

Master Universitario di I° Livello in “Riabilitazione dei Disordini  
Muscoloscheletrici”

---

**IL RUOLO DELL'ESERCIZIO  
TERAPEUTICO NELLA  
STABILIZZAZIONE DEL RACHIDE  
CERVICALE**

di  
MASSIMO BITOCCHI

anno accademico 2004-05

---

Università degli Studi di Genova – Campus Universitario di Savona

## INDICE

Introduzione .....	3
Aspetti anatomico-fisiologici .....	4
Cenni di clinica patologica .....	8
Evidenza scientifica ed efficacia dell’esercizio terapeutico .....	12
Conclusioni .....	16
Bibliografia .....	17

## INTRODUZIONE

Questo lavoro che tratterò nelle prossime pagine è il frutto maturato di due anni di duro studio per conseguire il Master in “Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici”.

Colgo l’occasione per ringraziare tutti coloro che hanno lavorato, e tuttora lavorano, per far sì che il percorso di studi da noi intrapreso possa fluire nel migliore dei modi.

Sono molto soddisfatto di aver preso parte a questo Master Universitario perché lo ritengo efficiente nei suoi contenuti teorici e pratici, ma soprattutto di una qualità professionale non indifferente.

Ciò non significa che esso sia un traguardo di formazione, anzi molto probabilmente trattasi di una partenza dalla quale il nostro mondo professionale sembra assumere caratteri e colori ben differenti da quelli precedenti.

Chiusa questa breve parentesi debbo dire che la scelta del tema svolto è avvenuta per una mia volontà di approfondire l’argomento, soprattutto perché noto nella pratica clinica una frequenza importante di coinvolgimento del complesso stabilizzante del rachide cervicale.

Molte possono essere le cause da dover prendere in esame, da un incremento notevole dei traumi, in particolar modo quelli stradali, a l’evoluzione di professioni che richiedono la ripetizione continua di gesti particolari o il mantenimento prolungato nel tempo di una posizione posturale statica.

Credo che l’analisi scaturita dalla revisione della letteratura scientifica presente sia soddisfacente e dia un quadro chiaro su come debba essere l’approccio a simili patologie.

Detto ciò rimando voi tutti alla lettura seguente sperando di essere stato chiaro nella esposizione dei concetti esaminati e pratico nell’organizzazione degli stessi.

## ASPETTI ANATOMO-FISIOLOGICI

Come tutti sappiamo il rachide cervicale (Fig.1), funzionalmente parlando, deve garantire contemporaneamente mobilità, stabilità e protezione del Sistema Nervoso Centrale che si trova al suo interno.



Fig.1 – rachide cervicale

Detto in questi termini l'impressione che si dà è riduttiva, invece esso deve svolgere un lavoro non indifferente e il tutto si complica quando pensiamo che la sua muscolatura è intimamente relazionata al sistema riflesso, e quindi interessa anche la stabilizzazione della testa e degli occhi, il sistema propriocettivo, la funzione vestibolare, l'orientamento posturale e l'equilibrio del corpo.

Noi ci occuperemo esclusivamente della stabilità e in modo particolare dell'esercizio terapeutico, cercando di capire se esso sia efficace o meno nella stabilizzazione attiva del rachide cervicale.

Tutti usano il termine “stabilità” ma questi hanno una varietà di concetti e definizioni differenti quando lo usano.

Frymoyer definì l'instabilità segmentale come una perdita di compattezza del movimento spinale così che le forze di applicazione a quel movimento producono degli spostamenti maggiori di quelli che dovrebbero essere visti in strutture normali, risultanti in condizioni dolorose, potenziali per deformità progressive e strutture neurologiche a rischio.

Diversi autori si sono occupati della stabilità della colonna, ma quelli più incisivi sono Panjaby M. e Vleeming, i quali hanno sviluppato un modello di stabilità artrogenico simile e costituito da tre sottosistemi (Tab.1):

<b>Panjaby M.</b>	<b>Vleeming et al.</b>
Sottosistema passivo	Chiusura di forma
Sottosistema attivo	Chiusura di forza
Sistema di controllo neuromuscolare	Controllo motorio

Tab. 1 – modelli di stabilità artrogenici

In sintesi si può dire che le vertebre, i dischi intervertebrali e i legamenti fanno parte del sottosistema passivo, mentre i muscoli e tendini costituiscono il sottosistema attivo.

Infine il sottosistema neurale comprende il sistema nervoso centrale e i nervi. Questi determinano le richieste di stabilità spinale, monitorando i vari input sensoriali afferenti, e inviano segnali al sistema muscolare, proprio per dare risposta a tali bisogni di stabilità.

Infatti i continui cambiamenti posturali e i carichi statici e dinamici a cui siamo sottoposti determinano le molteplici richieste di stabilità spinale.

