

Forza e Ipertrofia

Renato Manno¹

Riccardo Di Giminiani²

¹Docente di Teoria e Metodologia Generale dello Sport, Facoltà di Scienze Motorie, Università di L'Aquila

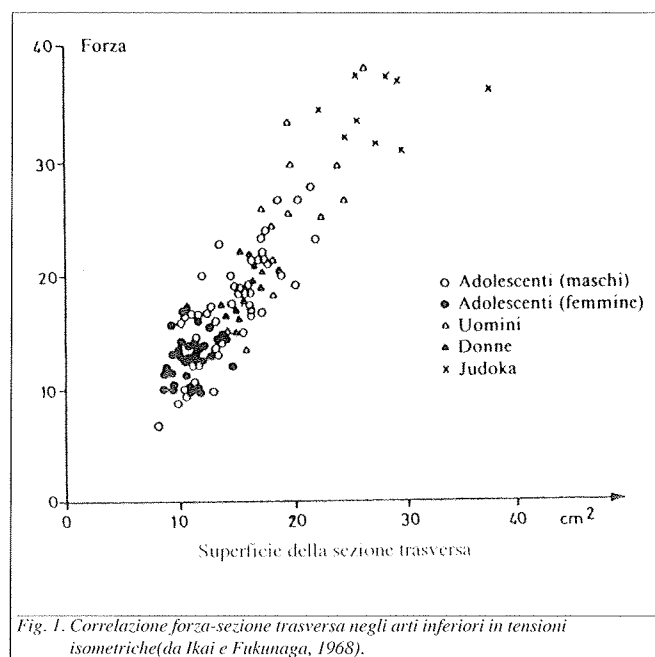
²Docente di Teoria e Metodologia delle Attività Sportive, Scuola di Specializzazione Insegnamento Secondario, Scuola Interateneo L'Aquila - Chieti - Teramo

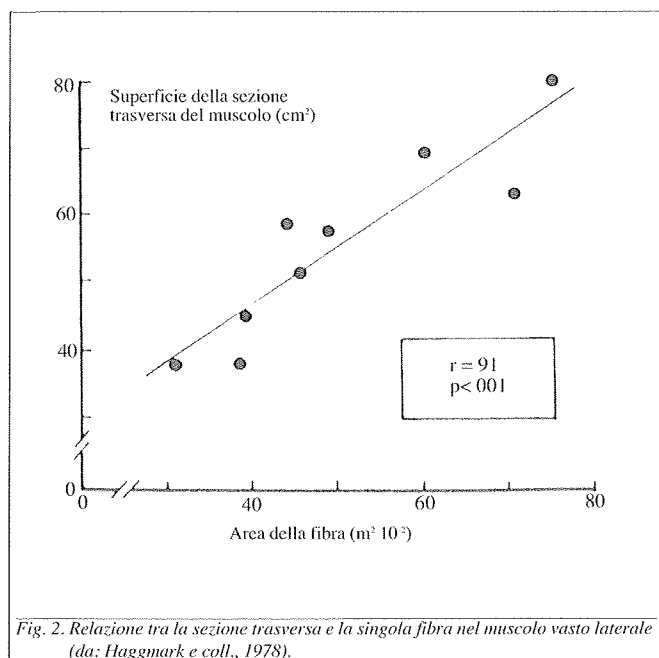
Ruolo della massa muscolare nella produzione di forza

E' noto che la forza prodotta dal muscolo, in condizioni isometriche è correlata alla sezione trasversa (fig.1) ciò che nella sostanza corrisponde alla massa muscolare visibile, è perciò evidente che i processi di ipertrofizzazione influenzano la forza muscolare (19). La sezione trasversa del muscolo risulta a sua volta correlata con l'area della singola fibra muscolare (11), pertanto il volume del muscolo è riconducibile alle dimensioni delle sezioni trasverse delle diverse fibre che lo formano (fig.2). La relazione forza-sezione trasversa del muscolo è fondata sulla evidente constatazione che più ponti actomiosinici in parallelo hanno la capacità di produrre tensione superiore rispetto a un numero inferiore degli stessi (fig.3) (4), a meno che non intervengano fenomeni sia di tipo strutturale-energetico che neuromuscolari, i quali possono far deviare la regolarità della relazione forza-sezione trasversa che risulta valida soprattutto in una popolazione eterogenea.

In studi condotti su giovani adulti (18-25 anni) non allenati, la sezione trasversa anatomica dei muscoli delle braccia e delle cosce, determinata utilizzando la tecnica degli ultrasuoni, risulta essere correlata significativamente con la forza massimale isocinetica (Cybex II) in tutti i gruppi muscolari, tranne negli estensori del gomito per gli uomini e nei flessori del gomito per le donne. Nonostante gli uomini mostrino una più ampia sezione trasversa soprattutto nelle braccia comparata con quella delle cosce, in entrambi i sessi non si evidenziano differenze significative nella relazione

forza-sezione trasversa, anche se nei maschi il grado di correlazione è più alto. La forza massima, misurata con dinamometro isocinetico, quando è espressa per unità di sezione trasversa del muscolo ($F \cdot CSA^{-1}$) risulta maggiore nell'uomo rispetto alla donna negli arti inferiori, mentre non emerge alcuna differenza significativa nei due sessi negli arti superiori (24). Nei ragazzi (6-9 anni) la capacità di produrre la massima forza proporzionalmente alla dimensione del muscolo è più bassa rispetto ai giovani adulti indipendentemente dal sesso, mentre nelle donne è inferiore





