



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

**L’EFFETTO DEI VARI ESERCIZI
MUSCOLARI ED ARTICOLARI SULLE
STRATEGIE MOTORIE**

Referente
Musarra Frank

Tesi di
Caputo Fabiola

Anno accademico 2007/2008

INDICE

ABSTRACT	pag. 3
INTRODUZIONE	pag. 4
CONTROLLO MOTORIO	pag. 5
LA FISIOLOGIA DEI MECCANOCETTORI	pag. 6
VIE NERVOSE DEI NERVI PERIFERICI	pag. 7
METODI DI RICERCA	pag. 9
SELEZIONE ARTICOLI E RISULTATI	pag. 9
DISCUSSIONE	pag. 11
BIBLIOGRAFIA	pag. 15

ABSTRACT

L'obiettivo della tesi è cercare in letteratura studi riguardanti gli effetti degli esercizi generici sul controllo motorio e quindi se esistono prove per cui si può affermare che non è necessario effettuare sempre strategie riabilitative specifiche per ottenere maggiore stabilità e controllo durante l'esecuzione di un movimento finalizzato.

Gli articoli sono stati cercati tutti su PubMed.

La ricerca è stata limitata ad articoli in lingua inglese ed italiana, pubblicati negli ultimi 10 anni. Sono stati presi in considerazione solo RS, RCT e Metanalisi.

I risultati della ricerca mi hanno indotta a considerare validi 6 articoli, di cui due revisioni e quattro RCT.

Nelle due revisioni gli autori sostengono che a seguito di un training resistito, avvengono adattamenti neuromuscolari che mutano il modo in cui il SNC recluta i muscoli e che possono potenzialmente migliorare o interferire con l'efficacia del gesto motorio .

Dei quattro RCT considerati, tre concludono che l'esercizio resistito non porta a dei cambiamenti delle strategie di controllo motorio, mentre uno sostiene che attraverso l'allenamento resistito si aumenta l'efficienza meccanica dell'attivazione neuromuscolare e si hanno miglioramenti sulla coordinazione, sulla forza prodotta e la stabilità.

Nonostante alcuni studi affermino che l'esercizio non specifico porti delle conseguenze sul controllo motorio, non è ancora chiaro come questo agisca sul modo in cui i muscoli allenati vengono reclutati in specifici compiti. Questo perché ci sono informazioni insufficienti riguardo la precisa natura dell'adattamento nervoso che accompagna l'allenamento e perché ci sono stati pochi esperimenti a riguardo.

INTRODUZIONE

Il ripristino del controllo neuromuscolare costituisce l'obiettivo principe nella riabilitazione delle disfunzioni delle patologie a carico delle articolazioni. Lo scopo dell'attività del sistema di "controllo motorio" è quello di elaborare gli stimoli neuromuscolari periferici provenienti dalle articolazioni per tradurli in risposte motorie coordinate. Questo è importante al fine di proteggere le articolazioni da carichi eccessivi e prevenire le lesioni ricidive.

Per ripristinare l'attività muscolare dinamica, necessaria ai fini della stabilità funzionale, l'iter riabilitativo attuale prevede, in prima istanza, il ripristino delle funzioni dei muscoli stabilizzatori locali, i cui compiti sono: controllare la posizione neutra dell'articolazione, aumentare la stiffness muscolare del controllo segmentale e dare input propriocettivi sulla posizione dell'articolazione, l'ampiezza e la velocità del movimento. Per questo scopo si utilizza l'attivazione tonica continua a basso carico per riallenare le unità motorie lente, esercizi per il ripristino del ruolo propriocettivo della muscolatura intorno all'articolazione da stabilizzare, programmi con situazioni instabili crescenti.

Successivamente si passa a rinvigorire la funzionalità degli stabilizzatori globali per mezzo di esercizi a catena cinetica chiusa a cui si aumenta gradualmente il carico e in fine si passa al miglioramento dell'attività dei mobilizzatori globali per mezzo di esercizi a catena cinetica aperta.

L'obiettivo di questa ricerca è analizzare se esistono in letteratura evidenze che riportano la validità degli effetti di esercizi generici sul controllo motorio senza avere la necessità di attuare strategie riabilitative che si avvalgono di esercizi specifici.

