



Università degli Studi di Genova
Facoltà di Medicina e Chirurgia
Master I livello
in
“Riabilitazione dei disordini muscolo scheletrici”
in collaborazione con libera Università di Bruxelles

**Effetti della fatica muscolare sull'attività
EMG: ostacolo o stimolo al reclutamento?**

Referente:
Davide Albertoni

Tesi:
Evangelisti Matteo

2006/2007

Indice

1.0 Abstract	pag 4
2.0 Introduzione	pag 5
3.0 La fatica	pag 6
3.1 Approfondimenti sulla fatica: come la fatica condizioni il movimento	pag 7
3.2 La fatica: componente positiva o negativa al reclutamento neuromuscolare?	pag 10
3.3 Quali esercizi adottare per un recupero neuro-motorio basandosi sulla fatica?	pag 11
4.0 Conclusioni	pag 14
5.0 Bibliografia	pag 15

1.0 ABSTRACT

Questo lavoro si propone di analizzare la fisiologia della fatica neuromuscolare ed individuare le indicazioni e controindicazioni in riabilitazione,

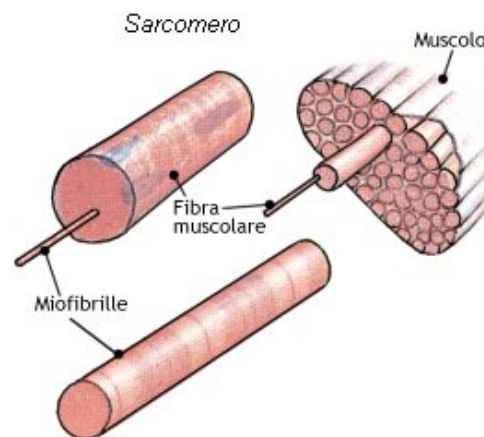
Come database per questa ricerca è stato utilizzato Medline, introducendo le seguenti parole chiave:

recruitment AND muscle, rehabilitation [Mesh] AND muscle AND recruitment, arthrogenic muscle inhibition, rehabilitation [mesh] AND muscle AND strength AND fatigue,

Tra i vari risultati ottenuti sono stati selezionati soltanto articoli basati su studi in esseri umani, pubblicati in lingua inglese.

2.0 INTRODUZIONE

In questo studio si sono approfonditi, revisionando articoli di letteratura scientifica, vari aspetti riguardanti la fatica muscolare, in un primo momento si è analizzato il concetto di fatica muscolare, periferica e centrale, in un secondo momento si è analizzato la diversità di fatica causata da un esercizio di contrazione muscolare volontaria e un esercizio con stimolazione elettrica muscolare.



In una fase successiva si è valutata la possibilità individuare delle strategie in riabilitazione per capire e sfruttare la fatica a nostro favore, se aiuta oppure inibisce un possibile reclutamento a livello neuro muscolare.

3.0 LA FATICA

Il fenomeno della fatica ha un'eziologia multifattoriale, non sempre facilmente identificabile e la cui interpretazione spesso comporta numerosi dubbi e non poche contraddizioni concettuali. Classicamente si tende a suddividere il fenomeno in fatica periferica e fatica centrale attribuendo alla prima cause prevalentemente metaboliche ed alla seconda invece motivazioni essenzialmente di tipo neurale. Tuttavia il quadro generale non è sempre così perfettamente distinguibile ed i vari fattori scatenati si sovrappongono molto spesso in maniera indistinguibile, rendendo la situazione di difficile lettura interpretativa.

Secondo alcuni autori (Edwards, 1981) *la fatica muscolare è un complesso fenomeno multifattoriale, caratterizzato dall'impossibilità di assicurare ulteriormente un livello di forza atteso, durante una contrazione sostenuta o ripetuta*, secondo Bigland-Ritchie (et al., 1984) *la fatica è qualsiasi riduzione nella capacità di generare forza da parte del sistema neuromuscolare, indipendentemente dal livello di forza atteso*, altri definiscono invece la fatica a livello neuromuscolare, come *perdita di ridondanza o dei fattori di sicurezza* (GRIMM, 1983).