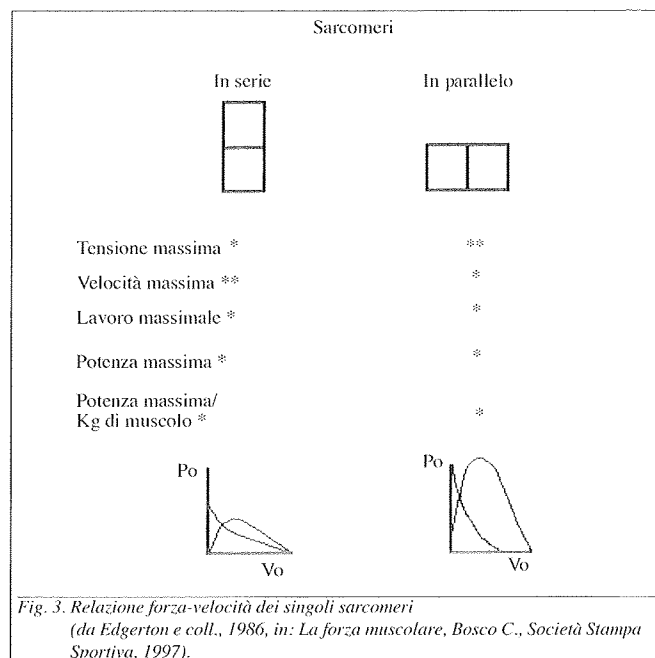
rispetto agli uomini all'interno della stessa generazione (22).

Inoltre ragazzi in età pre-puberale, negli arti superiori ed inferiori, evidenziano un tasso di crescita di sezione trasversa e di forza differente sia negli estensori sia nei flessori anche all'interno della stessa regione anatomica (23).

E' ampiamente dimostrato in letteratura che la massima forza muscolare nell'essere umano decresce durante il processo di invecchiamento più marcatamente a partire dalla sesta decade, sia nell'uomo che nella donna (34, 46). Il declino della forza sembra essere la conseguenza della riduzione della massa muscolare, forse correlata a cambiamenti nel bilancio ormonale (12) e alla diminuzione dell'intensità dell'attività fisica giornaliera (30). Durante il processo di invecchiamento si evidenzia un marcato decremento della qualità muscolare (forza espressa per unità di sezione trasversa del muscolo) negli arti superiori e inferiori (37), molto probabilmente come il risultato di:

1. un deficit nella attivazione massimale volontaria dei muscoli agonisti o nella contrazione dei muscoli agonisti-antagonisti (15, 20, 49),
2. una riduzione dell'area delle fibre veloci (5, 10, 28, 36).

Da quanto sopra enunciato, risulta chiaro che la relazione forza-sezione trasversa può essere perturbata anche dal processo di invecchiamento, poiché a parità



di sezione trasversa la qualità muscolare permette di estrinsecare livelli di forza più elevati. Ciò fa consigliare ai soggetti di mezza e di terza età una metodica di allenamento finalizzata all'incremento di massa muscolare dove assume un importante ruolo funzionale e metabolico in termini di benefici tenendo conto, nelle età considerate, che la massa muscolare presenta un grado più elevato di allenabilità e di modificazione biologica rispetto ai fattori neurali (15).

Hakkinen e Keskinen (1989) evidenziarono in popolazioni molto specializzate e cioè fondisti, velocisti e specialisti di forza, che oltre alla velocità di reclutamento delle unità motorie anche il rapporto forza-sezione trasversa poteva essere modificato (13). Le ragioni di tale fenomenologia possono essere attribuite alla diversa composizione delle fibre muscolari dei soggetti ma anche e soprattutto agli adattamenti neuromuscolari e non si possono escludere quelli metabolici e strutturali (fig. 4).

Risultati analoghi sono stati evidenziati da Funato e Fukunaga (2000), quando l'area di sezione trasversa e la forza massimale sono messe in relazione con l'abilità dei sollevatori di peso statunitensi di livello elite e sub-elite (olimpionici dei college). I due gruppi di atleti pur avendo la stessa sezione trasversa negli arti (superiori ed inferiori), il gruppo elite è in grado di produrre valori di forza massima (dinamometro isocinetico) per unità di sezione trasversa del muscolo, in

