recupero

Il sonno è la principale finestra di recupero neurocomportamentale e contribuisce a regolazione metabolica, immunitaria ed endocrina. Durata, regolarità e continuità contano più della ricerca di un singolo 'sonno perfetto' misurato dal dispositivo.

Architettura del sonno

Il sonno alterna cicli NREM e REM, ciascuno con funzioni specifiche di recupero, memoria e regolazione neuroendocrina. L'allenamento non richiede una fase 'speciale' del sonno, ma beneficia di durata sufficiente, regolarità e continuità dei cicli.

GH

Il sonno profondo coincide con pulsazioni fisiologiche di GH importanti per metabolismo e riparazione. Ridurre cronicamente il sonno può alterarne il profilo, ma misurare il GH di routine non è utile per valutare il recupero dell'atleta.

Cortisolo

Sonno insufficiente e carico di allenamento elevato possono alterare il profilo del cortisolo, ma un singolo valore ha scarsa capacità di descrivere il recupero. Se viene misurato, l'orario del prelievo e le condizioni precedenti devono essere rigorosamente standardizzati.

Sistema nervoso autonomo

Il sonno e il sistema nervoso autonomo si influenzano reciprocamente. Un recupero adeguato favorisce predominanza parasimpatica nelle fasi di riposo, mentre stress e carichi elevati possono aumentare frequenza cardiaca e ridurre HRV. I trend individuali sono più informativi di un singolo valore e devono essere letti insieme a qualità del sonno e prestazione.

Prestazione

La restrizione di sonno peggiora soprattutto vigilanza, decisione, percezione dello sforzo e capacità di sostenere volumi elevati; gli effetti su forza massima isolata sono più variabili. Negli atleti il sonno è quindi parte della programmazione, non un recupero opzionale. Orari regolari e sufficiente opportunità di sonno hanno priorità sugli integratori sedativi.

Capitolo 97 – Overreaching e overtraining

Overreaching e overtraining appartengono a un continuum di squilibrio fra carico e recupero, ma non sono sinonimi. Un breve calo prestativo può essere programmato; un peggioramento protratto senza beneficio richiede invece riduzione del carico e ricerca di cause alternative.

Functional overreaching

Il functional overreaching è una fase intenzionale di carico elevato che provoca un calo prestativo breve seguito, dopo recupero adeguato, da un possibile miglioramento. Ha senso soprattutto nell'alta prestazione e richiede controllo del carico; non è necessario per ottenere adattamenti nei comuni programmi di salute.

Non-functional overreaching

Nel non-functional overreaching il calo prestativo dura più a lungo e non è seguito da un vantaggio proporzionato. Compaiono spesso disturbi del sonno, motivazione ridotta e fatica persistente; è un segnale che il rapporto fra carico e recupero è stato superato.

Overtraining syndrome

L'OTS è una condizione rara e complessa caratterizzata da calo prestativo prolungato non spiegato da altre cause, associato a sintomi fisici o psicologici variabili. Non esiste un singolo biomarcatore diagnostico. Prima di attribuire i sintomi all'overtraining occorre escludere infezioni, carenze, disturbi endocrini, deficit energetico, sonno insufficiente e problemi psicologici.

Segnali clinici

Campanelli d'allarme sono peggioramento persistente della performance, stanchezza non proporzionata, sonno disturbato, irritabilità, perdita di motivazione e aumento di dolore o malattie. Nessuno è specifico da solo. La combinazione con una chiara storia di carico e recupero inadeguato aumenta la probabilità che il problema sia legato all'allenamento.

Marker

CK, cortisolo, testosterone, HRV, frequenza a riposo e marker infiammatori possono cambiare con allenamento e stress, ma non diagnosticano da soli l'OTS. La variabilità biologica è elevata e i valori dipendono da orario, esercizio recente e stato nutrizionale. Il monitoraggio più utile combina prestazione standardizzata, sintomi e carico.

Prevenzione

La prevenzione richiede progressione del carico, settimane di recupero quando necessarie, energia sufficiente, sonno e gestione degli stress extra-sportivi. Variare giorni duri e facili riduce l'accumulo di fatica. Un calo prestativo persistente deve indurre a ridurre il carico e cercare la causa prima di aggiungere stimoli.

Fermati un attimo

L'overtraining syndrome non va spiegata come semplice "acidosi" o accumulo di lattato. È una condizione complessa, diagnosticata per esclusione, associata a prestazione persistentemente ridotta e alterazioni multisistemiche.

PARTE XIX – VALUTAZIONE E MONITORAGGIO

Misurare serve a prendere decisioni, non a collezionare numeri. Ogni test deve avere sufficiente affidabilità e soprattutto una conseguenza pratica sul programma.

Capitolo 98 – Composizione corporea

La composizione corporea descrive come il peso è distribuito fra compartimenti, ma nessun metodo la misura direttamente senza assunzioni. Il valore clinico nasce dal trend ottenuto con lo stesso strumento e nelle stesse condizioni, integrato con funzione e stato di idratazione.

Peso e BMI

Peso e BMI sono semplici e utili a livello epidemiologico, ma non distinguono massa grassa, muscolo e distribuzione adiposa. Nello sportivo un BMI elevato può riflettere maggiore massa magra; nell'anziano un BMI normale può coesistere con sarcopenia. Vanno quindi integrati con circonferenze, composizione corporea e funzione.

Circonferenze

Le circonferenze forniscono misure economiche e ripetibili della distribuzione corporea. La vita è particolarmente utile per stimare adiposità centrale e rischio cardiometabolico; braccio e coscia possono aiutare nel follow-up ma risentono di grasso e idratazione. Tecnica e punto anatomico devono essere standardizzati.

BIA

La BIA stima la composizione corporea a partire dall'impedenza elettrica e da modelli predittivi. Idratazione, pasti, esercizio recente e temperatura alterano la misura, perciò i confronti richiedono condizioni standard. Il valore principale è seguire trend con lo stesso strumento, non considerare ogni percentuale come misura diretta del tessuto.

BIS

La BIS usa molte frequenze per modellare con maggiore dettaglio compartimenti fluidi extracellulari e intracellulari. È utile quando la distribuzione dell'acqua è clinicamente rilevante, ma resta dipendente da modelli e condizioni di misura. Non deve essere confusa con una misura anatomica diretta di muscolo o organi.

Massa cellulare

La body cell mass rappresenta concettualmente la componente metabolicamente attiva del corpo e viene stimata indirettamente da modelli bioimpedenziometrici. Può essere utile nel follow-up nutrizionale, ma il numero dipende dall'algoritmo dello strumento. È più prudente interpretarne la tendenza insieme ad angolo di fase, forza e stato clinico.