CONTROLLO MOTORIO

La propriocezione è la valutazione conscia ed inconscia della posizione di un'articolazione, la sinestesia, invece, è la sensazione del movimento articolare o dell'accelerazione. I segnali propriocettivi e quelli cinestetici vengono trasmessi al midollo spinale tramite le vie afferenti (sensitive). La consapevolezza del movimento e della posizione di un'articolazione è fondamentale per il suo funzionamento tanto nello sport quanto nella vita di tutti i giorni; la propriocezione inconscia, invece, modula la funzione muscolare e dà avvio alla stabilizzazione riflessa. Le risposte efferenti (motorie) conseguenti alle informazioni di natura sensitiva sono definite controllo neuromuscolare. Sono due i meccanismi di controllo motorio impegnati nell'interpretazione delle informazioni afferenti e nella gestione e nella gestione delle risposte efferenti. Il controllo neuromuscolare feedforward e il meccanismo di feedback. Il primo prevede la programmazione dei movimenti sulla base delle informazioni sensitive derivanti da esperienze passate, il secondo svolge una continua regolazione motoria mediante vie riflesse. Il meccanismo di feedforward è responsabile dell'attività di preparazione del muscolo, mentre il processo di feedback si associa all'attività muscolare reattiva. Grazie alle caratteristiche di orientamento e di attivazione del muscolo scheletrico, possono essere eseguiti in modo coordinato innumerevoli movimenti con contrazioni concentriche, eccentriche ed isometriche, mentre viene limitato il movimento articolare eccessivo. Perciò il controllo dinamico si ottiene mediante il controllo neuromuscolare preparatorio e quello riflesso.

Il livello di attivazione muscolare, sia preparatoria sia reattiva, è in grado di modificare in larga misura la tensione muscolare.

Dal punto di vista meccanico, la rigidità muscolare è data dal rapporto tra la variazione della forza e la variazione della lunghezza. In sostanza i muscoli con maggior grado di tensione si oppongono maggiormente allo stretching, presentano un tono maggiore e sono caratterizzati da un maggiore controllo dinamico dello spostamento articolare.

LA FISIOLOGIA DEI MECCANOCETTORI

MECCANOCETTORI ARTICOLARI

Il sistema di controllo dinamico utilizza terminazioni nervose specializzate denominate meccanicocettori. Un meccanicocettore funziona traducendo la deformazione meccanica di un tessuto in segnali nervosi modulati in frequenza. Lo stimolo che si genera in seguito alla deformazione determina un aumento degli impulsi afferenti o un aumento del numero di meccanicocettori attivati. Tali impulsi recano informazioni riguardanti le forze interne ed esterne che agiscono sull'articolazione.

Questi recettori sono stati classificati in meccanicocettori ad adattamento rapido (QA), che smettono immediatamente di generare impulsi una volta stimolati, e in meccanicocettori ad adattamento lento (SA), che continuano a produrre impulsi fino a che lo stimolo è presente. Nelle articolazioni sane si ritiene che i meccanicocettori QA siano i responsabili delle informazioni cinestetiche cosce ed inconsce dovute al movimento articolare o all'accelerazione, mentre i meccanicocettori SA sono i responsabili del feedback continuo, ossia delle informazioni propriocettive relative alla posizione dell'articolazione nello spazio.

MECCANOCETTORI MUSCOLOTENDINEI

I cambiamenti di posizione dell'articolazione determinano simultanee variazioni della lunghezza e del tono muscolare. I fusi neuromuscolari, localizzati all'interno dei muscoli scheletrici, percepiscono l'entità della variazione della lunghezza e trasmettono questa informazione al sistema nervoso tramite i neuroni afferenti. I fusi neuromuscolari inoltre, sono innervati da piccole fibre motorie denominate fibre efferenti gamma. Questa indipendenza tra fibre sensitive e fibre motorie permette al fuso neuromuscolare di ricevere informazioni sulla lunghezza e, simultaneamente, di trasmettere in continuazione segnali afferenti. I fusi neuromuscolari scaricano direttamente i propri impulsi sui motoneuroni che innervano la muscolatura scheletrica mediante riflessi monosinaptici

molto veloci. Quando i fusi neuromuscolari vengono stimolati, determinano la contrazione riflessa del muscolo agonista. Gli stimoli provenienti dai motoneuroni gamma innalzano la soglia di attivazione dei fusi neuromuscolari. Questo è il meccanismo (di stiramento riflesso) per cui i fusi neuromuscolari hanno la capacità di mediare l'attività muscolare.