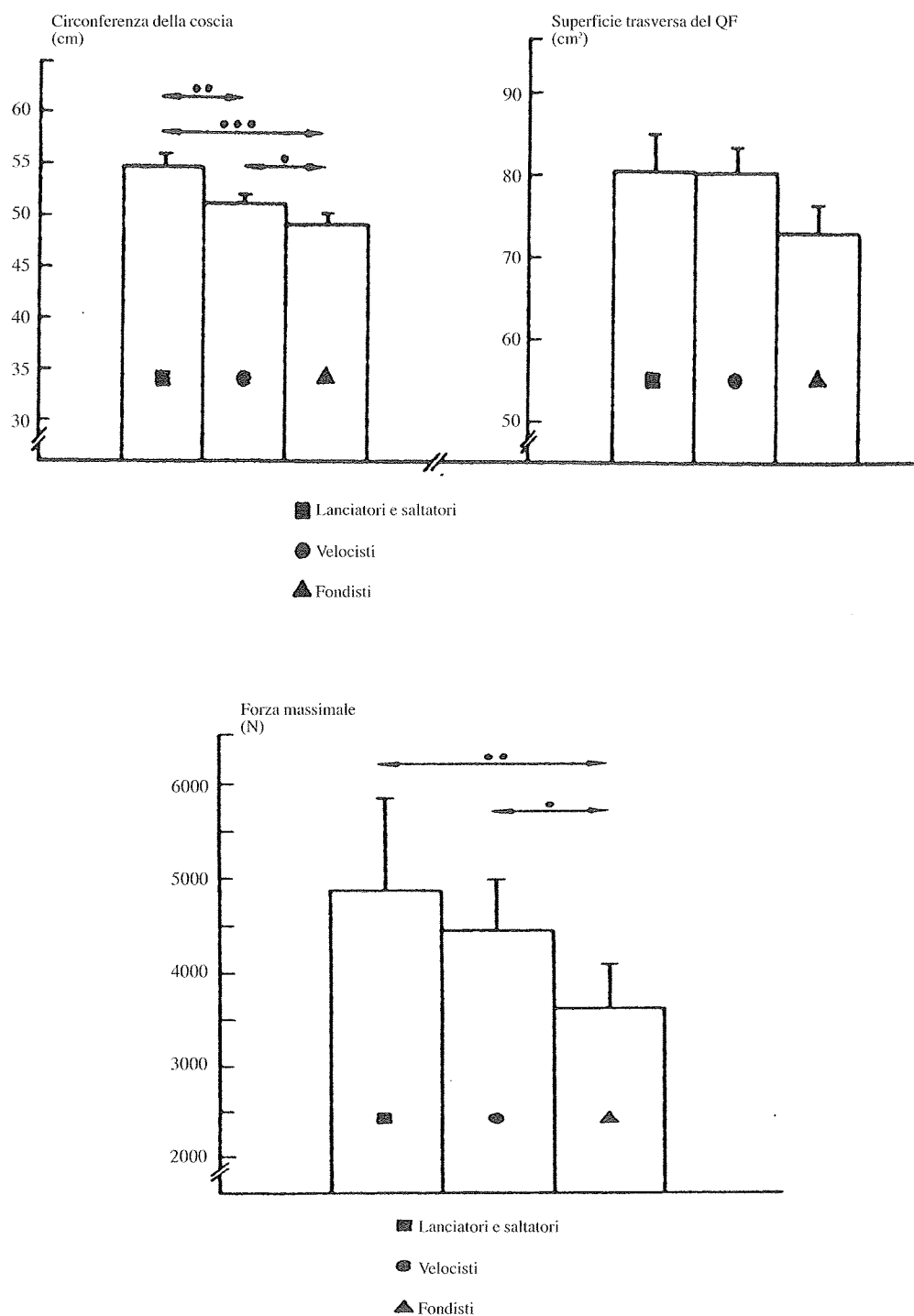


Fig. 4. Modificazione del rapporto forza-sezione trasversa in popolazione sportive (da: Hakkinen, 1989)

diverse modalità esecutive, significativamente più elevati rispetto al gruppo sub-elite (8).

Anche la proporzione delle diverse fibre all'interno del muscolo, come già accennato precedentemente, assume un ruolo importante nella relazione forza-sezione trasversa, infatti a parità di sezione muscolare, il muscolo dei soggetti con una più ampia percentuale di fibre di tipo IIa può manifestare valori di forza massima più elevati (dinamometro isocinetico), giocando le fibre IIa un ruolo più importante rispetto all'area delle fibre di tipo I e IIb (38).

In sintesi, il lavoro pionieristico di Ikai e Fukunaga (1968), evidenzia che in ogni caso la forza è funzione della sezione trasversa del muscolo, anche se casi specifici come: l'allenamento, il tipo di fibre, l'età e il sesso, possono modificare questo rapporto.

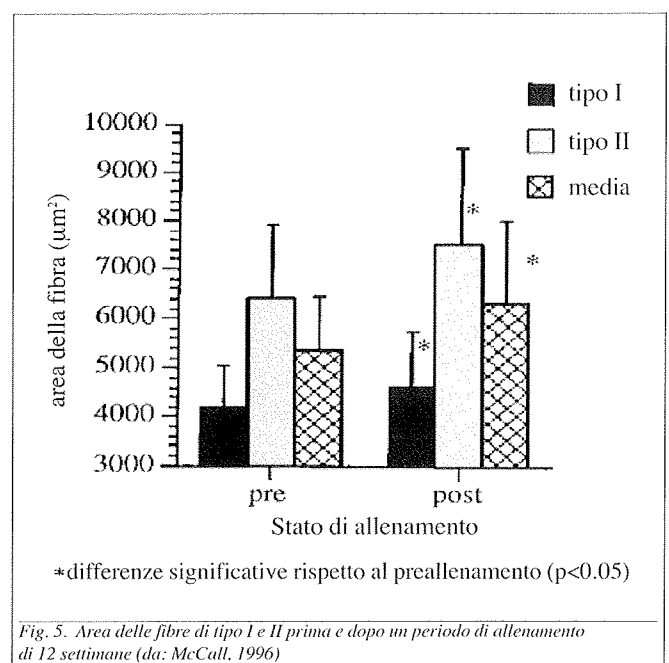
Produzione della ipertrofia ed utilità nei diversi sport

L'ipertrofia è un trofismo accentuato del muscolo ed è un meccanismo di adattamento con cui il muscolo risponde proprio quando è posto di fronte alla necessità di vincere più volte resistenze significative, in condizioni abbastanza tipiche di fatica (45). Comunque esiste una controversia se l'aumento di volume del muscolo sia dovuto essenzialmente al processo ipertrofico, o se anche l'iperplasia possa assumere un ruolo importante. Precedenti ricerche indicano che il numero delle fibre muscolari che costituiscono il muscolo è stabilito alla nascita, e rimane fisso per tutta la vita. Quindi l'ipertrofia potrebbe essere il solo risultato dell'ipertrofia delle singole fibre, indotta da un aumento delle miofibrille, da più filamenti di actina e miosina, dall'incremento del sarco plasma e del tessuto connettivale o dalla combinazione di tutti questi fattori (48). Ricerche condotte sugli animali evidenziano, alla base della crescita muscolare, anche l'iperplasia, ossia l'aumento delle fibre muscolari a seguito di un processo di allenamento specifico (9).