Gli ultimi studi cercano di fare luce sui siti responsabili della fatica, dove ha luogo, attualmente sono state individuate 3 diverse sedi di insorgenza di tale processo, la fibra muscolare, la sinapsi neuromuscolare e il sistema nervoso centrale.

La fatica centrale può essere definita come ogni riduzione di forza massima espressa da un muscolo, a causa della progressiva riduzione del reclutamento motoneuronale del sistema nervoso centrale (McKay et al., 1993). La fatica di tipo "periferico", invece, può estrinsecarsi a vari livelli: la conduzione lungo la fibra nervosa, la trasmissione neuromuscolare, l'eccitabilità muscolare, l'accoppiamento elettromeccanico, la contrattilità, il rilasciamento muscolare,

fattori vascolari metabolici miofibrili.

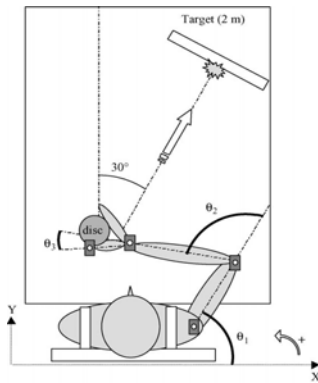
3.1 Approfondimenti sulla fatica: come la fatica condizioni il movimento

Dalla definizione di fatica si può dedurre che sono coinvolti fattori sia a livello del sistema nervoso centrale che a livello del sistema nervoso periferico. Quello che ancora non è chiaro è come la fatica possa pregiudicare un recupero muscolare oppure contribuire al suo recupero.

Alcuni studi ritengono che la fatica neuromuscolare porti a modificare alcuni parametri di movimento (5) associati a una riduzione di prestazione motorie.

Tuttavia, molti studi hanno dimostrato che, al fine di moderare l'affaticamento muscolare e gli effetti sulle prestazioni il sistema nervoso centrale impegna strategie compensative (2,3,4,6)

Per velocizzare i movimenti come ad esempio il lancio di un oggetto, ogni articolazione richiede un controllo di forze in base a effetti di interazione passivi (11) , il SNC deve essere in grado di utilizzare dinamicamente più articolazioni per prolungare il rendimento globale nonostante la stanchezza. Un recente studio (10) ha evidenziato la capacità del SNC di adattarsi alle differenti posizioni dello spazio delle articolazioni e di gestire queste in base all'affaticamento muscolare, cioè grazie ad un sistema di feedforward il sistema nervoso centrale riesce a prevedere gli effetti meccanici della fatica adottando le relative strategie compensatorie.



Attualmente non ci sono studi su esseri umani che indicano come le cellule dei gruppi III e IV delle afferenze muscolari sensibili alle concentrazioni metaboliche dell'intersizio cellulare siano coinvolti nella eccitabilità dei motoneuroni durante un elevato grado di fatica o danno muscolare, si è pensato che tali fibre inducano un riflesso inibitorio non solo sul muscolo interessato ma anche sui motoneuroni sinergici.

In fine questi riflessi provenienti dal muscolo in risposta a cambiamenti metabolici che accompagnano l'affaticamento muscolare sono associati a cambiamenti a livello locale del sistema neuromuscolare.

Anche se la letteratura suggerisce che i cambiamenti metabolici possono essere diversi tra contrazione volontaria e indotta elettricamente, la fatica si presenta anche negli esercizi indotti con elettrostimolazione. Più precisamente alcuni studi hanno dimostrato che il metabolismo anaerobico è maggiore durante l'elettrostimolazione rispetto a contrazioni volontarie dei muscoli flessori plantari (13) e del muscolo quadricipite (16) e che nel corso di esercizio con elettrostimolatore l'assorbimento di ossigeno locale ,cioè il consumo sia risultato essere superiore rispetto alla contrazione volontaria (17).

Queste differenze nei meccanismi aerobico e anaerobico suggeriscono che i cambiamenti metabolici sono diversi per entrambi i tipi di esercizi. Di conseguenza la riorganizzazione di più articolazioni con le relative strategie

dovrebbero essere differenti in base alla fatica.