Gli organi tendinei del Golgi sono anche in grado di regolare l'attività muscolare e sono responsabili della regolazione del tono muscolare. Localizzati tra il tendine e la giunzione muscolotendinea, gli organi tendinei del Golgi hanno il compito di proteggere l'unità muscolotendinea inibendo in maniera riflessa l'attivazione muscolare nel caso in cui un'eccessiva tensione possa causare un danno. Pertanto gli organi tendinei del Golgi hanno l'effetto opposto rispetto ai fusi neuromuscolari e determinano un'inibizione (rilasciamento) riflessa del muscolo che si sta contraendo.

VIE NERVOSE DEI NERVI PERIFERICI

La comprensione delle vie percorse dalle informazioni che provengono dalle articolazioni e dai muscoli richiede lo studio delle vie corticali e di quelle riflesse percorse dai nervi periferici afferenti. Gli impulsi che veicolano le informazioni riguardanti il movimento e la posizione di un'articolazione vengono trasmessi dai recettori periferici, attraverso le vie afferenti, al sistema nervoso centrale (SNC). Le vie ascendenti verso il sistema nervoso centrale forniscono informazioni propriocettive e cinestetiche. Due vie riflesse mettono in comunicazione, a livello del midollo spinale, i recettori articolari e i recettori muscolotendinei con i motoneuroni mediante interneuroni. Un riflesso monosinaptico collega il fuso neuromuscolare direttamente ai motoneuroni. Le informazioni sensitive provenienti dalla periferia vengono elaborate dalla corteccia cerebrale per acquisire consapevolezza somatosensoriale e il controllo neuromuscolare feed-forward, mentre l'equilibrio e il controllo posturale vengono elaborati a livello del midollo allungato. L'equilibrio è regolato dallo stesso sistema periferico afferente che media la propriocezione articolare, e dipende in parte dalla capacità di integrazione del senso della posizione articolare con il controllo neuromuscolare. Pertanto, spesso l'equilibrio viene utilizzato come indice della stabilità articolare funzionale ed eventuali deficit a suo carico possono risultare in anomalie dell'arco afferente riflesso a carico degli arti inferiori.

Le sinapsi a livello del midollo spinale mettono in connessione le fibre afferenti provenienti dai recettori articolari e muscolotendinei con i motoneuroni, costituendo un arco riflesso tra informazioni sensitive e risposta motoria. Questo sistema contribuisce all'equilibrio dinamico

utilizzando il meccanismo di feedback per l'attivazione muscolare reattiva. Gli interneuroni localizzati nel midollo spinale collegano i recettori articolari e gli organi tendinei del Golgi con i grandi motoneuroni che innervano i muscoli e i piccoli motoneuroni gamma che innervano i fusi neuromuscolari. Johansson afferma che le vie afferenti articolari non influenzano direttamente in modo rilevante i muscoli scheletrici, ma piuttosto che agiscono maggiormente e con frequenza più alta sui fusi neuromuscolari. I fusi neuromuscolari a loro volta, modulano l'attivazione muscolare mediante un riflesso di stiramento monosinaptico. Le terminazioni afferenti articolari pertanto esercitano una certa influenza sui grandi motoneuroni, così come sui recettori muscolotendinei attraverso i motoneuroni gamma.

Questo stretto legame tra articolazione e strutture muscolotendinee è stato definito "input finale comune". Questo suggerisce che i fusi neuromuscolari integrano le informazioni periferiche afferenti e trasmettono un segnale finale modificato al SNC. Questo feedback è responsabile delle continue modificazioni che l'attività muscolare subisce nel corso della locomozione grazie all'arco riflesso di stiramento del fuso neuromuscolare. Con il coordinamento dei comandi motori riflessi e di quelli discendenti, è possibile modificare il tono muscolare e mantenere l'equilibrio dinamico.

METODI DI RICERCA

Tutti gli articoli presi in considerazione sono stati trovati su PubMed. Per la ricerca degli stessi sono state utilizzate le seguenti parole chiave: “proprioception, motor control, resistance, strength training, exercise” La ricerca è stata limitata ad articoli in lingua italiana ed inglese pubblicati negli ultimi 10 anni e sono state prese in considerazione RS, RCT e Metanalisi.