La maggior parte degli studi, realizzati sull'uomo, supportano l'ipotesi dell'ipertrofia come meccanismo responsabile dell'aumento di sezione trasversa del muscolo (29, 44). Evidenza indiretta di un numero di fibre incrementato è stata osservata in atleti elite allenati (29); comunque altre sperimentazioni sugli stessi atleti non hanno trovato alcun incremento (40). Diversi studi longitudinali riferiscono il processo ipertrofico soprattutto a carico delle fibre veloci (2, 16, 32, 43).

Nella figura 5 è riportato l'incremento dell'area delle fibre, più marcato in quelle veloci, comunque significativo in entrambe, in seguito ad un periodo di allenamento di 12 settimane (32).

Nella pratica di allenamento nei diversi sport, l'ipertrofia è ricercata nei soggetti che cambiano categoria di peso oppure, nel potenziamento locale di un distretto in cui una maggiore ipertrofia raggiunta stabilizza i progressi nella forza e garantisce una adeguata contenzione delle articolazioni, e in tutti quei casi dove sono richiesti livelli elevati di forza e il peso dell'atleta non costituisce un fattore limitante ai fini della prestazione. Tali progressi di forza raggiunti devono essere collegati agli obiettivi funzionali tenendo presente che l'ipertrofia è un adattamento che va acquisito e che si sfrutterà gradualmente. Studi condotti da Kandarian, sugli animali, evidenziano parallelamente all'incremento di sezione trasversa (dal 28 al 52%) un deficit di forza ($N \cdot cm^{-2}$) del 38% nei primi giorni seguenti il processo ipertrofico e, del 28%, in un periodo compreso tra il 5° e il 30° giorno. Il deficit funzionale iniziale è stato spiegato da un aumento degli spazi interstiziali e da un decremento della concentrazione delle proteine, mentre nel periodo successivo i cambiamenti intracellulari sembrano essere predominanti (21).



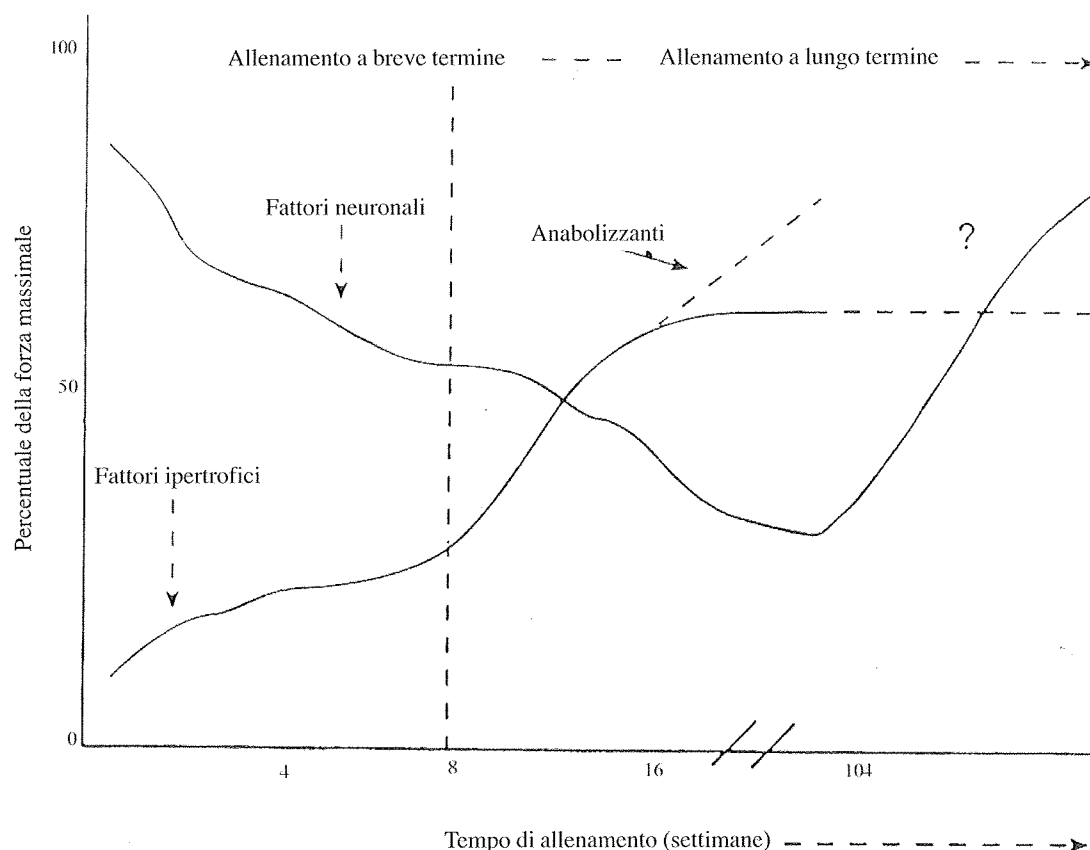


Fig. 6. Dinamica dell'interazione dei fattori neurali e morfologici nell'allenamento della forza massimale (da: Kraemer, 1996)