Acqua intra-/extracellulare

Il rapporto fra acqua intracellulare ed extracellulare può essere stimato con bioimpedenza, soprattutto con BIS, ma è sensibile a idratazione, sodio, esercizio recente e patologie. Il dato ha valore se confrontato nel tempo in condizioni standard e interpretato con il quadro clinico.

Angolo di fase

L'angolo di fase deriva dal rapporto fra resistenza e reattanza e viene spesso interpretato come indicatore integrato di membrane, massa cellulare e distribuzione dei fluidi. Valori più bassi sono associati a prognosi peggiore in diverse condizioni, ma i cut-off dipendono da età, sesso, strumento e popolazione. Nel singolo soggetto è utile soprattutto il trend standardizzato.

Massa muscolare

La massa muscolare può essere stimata con DXA, imaging o bioimpedenza, ma la funzione deve essere misurata separatamente. Nella sarcopenia forza e prestazione hanno grande importanza clinica e possono deteriorarsi più rapidamente della quantità di tessuto. La valutazione completa associa quindi massa, forza e capacità funzionale.

Metodo	Punto di forza	Limite principale
Peso/BMI	semplice e ripetibile	non distingue massa magra e grassa
Circonferenze	utili per adiposità centrale	dipendono dalla tecnica
BIA	rapida e accessibile	sensibile a idratazione e modello predittivo
BIS	spettro di frequenze e compartimenti fluidi	richiede strumentazione e standardizzazione
DXA	riferimento per osso e composizione	radiazioni minime, costo, non misura funzione

Capitolo 99 – Valutazione della forza

La forza può essere valutata in modo diretto o indiretto. Il test scelto deve essere sicuro, ripetibile e specifico per la funzione che si vuole seguire; cambiare esercizio, tecnica o angolo articolare rende i confronti longitudinali meno affidabili.

1RM

Il 1RM è il massimo carico sollevabile una volta con tecnica definita. È specifico per esercizio e può essere misurato direttamente nei soggetti esperti o stimato da serie submassimali. In clinica non è sempre necessario testare il massimale reale: l'obiettivo è prescrivere e monitorare intensità in sicurezza.

Submassimali

Test con 3–10 ripetizioni massimali o carichi noti permettono di stimare la forza senza esporre al vero 1RM. La precisione diminuisce con serie molto lunghe e varia fra esercizi. Sono particolarmente pratici in principianti, anziani e riabilitazione.

Handgrip

La forza di presa è rapida, economica e associata a funzione e prognosi in molte popolazioni. Non sostituisce la valutazione degli arti inferiori o della forza globale, ma è un utile marker di screening. Posizione, mano dominante, dinamometro e numero di tentativi devono essere standardizzati.

Isometria

La forza isometrica viene misurata a un angolo articolare definito con dinamometri o celle di carico. È ripetibile e sicura, ma il risultato è specifico per posizione e protocollo; confronti longitudinali richiedono la stessa configurazione.

Dinamometria

La dinamometria misura forza isometrica o dinamica con strumenti specifici e permette confronti fra arti o nel tempo. L'affidabilità dipende dalla stabilizzazione, dall'angolo articolare e dalla familiarizzazione. In riabilitazione è utile perché rileva cambiamenti non sempre visibili con test funzionali grossolani.

Capitolo 100 – Valutazione aerobica

La valutazione aerobica serve a quantificare capacità di sostenere lavoro ossidativo e a prescrivere intensità individuali. VO_{2max} , soglie e test da campo rispondono a domande diverse; il test più sofisticato non è automaticamente il più utile.

VO_{2max}

Il VO_{2max} misurato con analisi dei gas è il riferimento per la capacità cardiorespiratoria. Nei test incrementali va interpretato insieme a criteri di sforzo, soglie ventilatorie e motivo di interruzione, soprattutto quando si parla più correttamente di VO_{2peak} .

Test da laboratorio

L'ergospirometria misura direttamente scambi gassosi, ventilazione e risposta cardiovascolare durante un protocollo incrementale. Permette di stimare VO_2 peak e soglie e, in ambito clinico, di distinguere pattern di limitazione. Richiede strumentazione, calibrazione e personale competente.

Test da campo

Test di corsa, cammino o step forniscono stime pratiche della capacità aerobica con costi ridotti. Sono più sensibili a motivazione, ambiente e tecnica, ma diventano molto utili quando vengono ripetuti nello stesso modo. La scelta deve corrispondere alla funzione reale del soggetto.

Soglie

Soglie ventilatorie e del lattato aiutano a descrivere domini di intensità e a prescrivere lavoro individualizzato. Non sono punti biologici assoluti e metodi diversi possono produrre valori differenti. Per il follow-up è fondamentale usare lo stesso protocollo e lo stesso criterio di identificazione.

Walking test

Il 6-minute walk test e altri test di cammino misurano una capacità funzionale submassimale vicina alla vita quotidiana. Sono particolarmente utili in anziani e pazienti cardiopolmonari. Distanza, sintomi, saturazione e frequenza cardiaca forniscono informazioni complementari.

Capitolo 101 – Monitoraggio autonomico

Il monitoraggio autonomico usa segnali semplici, come frequenza cardiaca a riposo e HRV, per osservare tendenze di recupero. Questi indici sono sensibili anche a sonno, stress, alcol, infezioni e postura; vanno quindi interpretati insieme alla prestazione e alla percezione soggettiva.

Frequenza cardiaca a riposo

La frequenza cardiaca a riposo è facile da rilevare e tende a ridursi con l'aumento della fitness aerobica. Varia però con sonno, temperatura, infezioni, caffeina e stress; un aumento persistente rispetto al proprio basale è più informativo del confronto con valori 'ideali' generici.

HRV

La HRV descrive la variabilità degli intervalli fra battiti e riflette l'interazione autonoma sul nodo senoatriale. È molto sensibile a sonno, postura, respirazione, alcol, malattia e stress; per questo va misurata in condizioni standard e interpretata come trend personale. Può aiutare ad autoregolare l'allenamento, ma non sostituisce prestazione e sintomi.

Recupero della frequenza cardiaca

Il recupero della frequenza cardiaca nei primi minuti dopo lo sforzo riflette soprattutto la riattivazione parasimpatica e il ritiro simpatico. Un recupero più rapido è generalmente favorevole, ma il test deve essere standardizzato per postura, durata e intensità dell'esercizio precedente.