SELEZIONE ARTICOLI E RISULTATI

TITOLO 1

AN ENDURANCE-STRENGTH TRAINING REGIME IS EFFECTIVE IN REDUCING MYOELECTRIC MANIFESTATIONS OF CERVICAL FLEXOR MUSCLE FATIGUE IN FEMALES WITH CHRONIC NECK PAIN. (2006)

MOTIVI DI ESCLUSIONE

Discute gli effetti di due tipologie di esercizi in relazione al dolore cronico al collo.

TITOLO 2

POSTURAL RESPONSES TO VIBRATION OF NECK MUSCLES IN PATIENTS WITH UNILATERAL VESTIBULAR LESION. (1996)

MOTIVI DI ESCLUSIONE

Non parla di esercizi generici.

TITOLO 3

HEAD AND NECK POSITION SENSE IN WHIPLASH PATIENTS AND HEALTHY INDIVIDUALS AND THE EFFECT OF THE CRANIO-CERVICAL FLEXION ACTION (2005)

MOTIVI DI ESCLUSIONE

Nello studio si mette a confronto il ROM e il Senso della Posizione tra un gruppo di soggetti sani ed un gruppo di pazienti con pregresso colpo di frusta di severità media. Non focalizza l'attenzione su esercizi.

TITOLO 4

CERVICAL JOINT POSITION SENSE: AN INTRA- AND INTER-EXAMINER RELIABILITY STUDY. (2004)

MOTIVI DI ESCLUSIONE

Escludo questo studio perché affronta un esperimento che dimostra l'inaffidabilità del metodo utilizzato per valutare il senso della posizione cervicale.

TITOLO 5

SENSORIMOTOR DISTURBANCES IN NECK DISORDERS AFFECTING POSTURAL STABILITY. HEAD AND EYE MOVEMENT CONTROL. (2005)

MOTIVI DI ESCLUSIONE

L'articolo non mette a confronto esercizi generici e specifici.

TITOLO 6

RECRUITMENT OF THE DEEP CERVICAL FLEXOR MUSCLES DURING A POSTURAL-CORRECTION EXERCISE PERFORMED IN SITTING. (2006)

MOTIVI DI ESCLUSIONE

Si focalizza sul dolore al collo.

TITOLO 7

ACUTE NECK PAIN: CERVICAL SPINE RANGE OF MOTION AND POSITION SENSE PRIOR TO AND AFTER JOINT MOBILIZATION. (2006)

MOTIVI DI ESCLUSIONE

Si focalizza sul dolore al collo

TITOLO 8

PATIENTS WITH CHRONIC NECK PAIN DEMONSTRATE ALTERED PATTERNS OF MUSCLE ACTIVATION DURING PERFORMANCE OF A FUNCTIONAL UPPER LIMB TASK. (2004)

MOTIVI DI ESCLUSIONE

Lo escludo dal mio lavoro per il fatto che dimostra come ci sia un incremento dell'attività elettromiografica nei muscoli superficiali del collo, in pazienti con dolore cronico al collo.

Non parla di esercizi e strategie motorie

TITOLO 9

NECK MOVEMENT AND MUSCLE ACTIVITY CHARACTERISTICS IN FEMALE OFFICE WORKERS WITH NECK PAIN. (2008)

MOTIVI DI ESCLUSIONE

Si focalizza sul dolore cronico al collo

DISCUSSIONE

Lo scopo della ricerca è stato quello di analizzare se esistono in letteratura studi che prendono in considerazione tipologie di esercizio generale valutando la loro efficacia sul controllo motorio.

Per esercizio generale si intende: l'esercizio resistito, lo stretching e l'esercizio aerobico.

Le modalità di esercizio specifico, volte a migliorare il controllo motorio, invece, richiedono il coinvolgimento della muscolatura profonda di un'articolazione effettuando esercizi a basso carico.

Sono stati trovati solo articoli che mettevano in confronto l'esercizio resistito con quello specifico.

Nelle due revisioni sistematiche "*Neural Adaptations to Resistance training*" di Carroll, Riek e Carson e "*Changes in muscle coordination with training*" di R. Carson del 2006, gli autori si propongono di stabilire in che modo l'allenamento di resistenza altera il modo in cui i muscoli che sono stati sottoposti a tale allenamento vengono reclutati dal SNC.