Dinamica della ipertrofia ed adattamento neuromuscolare

Lo sviluppo della forza in uno studio longitudinale passa attraverso degli adattamenti di tipo neuro-muscolare e strutturale (27, 39), la prima avviene nella fase iniziale con livelli diversi di adattamento secondo lo schema di Kraemer, in cui si passa dalla coordinazione intermuscolare a quella intramuscolare che diventa la causa più importante di crescita della forza (fig. 6). In uno studio di Hakkinen e Komi (14) è possibile vedere chiaramente come l'aumento della forza procede per le prime 10-12 settimane a carico soprattutto della funzionalità neuro-muscolare, in seguito si ha un ristagno del tasso di crescita della stessa mentre si instaura un

pronunciato aumento dell'area dei due tipi di fibre unitamente alla diminuzione dell'attività elettrica muscolare come se i due fattori fossero competitivi, l'incremento di una variabile inibisce l'altra e viceversa (fig.7). Le ricadute di questo fenomeno nella pratica di allenamento possono essere diverse, ad esempio una possibile conseguenza è che la massa muscolare incrementata disturba la fluidità del movimento favorendo il sopravvenire di infortuni, che esercizi estremamente specifici possono indurre. L'ipertrofia si può considerare un fenomeno pregevolissimo e determinante ai fini della prestazione sportiva ma ha delle caratteristiche particolari che bisogna ben conoscere soprattutto quando si induce in atleti di alta specializzazione durante la preparazione. Diverso invece è tale fenomeno

quando avviene in soggetti sedentari e/o in specialisti che ne sono consapevoli o che addirittura pongono ciò alla base del loro allenamento come i culturisti. E' noto che il principale stimolo per l'attivazione metabolica sia il movimento, scaturendo da un atto della volontà esso provoca la tensione muscolare che mobilita il segmento corporeo interessato. La tensione è dovuta all'attivazione dei ponti actomiosinici che impone un impegno energetico, l'impegno energetico è collegato a sua volta non solo alla produzione del movimento ma anche a fenomeni di adattamento strutturale, cioè stimola la reazione biologica che non solo rende disponibile l'energia per il lavoro muscolare, ma permette nel tempo modificazioni delle strutture e morfologie muscolari rendendole, progressivamente, in grado di sostenere un impegno muscolare e meccanico generale crescente. Ciò è possibile attraverso la liberazione di metaboliti, che sono derivati dalla degradazione dei substrati energetici e all'usura della struttura provocata dal carico meccanico. La combinazione tra usura meccanica, rarefazione delle risorse energetiche e presenza dei relativi metaboliti (scorie) attiva il genoma e la relativa sintesi proteica. Tale processo è sottolineato da Viru (47) quando afferma che i processi di sintesi non possono che fondarsi sui processi catabolici; i seguenti processi trofici di sintesi non si fermano alla semplice ricostituzione delle strutture degradate e dell'energia spesa ma in genere inducono un incremento di entrambe. Tale processo è una delle chiavi più importanti nella comprensione degli effetti dell'allenamento sportivo. E' consolidato inoltre che un solo esercizio non ripetuto non è in grado di attivare un processo adattativo, mentre solo un impegno sistematico provoca una crescita stabile del rendimento causando una modificazione intensa ed estesa dell'ambiente biochimico e della sostanza biologica dovuto anche alla increzione di ormoni specifici. Nella dinamica delle reazioni biologiche a seguito di esercizio fisico, queste ultime sono specifiche in ogni tipologia di esercizio, infatti a seconda del tipo di esercizio si selezionano delle risposte tipiche. E' importante sottolineare che la specificità della risposta aumenta con l'aumentare dell'allenamento, infatti un soggetto sedentario dopo le prime sedute di allenamento ha una risposta quasi aspecifica, risponde a qualunque stimolo esterno in modo sostanzialmente simile, in seguito la sua risposta si modificherà, rispondendo in modo progressivamente sempre più differenziato a seconda del tipo di esercizio. La risposta adattativa è generalmente ispirata a due logiche; la prima è la supercompensazione cioè una sintesi

aumentata di strutture e sostanze biologiche, la seconda è l'aumento della efficienza dovuta ad una maggiore coordinazione ed ottimizzazione. Il primo tipo di risposta, ovvero la supercompensazione, è la stessa che provoca l'ipertrofia, essa, scoperta da Iakovlev per la curva di crescita dell'accumulo del glicogeno, fu impiegata nelle diete dissociate di atleti impegnati in prove prolungate ed è la reazione organica al consumo energetico alla carenza ed usura provocata dall'esercizio fisico. Le sostanze biologiche in diverso modo degradate, vengono ricostituite e compensate oltre il livello di partenza, in modo appunto supercompensativo (18).

Ipertrofia nelle diverse popolazioni

L'ipertrofia è una reazione che non si produce in tutti i soggetti nella stessa misura anche se in tutti i soggetti si produce quale adattamento di allenamento alla forza, per lungo tempo si è pensato che questo meccanismo fosse assente nei prepuberi anche per via della carenza di testosterone. Secondo Blimkie (1), l'incremento della forza e del trofismo muscolare è presente anche in tali popolazioni, infatti alcuni ormoni come quelli tiroidei e similinsulinici indurrebbero un ruolo positivo nello sviluppo muscolare (33). Anche nelle donne non sembrava fosse possibile un incremento delle masse muscolari, ma proprio la sedentarietà che spesso caratterizza questa popolazione fa sì che all'inizio esse manifestino un incremento di forza e ipertrofia iniziale simile o superiore a quello dei maschi, in linea generale però le donne evidenziano una ipertrofizzazione inferiore a quella dei maschi. In persone estremamente avanzate di età si evidenziano oltre alla possibilità di incremento della forza, anche un maggior trofismo che comunque è contenuto rispetto alle età inferiori, conservando ancora un'attività ormonale e metabolica più vivace di ciò che si credeva prima di tali osservazioni (6).

Metodi di allenamento

In letteratura diverse ricerche riportano il regime eccentrico-concentrico o soltanto eccentrico fra i modi più efficaci per incrementare la forza massimale, inducendo adattamenti neuromuscolari e strutturali più marcati (16, 25, 35, 42).