In base a questo argomento uno studio di Anne-Fabienne HufFenus, Nicolas Forestier (18) hanno dimostrato come mettendo a confronto la stanchezza indotta da movimenti volontari e dall'utilizzo elettrostimolazione, il sistema nervoso centrale proceda in modo diverso alla riorganizzazione e aggiustamento multiarticolare. Quando i muscoli sono stati indotti a stanchezza tramite esercizi di movimenti volontari le strategie compensatore avvengono attraverso una maggiore attivazione muscolare associata con un aumento degli adeguamenti neuronali (1,14,9), mentre quando la stanchezza è stata indotta da contrazioni elettriche l'adattamento si manifesta attraverso i patterns di attivazione muscolare pur mantenendo le caratteristiche del movimento.

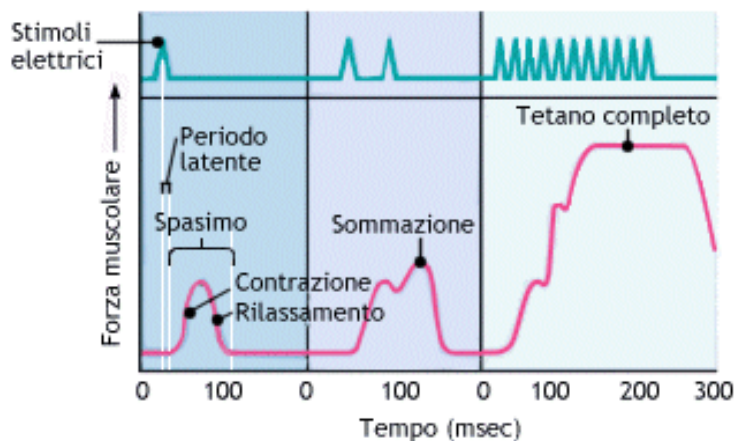
In altre parole la riorganizzazione del movimento prodotta dal sistema nervoso centrale di mantenere il movimento multiarticolare è di compensare attivando altri muscoli, questo risultato è in linea con i risultati di Lucidi e Lehman (12) su temi adattamento alla fatica, questo grazie all'osservazione del grado di affaticamento dei muscoli estensori del gomito.

Questa differenza che si manifesta a livello del sistema nervoso centrale in base alla natura della fatica potrebbe ricondursi al fatto che durante i movimenti di esercizi a contrazione volontaria il sistema nervoso centrale è impegnato attivamente con processi attivi in grado di reimpostare il movimento (15) mentre con l'elettrostimolazione questo non è possibile.

3.2 La fatica: componente positiva o negativa al reclutamento neuromuscolare?

In base al ruolo che sembra aver assunto la fatica a livello neuro-muscolare, a livello del sistema nervoso periferico e a livello del sistema nervoso centrale abbiamo cercato di comprendere come in base alle strategie che adottiamo in riabilitazione possiamo migliorare il recupero di un muscolo rispettando la fatica oppure servendoci di lei per aumentare il reclutamento motorio, in poche parole il nostro obiettivo è stato quello di valutare se ci sono studi che indicano se la fatica aiuta ad un recupero funzionale o muscolare oppure sia da ostacolo al nostro intervento riabilitativo.

Purtroppo la letteratura è molto scarsa di studi che indicano quale sia il grado di fatica che sia da considerarsi nocivo oppure no per il nostro intervento terapeutico, gli studi si riferiscono in modo particolare sui meccanismi che intervengono quando sollecito un muscolo e le relative risposte a livello del SNC/SNP e strutturale metabolica.



La difficoltà principale nel descrivere la fatica e la propria correlazione con gli esercizi per prevedere gli adattamenti e migliorare le prestazioni, li fornisce uno studio condotto dal dott. D.T. Williams (26) che mostra come molti studi trattano della fatica provocata durante un esercizio ma pochi di questi trattano su quali adattamenti si verificano o si dovrebbe verificare per