Sonno

Nel monitoraggio dell'atleta il sonno va considerato come trend, non come voto quotidiano. Durata, regolarità, risvegli e percezione di ristoro possono spiegare variazioni di RPE e prestazione; i dispositivi wearable sono utili soprattutto per seguire tendenze individuali.

RPE

Nel monitoraggio quotidiano l'RPE della seduta, moltiplicato per la durata, può stimare il carico interno. Il valore acquista significato soprattutto come trend individuale e in relazione alla prestazione successiva.

Capitolo 102 – Biomarcatori

I biomarcatori possono chiarire stato metabolico, carenze e fattori di rischio, ma raramente descrivono da soli l'allenamento. Ogni esame dovrebbe rispondere a una domanda clinica: misurare molto senza una decisione conseguente aumenta costi e falsi allarmi.

Glicemia

La glicemia a digiuno e, quando indicato, i profili post-prandiali descrivono aspetti diversi del controllo glicidico. L'esercizio recente può migliorarla temporaneamente e va annotato quando si confrontano i prelievi. Nel monitoraggio metabolico interessa la tendenza insieme a HbA1c, insulina e composizione corporea.

Insulina

Nel monitoraggio metabolico l'insulina a digiuno acquista significato insieme a glicemia, HbA1c, composizione corporea e contesto clinico. Può aiutare a stimare l'insulino-resistenza, ma non è un marker di recupero dall'allenamento.

HbA1c

L'HbA1c riflette l'esposizione glicemica media dei mesi precedenti e non cambia per una singola seduta. È utile nel diabete e nel prediabete, ma anemia, emoglobinopatie e alterazioni del turnover eritrocitario possono modificarne l'interpretazione. La risposta all'esercizio va letta nel quadro terapeutico complessivo.

Lipidi

Colesterolo LDL, HDL e trigliceridi descrivono parte del rischio cardiometabolico. L'esercizio tende a ridurre trigliceridi e migliorare alcuni aspetti del profilo, mentre la riduzione dell'LDL dipende molto anche da dieta, peso e terapia. Nei soggetti ad alto rischio il target farmacologico non deve essere sostituito dall'allenamento.

hs-CRP

La hs-CRP è un marker aspecifico di infiammazione sistemica utile soprattutto come dato di contesto. Infezioni, obesità, trauma e una seduta molto impegnativa possono aumentarne temporaneamente il valore. Per confronti longitudinali il prelievo dovrebbe avvenire lontano da esercizio eccezionale e malattia acuta.

CK

La creatina chinasi può aumentare molto dopo esercizio nuovo, eccentrico o ad alto volume e presenta grande variabilità individuale. Un valore isolato non misura la qualità dell'allenamento né diagnostica overtraining. Sintomi, funzione renale e contesto determinano quando un aumento richiede approfondimento.

Cortisolo

Il cortisolo presenta forte variabilità circadiana e risponde a sonno, stress, energia disponibile ed esercizio recente. Per questo un valore isolato è poco informativo; l'eventuale monitoraggio deve usare condizioni e orari ripetibili e avere una domanda clinica precisa.

Testosterone

Nel monitoraggio clinico il testosterone ha senso quando esistono sintomi o un sospetto endocrinologico. I valori vanno misurati in condizioni standard e interpretati con età, orario e farmaci; non sono un indicatore quotidiano di 'anabolismo' da allenamento.

Vitamina D

La 25-OH-vitamina D è il marker comunemente utilizzato per valutare lo stato vitaminico. Una carenza va corretta per salute ossea e muscolare, ma supplementare oltre la sufficienza non aumenta automaticamente la performance. Esposizione solare, stagione, adiposità e assunzione influenzano il valore.

Ferritina

La ferritina riflette le riserve di ferro ma aumenta anche come proteina di fase acuta. Negli atleti, soprattutto donne ed endurance, una ferritina bassa può precedere l'anemia e ridurre capacità di lavoro. L'interpretazione richiede emocromo, saturazione della transferrina e stato infiammatorio prima di prescrivere ferro.

Emocromo

L'emocromo permette di identificare anemia, variazioni dei globuli bianchi e altri elementi utili nel soggetto affaticato. Volume plasmatico e allenamento di endurance possono modificare l'emoglobina per emodiluizione senza vera perdita di massa eritrocitaria. Il dato va quindi collegato a ferritina e quadro clinico.

Elettroliti

Sodio, potassio e altri elettroliti vengono strettamente regolati e le alterazioni significative richiedono attenzione clinica. La sudorazione modifica soprattutto il bilancio di acqua e sodio durante attività lunghe o in caldo. L'integrazione deve essere proporzionata alle perdite reali e non applicata indiscriminatamente.

Marker selezionati in funzione del soggetto

Il pannello di monitoraggio deve rispondere a una domanda clinica. Un atleta sano non necessita degli stessi esami di un soggetto con diabete, cardiopatia, anemia o terapia tiroidea. Selezionare pochi marker interpretabili e ripeterli con tempi coerenti è più utile di grandi pannelli non contestualizzati.

Marker	Quando può essere utile
Glicemia/HbA1c	rischio metabolico, diabete, monitoraggio clinico
Profilo lipidico	rischio cardiovascolare e risposta allo stile di vita
hs-CRP	contesto infiammatorio e rischio, non marker specifico di recupero
CK	danno muscolare in casi selezionati; elevata variabilità individuale
Ferritina/emocromo	fatigue, endurance, sospetta carenza di ferro/anemia
Vitamina D	rischio di carenza, osso, specifiche condizioni cliniche
Elettroliti	sospette alterazioni, terapie o perdite importanti

PARTE XX – PROTOCOLLI APPLICATIVI

I protocolli finali traducono i principi in una traccia operativa. Sono punti di partenza da personalizzare, non ricette universali.

Capitolo 103 – Costruire un programma individuale

Un programma individuale nasce da una gerarchia: sicurezza, obiettivo, aderenza, dose, progressione e verifica. Solo dopo questi passaggi ha senso discutere finezze di esercizi o integrazione. La valutazione iniziale deve essere abbastanza ampia da identificare rischi e abbastanza semplice da poter essere ripetuta.

Anamnesi

L'anamnesi raccoglie storia clinica, farmaci, infortuni, attività precedente, sonno, lavoro e preferenze. È il punto da cui emergono sia i rischi sia le leve di aderenza. Una prescrizione tecnicamente perfetta ma incompatibile con la vita reale del soggetto è destinata a fallire.

Obiettivi

Gli obiettivi devono essere specifici e prioritizzati: ridurre pressione, aumentare forza, camminare senza dispnea o preparare una gara richiedono programmi diversi. È utile distinguere outcome clinici, funzionali e comportamentali. Misure semplici e scadenze realistiche trasformano l'obiettivo in un processo monitorabile.