Diverse osservazioni empiriche hanno considerato che l'allenamento più efficace per l'ipertrofia è caratterizzato da resistenze identificate intorno all'80% del carico massimo (1 RM), per 8-12 ripetizioni e su un

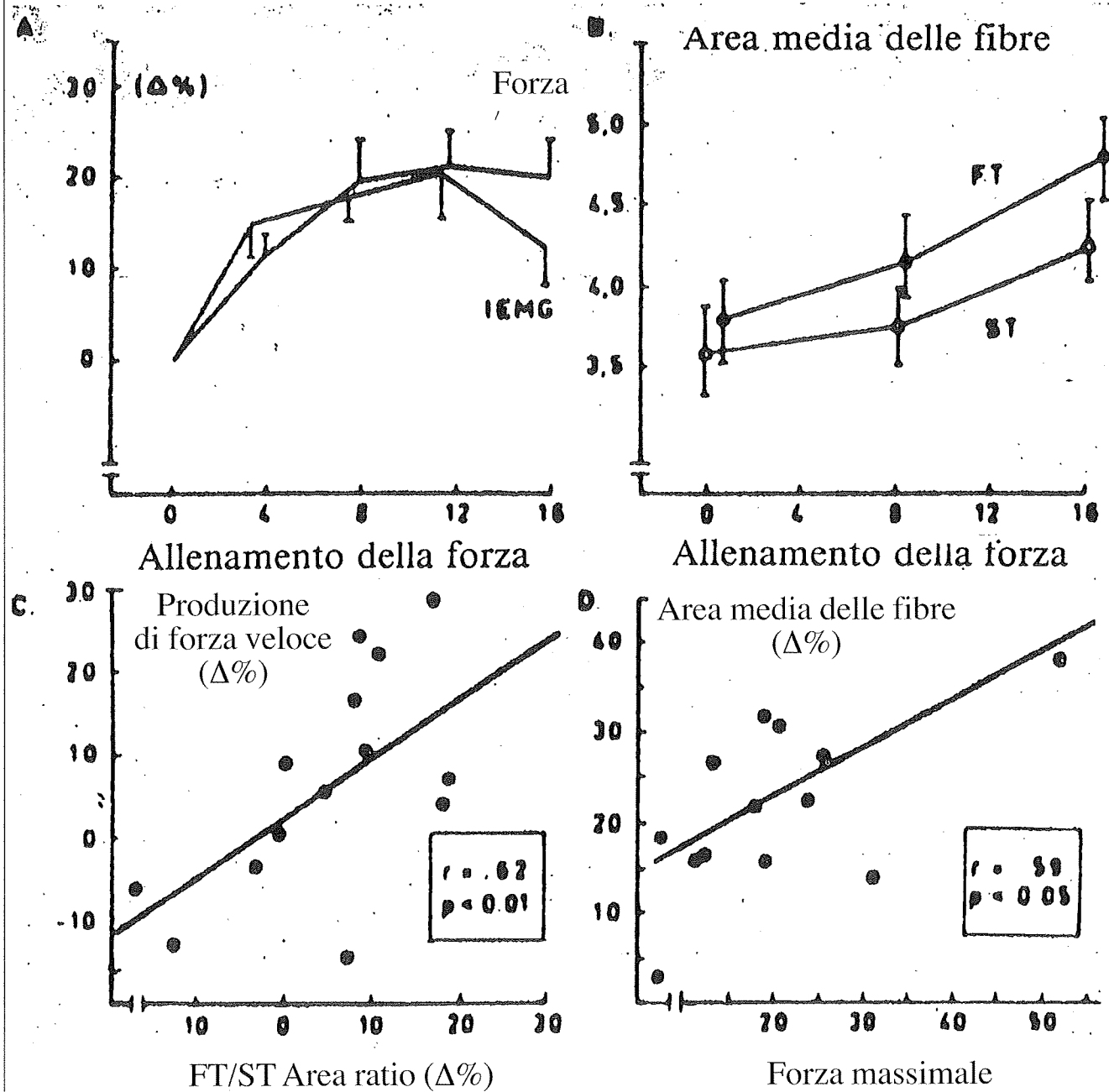


Fig. 1. Modificazione della funzionalità del sistema neuro-muscolare e dell'area delle fibre di tipo I e II in seguito ad un programma di allenamento di 12 settimane per l'incremento della forza massimale (da: Hakkinen e Komi, 1981).

numero di serie di circa 5-7, inoltre è stato dimostrato come i culturisti, che esaltano le componenti di ipertrofia, evidenziano delle concentrazioni di lattato fra le più alte conosciute (26).

Il sistema a serie multiple è stato riconosciuto come il più diffuso. Nella massimizzazione dell'ipertrofia i culturisti usano il "cheat system" o sistema con "truffa" cioè eseguono esercizi dove si aiutano con piccoli slanci che consentono di sollevare da 5 a 9 chili in più, inserendo tali slanci nella fase più debole della escursione articolare. Le tecniche descritte possono risultare estremamente pericolose in quanto sovraccaricano la colonna vertebrale.

Altri metodi finalizzati all'affaticamento locale acuto sono: il sistema "esaustivo" ed il sistema "burn", composti da ripetizioni parziali con sistemi da applicare alle tecniche tradizionali, considerati particolarmente efficaci per le braccia e i gemelli, seguono la logica della semplificazione e della forzatura delle condizioni di lavoro, creando disagi locali acuti che verrebbero compensati con l'ipertrofia della componente contrattile. Inoltre è da sottolineare che un carico di lavoro protratto a lungo induce modificazioni notevoli alla densità ossea e all'apparato legamentoso, molto più lento nell'adattamento ma determinante ai fini della salute articolare dell'atleta.

Nonostante sia accettato dalla maggioranza degli allenatori che l'ipertrofia sia sviluppata mediante un carico che presenta intensità medio-basse e un alto volume e che la forza massimale viceversa lo sia con elevate intensità e basso volume, l'evidenza scientifica è scarsa, poiché vi sono delle limitazioni nel disegno sperimentale di questi studi. Infatti la quasi totalità delle sperimentazioni, articolate in un arco di tempo che va dalle 4 alle 25 settimane, non evidenziano risultati statisticamente significativi, di conseguenza, diversi metodi hanno avuto effetti simili sia sulla sezione trasversale sia sulla forza massimale a dimostrazione che nella fase iniziale del processo di allenamento la specificità dello stimolo non è sempre indispensabile per ottenere risposte adattative specifiche, soprattutto quando le variabili (p.e. forza e ipertrofia) sono molto correlate tra di loro (3, 17).