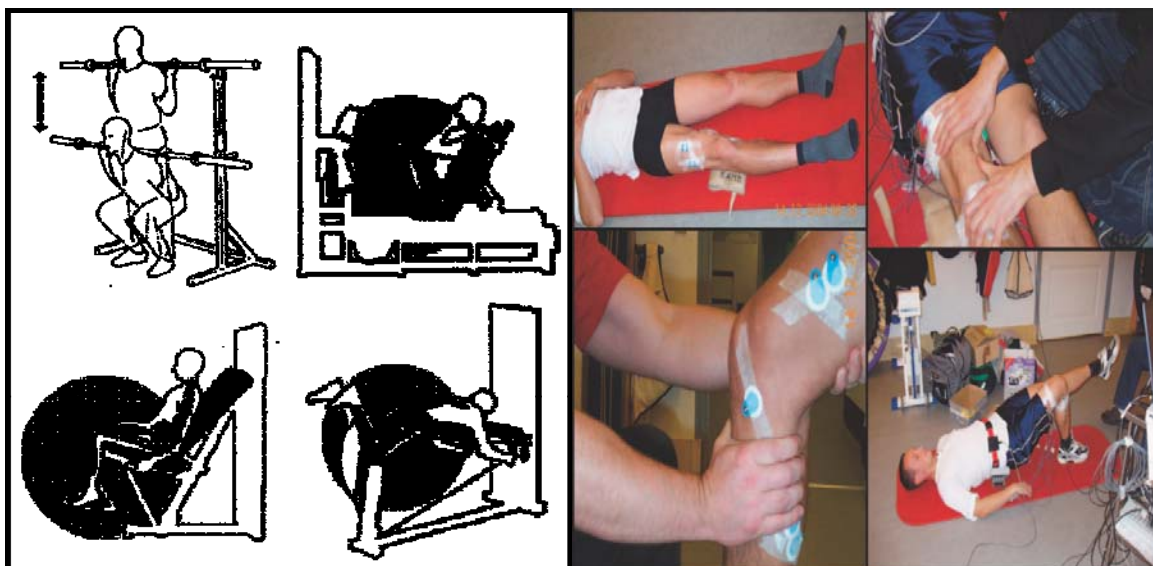
migliorare la prestazione fisica in corrispondenza del ritardo dell'insorgenza della fatica. Un punto debole che cita è la mancata conoscenza dei precisi fattori che determinano la fatica e quindi di limitare le prestazioni in diversi tipi di esercizi sotto una serie di condizioni .

3.3 Quali esercizi adottare per un recupero neuro-motorio basandosi sulla fatica?

Alcuni studi indicano quali siano gli esercizi migliori per stimolare l'ipertrofia muscolare ed aumentare le attivazioni neuromotorie durante la riabilitazione:

su Physical Therapy uno studio di (Lars L Andersen, et al. 18) mette a confronto 4 esercizi terapeutici (definiti leggeri) con 4 esercizi pesanti di resistenza.

I risultati hanno portato a verificare che per esercizi definiti terapeutici sono stati rilevati bassi livelli di attivazione neuro muscolare. Il più alto livello di attivazione neuro-muscolare è stata osservata durante esercizi pesanti in particolar modo per quelli a catena cinetica aperta. I risultati indicano che esercizi di resistenza dovrebbero essere inclusi in programmi di riabilitazione per indurre un livello sufficiente di attivazione neuro-muscolare per stimolare la crescita muscolare e la forza.



Altri sono orientati verso l'utilizzo dell'elettrostimolatore,:

(J. Gondin et al. 19) hanno condotto studi sui cambiamenti a livello di unità neuro-motorie e architettura muscolare dopo utilizzo di elettrostimolatore da 4 a 8 settimane di utilizzo. Gli studi hanno portato ad un aumento significativo di attivazione muscolare, una buona attività EMG dei muscoli (vasto laterale e vasto mediale non il retto femorale), aumento diametro del muscolo, e un diverso angolo delle fibre muscolari. I dati inoltre indicano che la maggior parte degli adattamenti si è verificata principalmente durante le prime 4 settimane, mentre le modifiche in massa muscolare architettura è diventata significativa tra la quarta e l'ottava settimana, infine gli adattamenti sia muscolari che neuronali influenzano principalmente muscoli monoarticolari rispetto a quelli biarticolari.