Condizioni cliniche

Diagnosi, sintomi, terapia e stabilità della malattia determinano precauzioni e necessità di supervisione. Alcune condizioni richiedono test o autorizzazione prima di intensità elevate; altre beneficiano subito di attività leggera. Il programma deve integrarsi con la cura e non essere presentato come alternativa automatica ai trattamenti necessari.

Livello iniziale

Valutare ciò che il soggetto sa già fare evita sia sottodosaggio sia partenze troppo aggressive. Cammino, sit-to-stand, forza di presa, tolleranza allo sforzo e tecnica di base possono bastare per costruire un primo profilo. I test devono essere proporzionati al rischio e all'obiettivo.

Scelta degli esercizi

Gli esercizi sono strumenti, non fini. Si scelgono quelli che allenano il pattern desiderato con il miglior rapporto fra stimolo, competenza tecnica, dolore e disponibilità di attrezzatura. Varianti semplici possono essere preferibili a gesti complessi se consentono progressione più stabile.

Dose

La dose nasce da frequenza, intensità, durata, volume e densità. Nei primi cicli è prudente lasciare margine di recupero e aumentare una variabile per volta. La risposta reale del soggetto, non il programma scritto, decide se la dose è corretta.

Progressione

Si progredisce quando tecnica, sintomi e recupero rimangono stabili. Aumentare ripetizioni o durata prima del carico è spesso utile, ma in alcuni obiettivi la specificità richiede maggiore intensità. Deload o regressioni temporanee fanno parte della progressione quando la vita esterna aumenta il carico totale.

Monitoraggio

Il monitoraggio deve essere abbastanza semplice da essere sostenibile. Prestazione, RPE, dolore, sonno, frequenza cardiaca e uno o due outcome specifici permettono spesso decisioni migliori di decine di misure. La tendenza nel tempo conta più della variazione giornaliera.

Passaggio	Domanda
1. Anamnesi	Quali diagnosi, farmaci, sintomi, infortuni e vincoli?
2. Obiettivo	Quale risultato misurabile conta davvero?
3. Baseline	Quali test descrivono il punto di partenza?
4. Dose	Qual è la minima dose efficace e tollerabile?
5. Progressione	Quale variabile aumentare e quando?
6. Verifica	Il soggetto migliora senza accumulare segnali di mancato recupero?



Capitolo 104 – Protocollo salute generale

Questo protocollo costruisce una base generale: movimento quotidiano, forza, capacità aerobica e mobilità sufficiente. La dose iniziale deve permettere continuità; solo dopo si aumenta il carico in funzione della risposta.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	salute generale e riduzione del rischio
Esercizi	cammino/cyclette/corsa leggera + 6–8 esercizi di forza + mobilità
Frequenza	aerobica 4–6 gg; forza 2–3 gg
Intensità	moderata per gran parte dell'aerobica; forza RIR 2–4
Durata	150–300 min/settimana aerobica + 45–60 min forza
Progressione	prima regolarità, poi volume, infine intensità
Timing	orario sostenibile; interrompere lunghi periodi seduti
Nutrizione	modello mediterraneo, proteine distribuite, idratazione
Integrazione	solo necessaria/utile; creatina opzionale con forza
Recupero	7–9 h sonno, almeno 1 giorno facile/settimana
Monitoraggio	PA, FC riposo, RPE, peso/vita, forza di base

Take home message

Per la salute generale la base resta semplice: movimento quotidiano, forza e lavoro aerobico. La complessità viene dopo la continuità.

Capitolo 105 – Protocollo longevità

Per la longevità l'obiettivo è conservare riserva: VO_2 , forza, potenza, massa muscolare, equilibrio e autonomia. Il programma deve essere sostenibile per anni, non soltanto efficace per alcune settimane.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	healthy aging: forza, VO_2 , osso, equilibrio
Esercizi	forza multiarticolare, Zone 2, intervalli brevi, potenza ed equilibrio
Frequenza	forza 3 gg; aerobica 3–5 gg; equilibrio quasi quotidiano
Intensità	forza moderata-alta; aerobica prevalentemente bassa-moderata
Durata	5–7 h/settimana totali secondo livello
Progressione	cicli di 4–8 settimane; mantenere tutte le qualità
Timing	regolarità circadiana e luce mattutina
Nutrizione	energia sufficiente, proteine 1,2–1,6 g/kg/die negli anziani attivi secondo contesto
Integrazione	creatina; vitamina D se carente
Recupero	sonno, gestione stress, settimane di scarico
Monitoraggio	handgrip, sit-to-stand, $VO_2/6MWT$, equilibrio, BIA/BIS se utile

Take home message

Per la longevità occorre conservare più riserve insieme: aerobica, forza, potenza ed equilibrio. Nessuna singola modalità le sostituisce tutte.

Capitolo 106 – Protocollo sarcopenia

Nella sarcopenia la priorità è recuperare forza e funzione. Il resistance training viene progressivamente intensificato, mentre proteine adeguate e attività quotidiana aiutano a trasformare il guadagno di palestra in autonomia reale.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	recuperare forza e massa nella sarcopenia
Esercizi	leg press/squat assistito, tirate, spinte, hinge, alzate da sedia, cammino
Frequenza	forza 2–3 gg; cammino quasi quotidiano
Intensità	RPE 6–8/10, 6–12 ripetizioni adattate
Durata	45–60 min seduta
Progressione	aumentare prima ripetizioni e tecnica, poi carico
Timing	preferire momento della giornata con maggiore energia
Nutrizione	proteine distribuite, EAA/leucina adeguati, energia sufficiente
Integrazione	creatina 3–5 g/die; whey se utile a raggiungere proteine
Recupero	48 h tra sedute pesanti stesso distretto
Monitoraggio	handgrip, chair stand, velocità cammino, massa muscolare

Take home message

Nella sarcopenia iniziare con poco è corretto; restare sempre con poco non lo è. Il carico deve crescere con la capacità.

Capitolo 107 – Protocollo osteoporosi

Nel protocollo per osteoporosi il carico deve essere abbastanza specifico da stimolare l'osso e abbastanza sicuro da non aumentare il rischio di caduta o frattura. Forza, impatti appropriati ed equilibrio vengono quindi integrati.



Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	stimolo osteogenico e prevenzione cadute
Esercizi	forza, carichi assiali, impatti se sicuri, equilibrio
Frequenza	forza 2–3 gg; impatti 3+ gg; equilibrio 3+ gg
Intensità	50–85% 1RM secondo esperienza e rischio
Durata	45–60 min; impatti in brevi blocchi
Progressione	incrementi piccoli, varietà direzionale
Timing	evitare sedute quando fatigue aumenta rischio caduta
Nutrizione	proteine, calcio alimentare, energia adeguata
Integrazione	vitamina D solo se insufficienza; creatina per supporto muscolare
Recupero	osso e tendini richiedono giorni/settimane di adattamento
Monitoraggio	DEXA clinica, forza, equilibrio, cadute, dolore vertebrale

Take home message

Nel protocollo osteoporosi lo stimolo osseo e la sicurezza devono avanzare insieme: forza, carico e prevenzione delle cadute.

Capitolo 108 – Protocollo mitocondriale

Il protocollo mitocondriale alterna volume aerobico sostenibile e stimoli intensi selezionati. L'obiettivo non è massimizzare la fatica, ma aumentare capacità ossidativa e tolleranza al lavoro mantenendo recupero adeguato.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	aumentare capacità e qualità mitocondriale
Esercizi	Zone 2 + HIIT 1–2 volte/settimana + forza
Frequenza	aerobica 4–6 gg; forza 2 gg
Intensità	prevalenza bassa-moderata, piccola quota alta
Durata	30–90 min Zone 2; intervalli brevi
Progressione	aumentare volume prima degli intervalli
Timing	se possibile regolare; evitare deficit energetico cronico
Nutrizione	carboidrati periodizzati; proteine adeguate
Integrazione	nessuna obbligatoria; caffeina/nitrati per performance selettiva
Recupero	alternare giorni duri e facili
Monitoraggio	VO ₂ , soglie, FC/RPE, tolleranza al volume

Take home message

Per i mitocondri serve continuità: molto lavoro sostenibile, intervalli scelti bene e recupero sufficiente a ripetere lo stimolo.

Capitolo 109 – Protocollo metabolico

Il protocollo metabolico combina lavoro aerobico, forza e interruzione della sedentarietà per agire su sensibilità insulinica, pressione e composizione corporea. La risposta glicemica e il recupero guidano la progressione.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	sensibilità insulinica e flessibilità metabolica
Esercizi	cammino post-pasto, forza full-body, aerobica
Frequenza	movimento quotidiano; forza 2–3 gg
Intensità	moderata; intervalli se idonei
Durata	10–20 min post-pasto + 150–300 min/settimana
Progressione	aumentare regolarità e volume
Timing	strategico dopo i pasti per glicemia
Nutrizione	fibre, carboidrati poco raffinati, proteine distribuite
Integrazione	non necessaria di routine
Recupero	sonno regolare
Monitoraggio	glicemia/HbA1c, circonferenza vita, PA, lipidi

Take home message

Il protocollo metabolico funziona quando distribuisce movimento nella settimana e nella giornata, non soltanto quando concentra tutto in poche sedute.

Capitolo 110 – Protocollo cardiovascolare

Nel protocollo cardiovascolare il carico aerobico viene costruito gradualmente e affiancato da forza. Frequenza cardiaca, pressione, sintomi e terapia determinano l'intensità realmente appropriata.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	aumentare fitness e ridurre rischio cardiovascolare
Esercizi	aerobica + forza, eventualmente isometria selezionata
Frequenza	aerobica 4–6 gg; forza 2–3 gg
Intensità	moderata prevalente, vigorosa se idonea
Durata	150–300 min/settimana
Progressione	volume → intensità, con sintomi sotto controllo
Timing	farmaci e risposta pressoria da considerare
Nutrizione	mediterranea, sodio personalizzato, fibre
Integrazione	solo indicata; evitare ergogenici che aumentano PA nei sensibili
Recupero	giorni facili dopo lavori intensi
Monitoraggio	PA, FC, sintomi, capacità aerobica

Take home message

Nel cardiovascolare la progressione si giudica da capacità funzionale e sintomi. La frequenza cardiaca è uno strumento, non l'intera prescrizione.

Capitolo 111 – Protocollo dimagrimento

Per il dimagrimento l'esercizio serve a preservare massa magra, aumentare dispendio e migliorare fitness. Il deficit energetico resta necessario, ma deve essere moderato abbastanza da consentire allenamento e aderenza.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	perdita di grasso preservando massa magra
Esercizi	forza + aerobica + NEAT elevato
Frequenza	forza 3 gg; aerobica 3–6 gg
Intensità	forza moderata-alta; aerobica prevalentemente moderata
Durata	200–300+ min/settimana attività secondo tolleranza
Progressione	incrementare passi e volume prima di intensità
Timing	scegliere orari che migliorano aderenza e fame
Nutrizione	deficit 10–20%, proteine 1,6–2,2 g/kg/die secondo profilo
Integrazione	creatina; whey se utile; evitare “fat burner”
Recupero	sonno per controllo appetito e mantenimento prestazione
Monitoraggio	media peso 7 gg, vita, forza, fame, aderenza

Take home message

Dimagrire senza perdere funzione è il vero obiettivo. Forza e proteine preservano muscolo; aerobica e NEAT sostengono il deficit.

Capitolo 112 – Protocollo ipertrofia

Il protocollo per ipertrofia organizza volume, prossimità al cedimento e frequenza per accumulare serie di qualità. Proteine ed energia adeguate sostengono il processo; il recupero decide quando aumentare il lavoro.



Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	ipertrofia muscolare
Esercizi	6–10 pattern principali + complementari
Frequenza	ogni gruppo 2–3 volte/settimana
Intensità	ampio spettro carichi, serie vicine al cedimento con RIR 1–3
Durata	~8–15 serie/gruppo/settimana da individualizzare
Progressione	doppia progressione ripetizioni-carico
Timing	distribuire sedute e proteine
Nutrizione	surplus piccolo se necessario; proteine 1,6–2,2 g/kg/die
Integrazione	creatina 3–5 g/die; whey/EAA se pratici
Recupero	48–72 h tra stimoli impegnativi stesso gruppo
Monitoraggio	carichi, ripetizioni, circonferenze, peso, foto standardizzate

Take home message

L'ipertrofia richiede serie produttive, non serie infinite. Il volume cresce soltanto finché il recupero ne mantiene la qualità.