Attraverso una registrazione encefalografia, si è evidenziato l'ampiezza dei potenziali che si verificano all'interno delle aree motorie e premotorie corticali, durante un gesto motorio. L'innalzamento dell'eccitabilità di specifiche regioni della corteccia motoria porta ad alterazioni nella reattività corticale. Ciò implica il reclutamento di gruppi muscolari che non contribuiscono direttamente al movimento richiesto. Tali interferenze si verificano ad esempio per mezzo di fattori quali un aumento della velocità del movimento. Il grado di questa interferenza e quindi l'efficienza con cui queste azioni motorie vengono generate stanno alla base della coordinazione.

Gli adattamenti neuromuscolari indotti come conseguenza dell'esercizio resistito, hanno la capacità di alterare il modo in cui i muscoli allenati sono attivati dal SNC, incrementando la loro capacità di generare forza. Se un muscolo è in grado di generare più forza, possono essere attivati meno motoneuroni, quindi ci sarà una minore attivazione corticale e di conseguenza una minore possibilità di generare interferenze nelle aree motorie e premotorie corticali.

Nell'articolo di Falla, Jull e Hodges intitolato *“Training the cervical muscles with prescribed motor tasks does not change muscle activation during a functional activity”*, gli autori mettono a confronto gli effetti di due tipi di esercizi, un training specifico con esercizi di flessione cranio-cervicale a basso carico e un training con esercizi di flessione cervicale ad alto carico di forza e durata, con lo scopo di osservare come cambia l'attivazione muscolare durante un compito funzionale, alterato in persone con dolore al collo.

Lo studio fu condotto su 58 donne con dolore cronico cervicale, la durata di ogni sessione di esercizi durava non più di 30 minuti, furono condotti per sei settimane.

Molte persone con dolore cronico al collo hanno evidenziato un disturbo nell'attivazione dello sternocleidomastoideo (SCM) durante contrazioni isometriche e il movimento dinamico degli arti superiori. In particolare è stata evidenziata una maggiore ampiezza elettromiografica nello SCM durante il test di flessione cranio-cervicale, contrazioni sub massimali isometriche dei flessori cervicali e durante un compito ripetitivo degli arti superiori. È stato inoltre constatato che alterazioni dell'attività muscolare dello SCM portano ad alterate strategie del controllo motorio attraverso un irrigidimento del collo e forniscono compensazioni a causa di una ridotta attivazione dei muscoli cervicali profondi.

I risultati furono i seguenti: il training di flessione cranio-cervicale a basso carico aiuta a migliorare l'attivazione dei muscoli flessori profondi della regione cervicale superiore (il longus capitis e il longus colli), mentre minimizzano l'attivazione dei flessori superficiali (SCM e scaleni anteriori);

il training di forza e resistenza, al contrario, promuove l'attivazione di tutti i muscoli che contribuiscono al sollevamento della testa.

Nonostante il training di flessione cranio-cervicale riduce l'aumentata attività dello SCM, i risultati di questo studio suggeriscono che non c'è cambiamento delle strategie di controllo motorio durante l'attività funzionale degli arti superiori.

Lo studio effettuato da S Bruhn, N. Kullman, A. Gollhofer, inseriti nell'articolo *“The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilisation, maximum isometric contraction and*

jump performance” ha come scopo quello di investigare i possibili adattamenti neuromuscolari conseguenti a due tipi di allenamento, uno specifico senso-motorio e uno di resistenza, dopo un periodo di quattro settimane, focalizzando i loro effetti sulla stabilizzazione posturale, la massima contrazione volontaria di leg-estensors e sull’esecuzione di squat-jump e drop-jump.

I risultati di questo studio dimostrano che a seguito dell’allenamento senso-motorio si hanno pochi miglioramenti sulla stabilizzazione posturale.

L’allenamento di resistenza aumenta la coordinazione intramuscolare e di conseguenza l’efficienza meccanica dell’attivazione neuromuscolare. In più si sono evidenziati effetti positivi sulla coordinazione muscolare. L’effetto dell’allenamento muscolare può essere localizzato nelle vie efferenti del sistema sensomotorio.