Altri studi (J. Godin et al. 20) hanno indagato se i cambiamenti qui sopra descritti in particolare di "nuove molecole" o più comunemente nuove fibre muscolari, dopo un periodo di sospensione dell'elettrostimolazioni si mantenessero, qui i risultati sono un po' ambigui, per esempio Marqueste et al. (23) ha riferito che l'aumento della Massima Contrazione Volontaria

(MVC) dopo 6 settimane di formazione di nuove molecole, seguita da 6 settimane di inattività è stata preservata per alcuni muscoli ma per altri no anche se il valore finale era superiore al valore di inizio trattamento (22). Questo indica che gli effetti del detraining possono essere muscolo dipendenti oppure ritornando agli studi precedenti e cioè dei molti fattori in gioco, i muscoli sono sollecitati in modalità diverse in base al compito che devono svolgere. A medesimi risultati sono giunti anche se con qualche discrepanza (21) con uno studio della Shima et al. (24). Questo in contrapposizione con uno studio di M. Guette (25) che dopo aver verificato le varie modifiche a livello strutturale e neuro-motorio, ha evidenziato come dopo il periodo di detraining l'attivazione del muscolo quadricipite e il suo diametro è diminuita in maniera significativa.

4.0 CONCLUSIONI

Queste sono alcune ricerche che fanno capire come sia vasto il terreno di studi che si sta portando avanti ma anche che manca una precisa direzione dove procedere non conoscendo ancora nel dettaglio i meccanismi della fatica neuromuscolare. Tutti gli studi mostrano come ci sia correlazione tra esercizi e relativi cambiamenti a livello neuromuscolare, esattamente come la fatica era condizionata dai vari esercizi dei muscoli che si prendevano in esame. Mancano studi che integrino con chiarezza su quale sia la soglia di fatica che ci permette di andare a stimolare un muscolo con tutte le sue componenti, in poche parole se la fatica gioca un ruolo di favorire il recupero muscolare oppure di ostacolarlo. Bisognerebbe approfondire l'argomento includendo studi sull'inibizione artrogenica in quanto possono andare ad inibire un reclutamento motorio, come abbiamo visto sia esercizi strenui che utilizzando l'elettrostimolazione possono andare ad interagire con il sistema nervoso periferico e centrale portando a modifiche strutturali e neuromotorie, ma questo bisogna considerarlo in base al grado di fatica sviluppata, cosa che negli studi è di difficile interpretazione.

5.0 BIBLIOGRAFIA

1. B.R. Bigland-Ritchie, N.J. Dawson, R.S. Johansson, O.C. Lippold, Reflex origin for the slowing of motoneurone firing rates in fatigue of human voluntary contractions, *J. Physiol.* 379 (1986) 451–459.
2. M. Bonnard, A.V. Sirin, L. Oddsson, A. Thorstensson, Different strategies to compensate for the effects of fatigue revealed by neuromuscular adaptation processes in human, *Neurosci. Lett.* 166 (1994) 101–105.
3. J.N. Co^ te', P.A. Mathieu, M.F. Levin, A.G. Feldman, Movement reorganization to compensate for fatigue during sawing, *Exp. Brain Res.* 146 (2002) 394–398.
4. J.N. Co^ te', D. Raymond, P.A. Mathieu, A.G. Feldman, M.F. Levin, Differences in multi-joint kinematic patterns of repetitive hammering in healthy, fatigued and shoulder-injured individuals, *Clin. Biomech.* 20 (6) (2005) 581–590.
5. R.M. Enoka, D.G. Stuart, Neurobiology of muscle fatigue, *J. Appl. Physiol.* 5 (1992) 1631–1648.
6. N. Forestier, V. Nougier, The effects of muscular fatigue on the coordination of a multijoint movement in human, *Neurosci. Lett.* 252 (1998) 187–190.
7. A.J. Fuglevand, K.M. Zackowski, K.A. Huey, R.M. Enoka, Impairment of neuromuscular propagation during human fatiguing contractions at submaximal forces, *J. Physiol.* 460 (1993) 549–572.