Programmazione dell'allenamento ai fini dell'ipertrofia

L'adattamento nel processo di allenamento della forza, procede secondo una sequenza oramai conosciuta, infatti i notevoli progressi iniziali di forza nei non allenati, sono da attribuire agli adattamenti del sistema nervoso, in particolare nelle prime settimane si ha un miglioramento della coordinazione intermuscolare, seguita dalla coordinazione intramuscolare. Successivamente, a partire dalla 6^a-8^a settimana si ha un maggiore incremento della ipertrofia che corrisponde fra l'altro ad una caduta dell'efficacia degli altri meccanismi adattativi (fig.6). Pertanto si può pensare che una pratica razionale preveda prima un allenamento della resistenza alla forza, a bassa intensità di lavoro favorevole anche all'apprendimento della esecuzione degli esercizi, poi un aumento dell'intensità mediante l'incremento del peso dei carichi, infine un lavoro per l'aumento della ipertrofia. L'allenamento segue la logica dell'alternanza ciclica descritta nei testi di metodologia dell'allenamento tradizionali (7, 31), nella descrizione si nota la presenza di allenamenti finalizzati ai diversi elementi della preparazione quali il potenziamento generale, il potenziamento specifico e lo stretching per la mobilità articolare. Attraverso la ciclicità dell'allenamento si può orientare l'insieme dei carichi verso più elementi, permettendo di richiamare anche le componenti meno importanti in quel periodo, ma la cui caduta sarebbe nociva alla prestazione. E' necessario dire che tali modelli sono da criticare in atleti di alta prestazione, quando si tratta di carichi il cui bersaglio è prevalentemente metabolico, il muscolo infatti, non appare in grado di distinguere troppo la specificità, reagendo allo stimolo più massivo e prevalente, diverso dovrebbe essere per stimoli diversi dal prevalente ed a carattere percettivo-cinetico, quale la tecnica, la mobilità e la coordinazione (41).

Bibliografia

1. Blimkie C.. (1993) *Benefit and risk of resistance training in children's sports*. Human Kinetics Publisher, Champaign Illinois.
2. Brown A.B., N. McCartney D.G. Sale. (1990) Positive adaptations to weight-lifting training in the elderly. *J. Appl. Physiol.* 69: 1725-1733.
3. Carpinelli R.N., R.M. Otto (1999) Strength training. Single versus multiple sets. *Sports Med.* 27(6): 409-16.
4. Edgerton e coll. (1986) *Human muscle power*. Human Kinetics.
5. Essen-Gustavsson B., O. Borges. (1986) Histochemical and metabolic characteristics of human muscle in relation to age. *Acta Physiol. Scand.* 126: 107-114.
6. Fiatarone M.A., E.C. Marks, N.D. Ryan, C.N. Meredith, L.A. Lipsitz, W.J. Evans. (1990) High-intensity strength training in nonagenarians. Effect on skeletal muscle. *JAMA* 13; 263(22): 3029-34.
7. Flecks S.J., W.J. Kraemer (1997). *Designing resistance training programs*. Human Kinetics Publisher, Champaign Illinois.
8. Funato K., H. Kanehisa, T. Fukunaga (2000). Differences in muscle cross-sectional area and strength between elite senior and college Olympic weight lifters. *J. Sports Med. Phys. Fitness* 40(4): 312-8.
9. Gonyea W.J. (1980) Role of exercise in inducing increases in skeletal muscle fiber number. *J. Appl. Physiol.* 48: 421-426,.
10. Grimby G., (1995) Muscle performance and structure in the elderly as studied cross-sectionally and longitudinally. *J. Gerontol. A. Biol. Sci. Med. Sci.* 50 Spec. No: 17-22,.
11. Haggmark T., E. Jansson, B. Svane. (1978) Cross-sectional area of the thigh muscle in man measured by computed tomography. *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 38(4): 355-60.
12. Hakkinen K., A. Pakarinen. (1993) Muscle strength and serum hormones in middle-aged and elderly men and women. *Acta Physiol. Scand.* 148: 199-207,.
13. Hakkinen K., L.P. Keskinen. (1989) Muscle cross-sectional area and voluntary force production characteristic in elite strength and endurance trained athletes and sprinters. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 59(3) : 215-20.
14. Hakkinen K., P. Komi. (1981) Effects of different combined concentric and eccentric muscle regimens on maximal strength development. *Journal of Movement Studies* 7: 33-44,.
15. Harridge S.D., A. Kryger, A. Stensgaard. (1999) Knee extensor strength, activation, and size in very elderly people following strength training. *Muscle Nerve* 22(7): 831-9.
16. Hather B.M., P.A. Tesch, P. Buchanan, G.A. Dudley. (1991) Influence of eccentric actions on skeletal muscle adaptations to resistance training. *Acta Physiol. Scand.* 143: 177-185.
17. Hisaeda H., K. Miyagawa, S. Suno, T. Fukunaga, I. Muraoka. (1996) Influence of two different modes of resistance training in female subjects. *Ergonomics* 39(6): 842-52.
18. Iakovlev H. (1977) *Sportbiochemie*. J. Ambrosius Verlag. Leipzig.
19. Ikai M., T. Kukunaga. (1968) Calculation of muscle strength per Unit cross-sectional area of human muscle by means of ultrasonic measurement. *Int. Z. Angew. Physiol.* 26(1): 26-32,.
20. Kamen G., S.V. Sison, C.C. Duke Du, C. Patten (1995) Motor Unit discharge behavior in older adults during maximal-effort contractions. *J. Appl. Physiol.* 79: 1908-1913.
21. Kandarian S.C., T.P. White. (1989) Force deficit during the onset of muscle hypertrophy. *J. Appl. Physiol.* 67(6): 2600-7.
22. Kanehisa H., S. Ikegawa, N. Tsunoda, T. Fukunaga. (1994) Strength and cross-sectional area of knee extensor muscles in children. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 68(5) : 402-5.
23. Kanehisa H., S. Ikegawa, N. Tsunoda, T. Fukunaga. (1995) Strength and cross-sectional areas of reciprocal muscle groups in the upper arm and thigh during adolescence. *Int. J. Sports Med.* 16(1): 54-60.
24. Kanehisa H., S. Ikegawa, T. Fukunaga. (1994) Comparison of muscle cross-sectional area and strength between untrained women and men. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 68(2) : 148-54.
25. Komi P.V., E.R. Buskirk. (1972) Effect of eccentric and concentric muscle conditioning on tension and electrical activity of human muscle. *Ergonomics* 15: 417-434.