Capitolo 113 – Protocollo forza

Il protocollo per la forza privilegia gesti specifici, carichi elevati ma gestibili e recuperi sufficienti. Tecnica e velocità della ripetizione devono rimanere stabili prima di aumentare ulteriormente il carico.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	massimizzare forza
Esercizi	pattern specifici con carichi elevati + complementari
Frequenza	2–4 esposizioni/settimana per alzata/pattern
Intensità	prevalenza 75–90% 1RM, evitando cedimento frequente
Durata	45–90 min
Progressione	aumenti piccoli e periodizzazione semplice
Timing	sedute dure quando più recuperato
Nutrizione	energia e carboidrati sufficienti; proteine adeguate
Integrazione	creatina; caffeina in test/competizione se tollerata
Recupero	pause lunghe 2–5 min nelle serie principali
Monitoraggio	e1RM, velocità, RPE, qualità tecnica

Take home message

La forza migliora con carichi elevati ma gestibili, tecnica stabile e recuperi completi. Testare spesso il massimale non equivale ad allenarlo bene.

Capitolo 114 – Protocollo MEC/tendini

Per MEC e tendini il criterio principale è la progressione meccanica nel tempo. Carichi lenti e pesanti, isometrie o lavoro elastico vengono scelti in funzione del tessuto e della fase, evitando variazioni brusche di volume.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	aumentare capacità di carico di tendini e MEC
Esercizi	isometrici, heavy slow resistance, eccentrici, pliometria progressiva
Frequenza	2–4 esposizioni/settimana secondo tessuto
Intensità	carico moderato-alto, dolore accettabile e stabile quando clinicamente appropriato
Durata	30–60 min
Progressione	prima capacità lenta, poi velocità e reattività
Timing	evitare picchi di carico consecutivi
Nutrizione	energia/proteine adeguate, vitamina C alimentare
Integrazione	collagene/gelatina opzionale con evidenza emergente
Recupero	tendine più lento del muscolo; rispettare risposta a 24 h
Monitoraggio	dolore, rigidità mattutina, forza, test funzionali

Take home message

Il connettivo premia la costanza: il carico deve progredire in settimane e mesi, rispettando il tempo biologico di rimodellamento.

Capitolo 115 – Protocollo ritmo circadiano

Il protocollo circadiano usa esercizio, luce e orari dei pasti come segnali coerenti. La seduta viene collocata nell'orario che favorisce costanza e sonno, poi mantenuta sufficientemente stabile da diventare un riferimento per il sistema.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	rafforzare regolarità circadiana e sonno
Esercizi	luce + cammino mattutino; forza/aerobica a orario stabile
Frequenza	movimento quotidiano
Intensità	moderata; alta intensità non troppo tardi se disturba sonno
Durata	30–60 min attività programmata
Progressione	prima orari regolari, poi carico
Timing	preferire orario sostenibile e coerente con cronotipo
Nutrizione	pasti regolari, cena non eccessiva, limitare alcol
Integrazione	caffaina lontana dal sonno; altri interventi solo se indicati
Recupero	routine serale e 7–9 h di sonno
Monitoraggio	orari sonno, latenza, risvegli, energia mattutina

Take home message

Per il ritmo circadiano la regolarità è già terapia comportamentale: luce al mattino, sonno stabile e attività in un orario sostenibile.

Capitolo 116 – Protocollo anziano fragile

Nell'anziano fragile la prima dose deve essere tollerabile ma non simbolica. Forza degli arti inferiori, equilibrio, alzate, cammino e potenza progressiva vengono allenati con supervisione e obiettivi funzionali concreti.

Voce	Prescrizione orientativa
Obiettivo	autonomia, prevenzione cadute e resilienza
Esercizi	alzate da sedia, tirate/spinte, cammino, step, equilibrio, potenza leggera
Frequenza	forza 2–3 gg; cammino/equilibrio quasi quotidiani
Intensità	RPE 5–8 secondo fragilità
Durata	20–50 min, anche in blocchi brevi
Progressione	una variabile alla volta, supervisione iniziale
Timing	momento con minore ipotensione e fatigue
Nutrizione	energia sufficiente, proteine distribuite, idratazione
Integrazione	creatina/vitamina D solo dopo valutazione di contesto
Recupero	evitare accumulo di fatigue e giorni consecutivi molto duri
Monitoraggio	TUG, chair stand, velocità cammino, cadute, peso

Take home message

Nell'anziano fragile il guadagno di forza deve tradursi in vita reale: alzarsi, camminare, salire gradini e recuperare sicurezza.

Conclusione

Il movimento come necessità biologica

Il corpo umano conserva la propria competenza quando viene utilizzato. Muscolo, osso, tendine, endotelio, cervello e mitocondri richiedono segnali regolari; la sedentarietà non è neutralità, ma una progressiva riduzione della domanda funzionale.

L'esercizio come farmaco fisiologico

La metafora del farmaco è utile soltanto se ricorda che esistono indicazione, dose, frequenza, risposta e possibili effetti indesiderati. A differenza di un farmaco, però, l'esercizio modifica contemporaneamente molti sistemi e richiede partecipazione attiva del soggetto.

Dalla performance alla longevità

Forza, capacità aerobica, equilibrio e massa muscolare sono insieme prestazione e riserva. Mantenere queste qualità permette non solo di fare di più, ma di conservare margine quando malattia, intervento chirurgico o età riducono temporaneamente la capacità.

Personalizzazione come principio fondamentale

Non esiste un programma perfetto indipendente dalla persona. Il miglior programma è abbastanza specifico da produrre adattamento, abbastanza semplice da essere seguito e abbastanza flessibile da cambiare quando cambiano obiettivi e condizioni.

Take home message

Muoversi è necessario; allenarsi significa organizzare il movimento affinché produca un adattamento verificabile. La qualità del risultato nasce dall'integrazione fra esercizio, nutrizione, recupero, cronobiologia e monitoraggio.

Appendici

Tabelle delle zone di intensità

Zona	RPE 0-10	Talk test	Uso prevalente
Z1	1-2	conversazione facilissima	recupero, warm-up
Z2	2-4	conversazione completa	base aerobica, volume
Z3	4-6	frasi complete ma meno agevoli	tempo / medio
Z4	7-8	frasi brevi	soglia / intervalli
Z5	9-10	singole parole	VO ₂ , intervalli molto intensi

RPE e RIR

RIR	RPE circa	Interpretazione
5+	≤5	molto lontano dal cedimento
4	6	facile-moderato
3	7	impegnativo ma ampio margine
2	8	vicino al limite
1	9	molto vicino al cedimento
0	10	cedimento tecnico/volitivo



Tabelle %1RM

%1RM indicativa	Ripetizioni possibili (ampio intervallo)
90–100%	1–4
80–90%	3–8
70–80%	6–12
60–70%	10–20
<60%	molto variabile; utile anche per potenza se eseguito rapidamente

Formule per frequenza cardiaca

Le formule basate sull'età stimano la HRmax e presentano un errore individuale significativo. Per la Heart Rate Reserve: $FC_{target} = FC_{riposo} + intensità\ relativa \times (FC_{max} - FC_{riposo})$. Nei soggetti in terapia cronotropa o con patologia cardiaca è preferibile basarsi su test e prescrizione clinica.