L’allenamento sensomotorio migliora il feedback sensitivo dalla periferia verso il sistema nervoso centrale, questo e l’effetto positivo sulla regolazione del tono muscolare porta ad una ottimizzazione della coordinazione muscolare.

Entrambi gli allenamenti hanno dimostrato miglioramenti sulla coordinazione e sulla forza prodotta.

Nell’articolo *“Effect of Neck Exercise on Sitting Posture in Patients with Chronic Neck Pain”* gli autori: Deborah Falla, G. Jull, T. Russel, B. Vicenzino, P. Hodges hanno preso in considerazione delle variazioni della postura relative al tratto cervicale e toracico, in un gruppo di soggetti con dolore cronico al collo e un gruppo di soggetti sani mentre effettuavano dei lavori al computer.

Entrambi i gruppi hanno mostrato cambiamenti posturali ma erano più evidenti nei soggetti con dolore al collo.

Pazienti con dolore cronico sono stati suddivisi in due gruppi: uno sottoposto ad un allenamento specifico di flessione cranio-cervicale, l’altro ad un allenamento di forza e di resistenza. I risultati dello studio hanno evidenziato che il primo gruppo ha migliorato a mantenere una postura corretta, il secondo gruppo ha ridotto il dolore, aumentato la forza di flessione cervicale e diminuito l’affaticabilità di SCM e scaleni anteriori, ma non ha migliorato la capacità di mantenere una postura corretta.

Nell’articolo *“Retraining Cervical Joint Position Sense: The Effect Of Two Exercise Regime”* gli autori G. Jull, Deborah Falla, Julia Treleaven, Paul Hodges, Bill Vicenzino mettono in relazione gli effetti di due tipi di training riabilitativo: uno propriocettivo convenzionale che comprende esercizi di rilocalizzazione della testa, stabilità dello sguardo ed esercizi di coordinazione di testa ed occhi; il secondo gruppo include

esercizi di coordinazione dei muscoli flessori del collo, in particolare i flessori profondi (longus capitis e longus colli) indicandolo con C-CF TRAINING.

Entrambi i gruppi di esercizi migliorano il senso della posizione cervicale per la rotazione sinistra e per l'estensione, riguardo la rotazione destra il gruppo di esercizi convenzionali dà maggiori benefici. Nella discussione si puntualizza il fatto che molti meccanismi del C-CF TRAINING possono portare ad un miglioramento del senso della posizione articolare, ossia dell'errore del posizionamento muscolare migliorando la propriocezione e quindi il controllo motorio.

Esistono delle evidenze secondo cui attraverso l'esercizio resistito si generano degli adattamenti all'interno del sistema nervoso che cambiano il modo in cui il SNC recluta i muscoli per un determinato gesto motorio. Si è capito che potenzialmente, l'esercizio resistito può migliorare o interferire con la performance di un gesto motorio. Non esistono ancora delle evidenze sull'efficacia dell'esercizio resistito sul controllo motorio e non si trovano in letteratura esperimenti che esaudiscano a pieno l'interrogativo posto come obiettivo della ricerca: dobbiamo sempre fare degli esercizi specifici ? Il controllo motorio può essere influenzato anche attraverso degli esercizi più generici?

Uno degli obiettivi delle ricerche future può essere quello di determinare la natura precisa dell'adattamento neuromuscolare che avviene a seguito dell'esercizio di resistenza.