8. S.J. Garland, M.P. Kaufman, Role of muscle afferents in the inhibition of motoneurons during fatigue, *Adv. Exp. Med. Biol.* 384 (1995) 271–278.
9. M. Hirashima, K. Kudo, T. Ohtsuki, Utilization and compensation of interaction torques during ball-throwing movements, *J. Neurophysiol.* 89 (2003) 1784–1796.
10. A.F. HufFenus, D. Amarantini, N. Forestier, Effects of distal and prox- imal arm muscles fatigue on multi-joint movement organization, *Exp. Brain Res.* 21 (2005) 1–10.
11. C.J. Ketcham, N.V. Dounskaia, G.E. Stelmach, Multijoint movement control: the importance of interactive torques, *Prog. Brain Res.* 143 (2004) 207–218.
12. C.A. Lucidi, S.L. Lehman, Adaptation to fatigue of long duration in human wrist movements, *J. Appl. Physiol.* 73 (1992) 2596–2603.
13. A. Ratkevicius, M. Mizuno, E. Povilonis, B. Quistorff, Energy metabolism of the gastrocnemius and soleus muscles during isomet- ric voluntary and electrically induced contractions in man, *J. Physiol.* 507 (1998) 593–602.
14. L.I. Sinoway, J.M. Hill, J.G. Pickar, M.P. Kaufman, Effects of contrac- tion and lactic acid on the discharge of group III muscle afferents in cats, *J. Neurophysiol.* 69 (4) (1993) 1053–1059.
15. C.D. Takahashi, D. Nemet, C.M. Rose-Gottron, J.K. Larson, D.M. Cooper, D.J. Reinkensmeyer, Effect of muscle fatigue on internal model formation and retention during reaching with the arm, *J. Appl. Physiol.* (2005) 695–706.

16. M. Vanderthommen, R. Gilles, P. Carlier, F. Ciancabilla, O. Zahlan, Sluse, J.M. Crielaard, Human muscle energetics during voluntary and electrically induced isometric contractions as measured by ³¹P NMR spectroscopy, *Int. J. Sports Med.* 5 (1999) 279–283.
17. M. Vanderthommen, S. Duteil, C. Wary, J.S. Raynaud, A. Leroy-Willig, J.M. Crielaard, P.G. Carlier, A comparison of voluntary and electrically induced contractions by interleaved ¹H- and ³¹P-NMRS in humans, *J. Appl. Physiol.* 94 (2003) 1012–1024.
18. Links Andersen LL, Magnusson SP, Nielsen M, Haleem J, Poulsen K, Aagaard P.
Neuromuscular activation in conventional therapeutic exercises and heavy resistance exercises: implications for rehabilitation.
Phys Ther. 2006 May;86(5):683-97.
19. Links Gondin J, Guede M, Ballay Y, Martin A.
Electromyostimulation training effects on neural drive and muscle architecture.
Med Sci Sports Exerc. 2005 Aug;37(8):1291-9.
20. Links Gondin J, Duclay J, Martin A.
Neural drive preservation after detraining following neuromuscular electrical stimulation training.
Neurosci Lett. 2006 Dec 6;409(3):210-4. Epub 2006 Oct 5.
21. L. Bax, F. Staes, A. Verhagen, Does neuromuscular electrical stimulation strengthen the quadriceps femoris? A systematic review of randomised controlled trials.
Sports Med. 35 (2005) 191–212.
22. J. Gondin, M. Guede, Y. Ballay, A. Martin, Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training, *Eur. J. Appl. Physiol.* 97 (2006) 165–173.

23. T. Marqueste, F. Hug, P. Decherchi, Y. Jammes, Changes in neuromuscular function after training by functional electrical stimulation
Muscle Nerve 28 (2003) 181-188
24. N. Shima, K. Ishida, K. Katayama, Y. Morotome, Y. Sato, M. Miyamura, Cross education of muscular strength during unilateral resistance training and detraining, Eur. J. Appl. Physiol. 86 (2002) 287-294.
25. Gondin J, Guette M, Ballay Y, Martin A.
Neural and muscular changes to detraining after electrostimulation training.
Eur J Appl Physiol. 2006 May;97(2):165-73. Epub 2006 Mar 9.
26. D. T. Williams
Physiological models to understand exercise fatigue and the adaptations that predict or enhance athletic performance.
Scand J Med Sci Sports. 2000 Jun;10(3):123-45. Review.