MET ed equivalenti energetici

1 MET rappresenta convenzionalmente un consumo di ossigeno di circa $3,5\text{ mL}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$, ma il metabolismo di riposo reale varia fra individui. I MET sono utili per classificare attività e carico esterno, meno per stimare con precisione il costo energetico del singolo soggetto.

Tabelle nutrizionali per esercizio

Scenario	Carboidrati	Proteine	Idratazione
Seduta <60 min moderata	dieta normale; pre-workout secondo tolleranza	20–40 g nel pasto vicino se utile	acqua secondo sete/ambiente
Endurance 1–2,5 h	quota durante spesso utile, individualizzare	apporto giornaliero sufficiente	fluidi + sodio in base al sudore
Forza/ipertrofia	sufficienti a sostenere volume	quota giornaliera e per pasto prioritarie	acqua, sodio normale salvo perdite elevate
Doppia seduta	rapido ripristino del glicogeno più importante	proteine distribuite	recuperare perdite fra sedute

Dosaggi degli integratori

Integratore	Dose orientativa	Nota
Creatina monoidrato	3–5 g/die; opzionale carico ~20 g/die divisi per 5–7 giorni	Alta per forza/potenza e incremento della massa magra con RT
Proteine in polvere	quota necessaria per raggiungere il fabbisogno; spesso 20–40 g per dose	Alta come fonte proteica pratica, non superiore per definizione al cibo
EAA / BCAA / leucina	EAA o proteina completa preferibili; leucina come trigger entro pasto completo	EAA/proteina completa > soli BCAA per sostenere MPS
HMB	circa 3 g/die negli studi	Mista; beneficio più plausibile in fragilità, immobilità o bassa assunzione, meno nel soggetto ben allenato
Beta-alanina	4–6 g/die per almeno 2–4 settimane	Moderata-alta per sforzi intensi ~1–4 min
Caffeina	circa 3–6 mg/kg; alcuni rispondono a dosi inferiori	Alta per endurance e diversi domini di performance
Nitrati alimentari	dose standardizzata in nitrato; spesso succo di barbabietola negli studi	Moderata, effetto medio piccolo e variabile
Bicarbonato di sodio	0,2–0,3 g/kg; 0,3 g/kg frequentemente efficace	Alta per sforzi intensi 30 s–12 min in molte discipline
Elettroliti	in base a sudorazione e durata; sodio spesso il principale	Alta quando esiste perdita significativa; inutile standardizzare per tutti
Magnesio	correggere deficit; evitare dosi farmacologiche senza indicazione	Limitata come ergogenico nei soggetti repleti
Vitamina D	dose guidata da 25(OH)D, dieta, esposizione e indicazione clinica	Alta per correzione della carenza; non consistente come booster prestativo se repleto
Omega-3	EPA+DHA secondo dieta/obiettivo; spesso 1–2 g/die negli studi	Moderata per trigliceridi e salute cardiovascolare; ruolo muscolare ancora contestuale
Collagene / gelatina + vitamina C	circa 10–15 g, fino a 15–30 g negli studi tendinei; vitamina C in quantità nutrizionale	Emergente per tendine/MEC; non sostituisce proteine complete per il muscolo

Test funzionali

Test	Dominio
Handgrip	forza globale / prognostico
5x Sit-to-Stand	forza-potenza arti inferiori
Timed Up and Go	mobilità e rischio di caduta
6-Minute Walk Test	capacità funzionale submassimale
1RM/e1RM	forza specifica
Test incrementale CPET	VO ₂ , soglie, risposta cardiorespiratoria

Scheda essenziale di monitoraggio

Data	Seduta	RPE	Durata	Sonno	Dolore/sintomi	Nota prestativa

Glossario Exercise Physiology

Termine	Significato
AMPK	sensores energetico cellulare attivato da elevato rapporto AMP/ATP
BDNF	fattore neurotrofico coinvolto in plasticità e sopravvivenza neuronale
EAA	aminoacidi essenziali
EPOC	consumo di ossigeno elevato dopo l'esercizio
HRV	variabilità della frequenza cardiaca
MEC	matrice extracellulare
MPS	muscle protein synthesis, sintesi proteica muscolare
PGC-1 α	coattivatore trascrizionale dell'adattamento ossidativo
RIR	ripetizioni in riserva
RPE	percezione dello sforzo
SIT	sprint interval training
VO ₂ max	massima capacità di consumo di ossigeno

Bibliografia scientifica

World Health Organization. WHO Guidelines on Physical Activity and Sedentary Behaviour. Geneva: WHO; 2020.

Currier BS, D'Souza AC, Fiatarone Singh MA, et al. American College of Sports Medicine Position Stand. Resistance Training Prescription for Muscle Function, Hypertrophy, and Physical Performance in Healthy Adults: An Overview of Reviews. Med Sci Sports Exerc. 2026;58(4):851-872. doi:10.1249/MSS.0000000000003897.

Garber CE, Blissmer B, Deschenes MR, et al. Quantity and Quality of Exercise for Developing and Maintaining Cardiorespiratory, Musculoskeletal, and Neuromotor Fitness in Apparently Healthy Adults. Med Sci Sports Exerc. 2011;43(7):1334-1359.

Egan B, Zierath JR. Exercise metabolism and the molecular regulation of skeletal muscle adaptation. Cell Metab. 2013;17(2):162-184.

Hawley JA, Hargreaves M, Joyner MJ, Zierath JR. Integrative biology of exercise. Cell. 2014;159(4):738-749.

Pedersen BK, Febbraio MA. Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. Nat Rev Endocrinol. 2012;8:457-465.