BIBLIOGRAFIA

- 1 – Timothy J. Carrol, Stephan Riek and Richard G. Carson NEURAL ADAPTATIONS TO RESISTENCE TRAINING – Implications for Movement Control. (2001) RS**
- 2 – Van Mier H., Tempel LW, Perlmutter JS et al. CHANGES IN BRAIN ACTIVITY DURING MOTOR LEARNING MEASURE WITH PRT. (1998)**
- 3 – Milner Brown HS, Stein RB SYNCHRONIZATION OF HUMAN MOTOR UNITS: POSSIBLE ROLES OF EXERCISE AND SUPROSPINAL REFLEX.**
- 4 – Semmler JG, Nordstrom MA MOTOR UNIT DISCHARGE AND FORCE TREMOR IN SKILL AND STRENGTH TRAINED INDIVIDUALS. (1998)()**
- 5 – Carrol TJ, Abernethy PJ, Logan PA et al. RESISTENCE TRAINING FREQUENCY: STRENGTH AND MYOSIN HEAVY CHAIN RESPONSES TO TWO AND THREE BOUTS PER WEEK. (1998)**
- 6 – Gwendolen Jull, Deborah Falla, Julia Treleaven, Paul Hodges, Bill Vicenzino RETRAINING CERVICAL JOINT POSITION SENSE: THE EFFECT OF TWO EXERCISE REGIMES. (2006)**
- 7 – S. Bruhn, N. Kullmann, A. Gollhofer THE EFFECTS OF A SENSORIMOTOR TRAINING AND A STRENGTH TRAINING ON POSTURAL STABILIZATION, MAXIMUM ISOMETRIC CONTRACTION AND JUMP PERFORMANCE. (2003)**
- 8 – Richard G. Carson CHANGES IN MUSCLES COORDINATION WITH TRAINING. (2006)**
- 9 - Carroll TJ, Riek S, and Carson RG. THE SITES OF NEURAL ADAPTATION INDUCED BY RESISTENCE TRAINING IN HUMANST. (2002)**
- 10 - Carson RG, Riek S, and Shahbazzpour N. CENTRAL AND PERIPHERAL MEDIATION OF HUMAN FORCE SENSATION FOLLOWING ECCENTRIC OR CONCENTRIC CONTRACTION. (2002)**
- 11 - Gandevia SC, Petersen N, Butler JE, and Taylor JL. IMPAIRED RESPONSE OF HUMAN MOTONEURONES TO CORTICOSPINAL STIMULATION AFTER VOLUNTARY EXERCISE. (1999)**

12 - Jamison JC and Caldwell GE. MUSCLE SYNERGIES AND ISOMETRIC TORQUE PRODUCTION: INFLUENCE OF SUPINATION AND PRONATION LEVEL ON ELBOW FLEXION. (1993)

13 - Jensen JL, Marstrand PC, and Nielsen JB. MOTOR SKILL TRAINING AND STRENGTH TRAINING ARE ASSOCIATED WITH DIFFERENT PLASTIC CHANGES IN THE CENTRAL NERVOUS SYSTEM. (2005)

14 - Petersen NT, Taylor JL, Butler JE, and Gandevia SC. DEPRESSION OF ACTIVITY IN THE CORTICOSPINAL PATHWAY DURING HUMAN MOTOR BEHAVIOR AFTER STRONG VOLUNTARY CONTRACTIONS. (2003)

15 - Shemmell J, Tresilian JR, Riek S, Barry BK, and Carson RG. NEUROMUSCULAR ADAPTATION DURING SKILL ACQUISITION ON A TWO DEGREE-OF-FREEDOM TARGET-ACQUISITION TASK: DYNAMIC MOVEMENT. (2005)

16 - Wolters A, Sandbrink F, Schlottmann A, Kunesch E, Stefan K, Cohen LG, Benecke R, and Classen J. A TEMPORALLY ASYMMETRIC HEBBIAN RULE GOVERNING PLASTICITY IN THE HUMAN MOTOR CORTEX. (2003)

17 - Deborah Falla, Shaun O'Leary, Amy Fagan, Gwendolen Jull RECRUITMENT OF THE DEEP CERVICAL FLEXOR MUSCLES DURING A POSTURAL-CORRECTION EXERCISE PERFORMED IN SITTING. (2007)

18 - Deborah Falla, Gwendolen Jull, Paul Hodges TRAINING THE CERVICAL MUSCLES WITH PRESCRIBED MOTOR TASKS DOES NOT CHANGE MUSCLE ACTIVATION DURING A FUNCTIONAL ACTIVITY. (2007)

19 - Deborah Falla, Gwendolen Jull, Trevor Russell, Bill Vicenzino, Paul Hodges EFFECT OF NECK EXERCISE ON SITTING POSTURE IN PATIENTS WITH CHRONIC NECK PAIN. (2007)

20 - Carolyn Richardson, Paul Hodges, Julie Hides THERAPEUTIC EXERCISE FOR LUMBOPELVIC STABILIZATION a motor control approach for the treatment a prevention of low back pain. 2004

21 - William E. Prentice TECNICHE DI RIABILITAZIONE IN MEDICINA DELLO SPORT. 2002