26. Kraemer W.J., B.J. Noble, M.J. Clark, B.W. Culver. (1987) Physiologic responses to heavy-resistance exercise with very short rest periods. *Int. J. Sports Med.* 8(4): 247-52.
27. Kraemer W.J., S.J. Fleck, W.J. Evans. (1996) Strength and power training: physiological mechanism of adaptation. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 24: 363-97.
28. Lexell J., C.C. Taylor, M. Sjostrom. (1988) What is the cause of the ageing atrophy? *J. Neurol. Sci.* 84: 275-294.
29. MacDougall J. D., D.G. Sale, S.E. Always, J.R. Sutton. (1984) Muscle fiber number in biceps brachii in bodybuilders and control subjects. *J. Appl. Physiol.* 57: 1399-1403.
30. Malkia E., O. Impivaara, M. Heliovaara, J. Maatela. (1994) The physical activity of healthy and chronically ill adults in Finland at work, at leisure and during commuting. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 4: 82-87.
31. Manno R. (1996) L'allenamento della forza. Società Stampa Sportiva.
32. McCall G.E., W.C. Byrnes, A. Dickinson, P.M. Pattany, S.J. Fleck. (1996) Muscle fiber hypertrophy, hyperplasia, and capillary density in college men after resistance training. *J. Appl. Physiol.* 81(5): 2004-2012.
33. Merish F., H. Stoboy. (1989) *Strength training and muscle hypertrophy in children*. Human Kinetics publisher, Champaign Illinois.
34. Narici M., M. Bordini, P. Cerretelli. (1991) Effect of aging on human adductor pollicis muscle function. *J. Appl. Physiol.* 71: 1227-1281.
35. O'Hagan F.T., D.G. Sale, J.D. MacDougall, S.H. Garner. (1995) Comparative effectiveness of accommodating and weight resistance training modes. *Med. Sci. Sports Exerc.* 27(8): 1210-9.
36. Porter M. M., A.A. Vandervoort, J. Lexell. (1995) Aging of human muscle: structure, function and adaptability. *Scand. J. Med. Sci. Sports* 5: 129-142.
37. Reed R.L., L. Pearlmuter, K. Yochum, K.E. Meredith, A.D. Moradian. (1991) The relationship between muscle mass and muscle strength in elderly. *J. Am. Geriatr. Soc.* 39(6): 555-61.
38. Ryushi T., T. Fukunaga. (1986) Influence of subtypes of fast-twitch fibers on isokinetic strength in untrained men. *Int. J. Sports Med.* 7(5): 250-3.
39. Sale D.G. (1988) Neural adaptation to resistance training. *Med. Sci. Sports Exerc.* 20(5 suppl.): S135-45.
40. Sale D.G., J.D. MacDougall, S.E. Always, J.R. Sutton. (1987) Voluntary strength and muscle characteristics in untrained men and women and male bodybuilders. *J. Appl. Physiol.* 62: 1786-1793.
41. Schnabel G., D. Harre, G. Borde. (1994) *Scienza dell'allenamento*. Edizioni Arcadia Vignola.
42. Serger J.V., B. Arvidsson, A. Thorstensson. (1998) Specific effects of eccentric and concentric training on muscle strength and morphology in humans. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 79(1): 49-57.
43. Staron R.S., E.S. Malicky, M.J. Leonardi, J.E. Falkel, F.C. Hagerman, G.A. Dudley. (1990) Muscle hypertrophy and fast fiber type conversions in heavy resistance-trained women. *Eur. J. Appl. Physiol. Occup. Physiol.* 60: 71-79.
44. Taylor N.A., J.G. Wilkinson. (1986) Exercise-induced skeletal muscle growth. Hypertrophy or Hyperplasia? *Sports Med.* 3: 190-200.
45. Vandenburg HH. (1987) Motion into mass: how does tension stimulate muscle growth?. *Med. Sci. Sports Exerc.* 19(5 suppl.): S142-9.
46. Vandervoort A. A., A. J. McComas. (1986) Contractile changes in opposing muscles of the human ankle joint with aging. *J. Appl. Physiol.* 61: 361-367.
47. Viru A. (1995) *Adaptation in sport training*. CRC Press, Boca Raton Florida,.
48. Wilmore J.H., D.L. Costill. (1999) *Physiology of Sport and Exercise*. Human Kinetics Publisher,.
49. Winegard K., A. Hicks, D. Sale, A.A. Vandervoort. (1996) A 12-year follow-up study of ankle muscle function in older adults. *J. Gerontol. Biol. Sci.* 51A: B202-B207.