- Scheffer DDL, Latini A. Exercise-induced immune system response: anti-inflammatory status on peripheral and central organs. *Biochim Biophys Acta Mol Basis Dis.* 2020;1866:165823.
- Walsh NP, Gleeson M, Shephard RJ, et al. Position statement. Part one: Immune function and exercise. *Exerc Immunol Rev.* 2011;17:6-63.
- Mailing LJ, Allen JM, Buford TW, Fields CJ, Woods JA. Exercise and the gut microbiome: a review. *Exerc Sport Sci Rev.* 2019;47(2):75-85.
- Scheiman J, Lubner JM, Chavkin TA, et al. Meta-omics analysis of elite athletes identifies a performance-enhancing microbe that functions via lactate metabolism. *Nat Med.* 2019;25:1104-1109.
- Kreider RB, Kalman DS, Antonio J, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: safety and efficacy of creatine supplementation in exercise, sport, and medicine. *J Int Soc Sports Nutr.* 2017;14:18.
- Jäger R, Kerksick CM, Campbell BI, et al. International Society of Sports Nutrition Position Stand: protein and exercise. *J Int Soc Sports Nutr.* 2017;14:20.
- Morton RW, Murphy KT, McKellar SR, et al. A systematic review, meta-analysis and meta-regression of protein supplementation on resistance training adaptations. *Br J Sports Med.* 2018;52:376-384.
- Guest NS, VanDusseldorp TA, Nelson MT, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: caffeine and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr.* 2021;18:1.
- Trexler ET, Smith-Ryan AE, Stout JR, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: Beta-Alanine. *J Int Soc Sports Nutr.* 2015;12:30.
- Grgic J, Pedisic Z, Saunders B, et al. International Society of Sports Nutrition position stand: sodium bicarbonate and exercise performance. *J Int Soc Sports Nutr.* 2021;18:61.
- Kanaley JA, Colberg SR, Corcoran MH, et al. Exercise/Physical Activity in Individuals with Type 2 Diabetes: A Consensus Statement from the American College of Sports Medicine. *Med Sci Sports Exerc.* 2022;54(2):353-368.
- Riddell MC, Gallen IW, Smart CE, et al. Exercise management in type 1 diabetes: a consensus statement. *Lancet Diabetes Endocrinol.* 2017;5(5):377-390.
- Edwards JJ, Deenmamode AHP, Griffiths M, et al. Exercise training and resting blood pressure: a large-scale pairwise and network meta-analysis of randomised controlled trials. *Br J Sports Med.* 2023;57(20):1317-1326.
- Campbell KL, Winters-Stone KM, Wiskemann J, et al. Exercise Guidelines for Cancer Survivors: Consensus Statement from International Multidisciplinary Roundtable. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51(11):2375-2390.
- Rochester CL, Alison JA, Carlin B, et al. Pulmonary Rehabilitation for Adults with Chronic Respiratory Disease: An Official American Thoracic Society Clinical Practice Guideline. *Am J Respir Crit Care Med.* 2023;208(4):e7-e26.
- Noetel M, Sanders T, Gallardo-Gómez D, et al. Effect of exercise for depression: systematic review and network meta-analysis of randomised controlled trials. *BMJ.* 2024;384:e075847.
- Position Statement: Exercise Guidelines for Osteoporosis Management and Fall Prevention in Osteoporosis Patients. *J Bone Metab.* 2023;30(2):149-165.
- Goodpaster BH, Park SW, Harris TB, et al. The loss of skeletal muscle strength, mass, and quality in older adults: Health, Aging and Body Composition Study. *J Gerontol A Biol Sci Med Sci.* 2006;61:1059-1064.
- Fiatarone MA, Marks EC, Ryan ND, Meredith CN, Lipsitz LA, Evans WJ. High-intensity strength training in nonagenarians. *JAMA.* 1990;263:3029-3034.
- Davidson PK, Gallagher IJ, Hartman JW, et al. High responders to resistance exercise training demonstrate differential regulation of skeletal muscle microRNA expression. *J Appl Physiol.* 2011;110:309-317.
- Aoi W, Ichikawa H, Mune K, et al. Muscle-enriched microRNA miR-486 decreases in circulation in response to exercise in young men. *Front Physiol.* 2013;4:80.
- Vaynman S, Ying Z, Gomez-Pinilla F. Hippocampal BDNF mediates the efficacy of exercise on synaptic plasticity and cognition. *Eur J Neurosci.* 2004;20:2580-2590.

- Pedersen BK, Fischer CP. Beneficial health effects of exercise – the role of IL-6 as a myokine. *Trends Pharmacol Sci.* 2007;28:152-156.
- Ingber DE. Tensegrity I. Cell structure and hierarchical systems biology. *J Cell Sci.* 2003;116:1157-1173.
- Hynes RO. Integrins: bidirectional, allosteric signaling machines. *Cell.* 2002;110:673-687.
- Schwartz MA. Integrins and extracellular matrix in mechanotransduction. *Cold Spring Harb Perspect Biol.* 2010;2:a005066.
- Sun Z, Guo SS, Fässler R. Integrin-mediated mechanotransduction. *J Cell Biol.* 2016;215:445-456.
- Turner CH. Three rules for bone adaptation to mechanical stimuli. *Bone.* 1998;23:399-407.
- Robling AG, Castillo AB, Turner CH. Biomechanical and molecular regulation of bone remodeling. *Annu Rev Biomed Eng.* 2006;8:455-498.
- Schoenfeld BJ. The mechanisms of muscle hypertrophy and their application to resistance training. *J Strength Cond Res.* 2010;24:2857-2872.
- Schoenfeld BJ, Grgic J, Ogborn D, Krieger JW. Strength and hypertrophy adaptations between low- vs high-load resistance training: systematic review and meta-analysis. *J Strength Cond Res.* 2017;31:3508-3523.
- Baar K. Training for endurance and strength: lessons from cell signaling. *Med Sci Sports Exerc.* 2006;38:1939-1944.
- Hood DA, Memme JM, Oliveira AN, Triolo M. Maintenance of skeletal muscle mitochondria in health, exercise, and aging. *Annu Rev Physiol.* 2019;81:19-41.
- Granata C, Jamnick NA, Bishop DJ. Training-induced changes in mitochondrial content and respiratory function in human skeletal muscle. *Sports Med.* 2018;48:1809-1828.
- Savikj M, Zierath JR. Train like an athlete: applying exercise interventions to manage type 2 diabetes. *Diabetologia.* 2020;63:1491-1499.
- Kraus VB, Sprow K, Powell KE, et al. Effects of physical activity in knee and hip osteoarthritis: a systematic umbrella review. *Med Sci Sports Exerc.* 2019;51:1324-1339.
- American College of Sports Medicine. *ACSM's Guidelines for Exercise Testing and Prescription.* 12th ed. Wolters Kluwer; 2025.
- IOC Consensus Statement on Relative Energy Deficiency in Sport (RED-S): 2023 update. *Br J Sports Med.* 2023.
- Paparella Treccia R. *L'uomo e il movimento.* Milano: Marrapese; 1988.
- Chetta G. *Il Metodo delle 3 K: Kousmine, Klamath, Kinesi.* 2023.

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.»

giovannichetta.com

Copyright e note legali

Versione 1.0 – 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 o frontespizio e/o in questa pagina identifica il testo di riferimento.