Sempre Panjabi M., nei suoi studi, cerca di spiegarci il funzionamento del complesso affermando che le componenti del sistema passivo non sono partecipi alla stabilità del rachide quando esso si trova nelle vicinanze della posizione neutra. Infatti esse sviluppano forze reattive resistenti ai movimenti spinali quando questi si trovano a fine corsa. Molto probabilmente nelle posizioni neutre si comportano come trasduttori (dispositivi di produzione del segnale) per attuare la misurazione dei movimenti e delle posizioni vertebrali; sono quindi parte del sistema di controllo neurale.

Nel sistema attivo la stessa funzione di controllo della magnitudine della forza generata è svolta dai trasduttori posti nei tendini dei muscoli stessi.

Quindi, per concludere, il sistema di controllo neurale riceve continue informazioni da parte dei trasduttori, determina specifiche richieste di stabilità spinale e induce il sistema attivo al raggiungimento dell'obiettivo di stabilità, monitorando e se necessario aggiustando la tensione dei muscoli individuali fino alla esecuzione delle richieste pervenute (Fig.2).

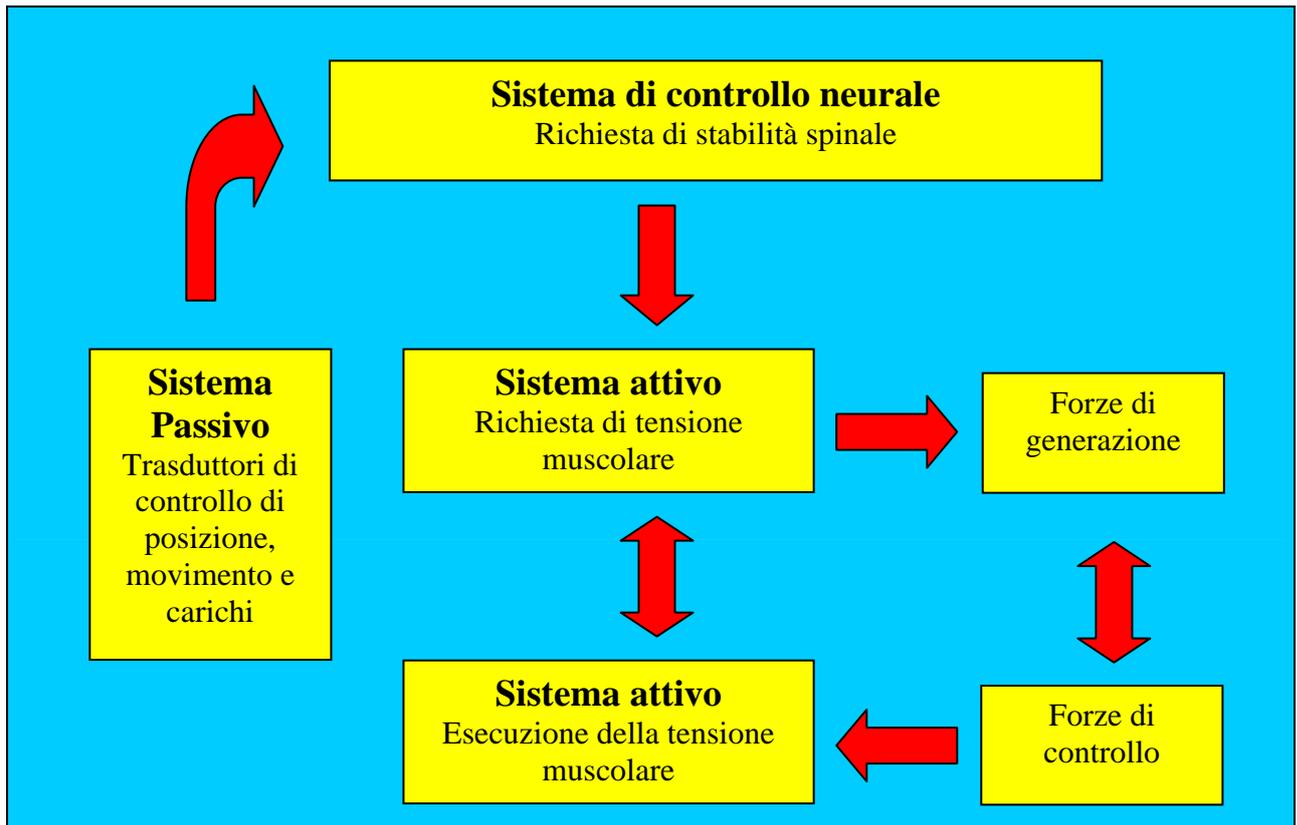


Fig.2 – funzionamento del sistema di stabilizzazione spinale.

Quanto detto ci fa capire che i diversi sottosistemi, seppur concettualmente separati, sono funzionalmente dipendenti l'uno dall'altro e il sorgere di un qualsiasi problema ad uno di essi comporta necessariamente il coinvolgimento globale del complesso stesso.

Qualche anno prima, e precisamente nel 1989, uno studioso dal nome Bergmark A. distinse a livello funzionale i muscoli spinali in globali e locali. I primi, con andamento più superficiale, offrono un supporto alla colonna intera e resistono ai carichi esterni. I secondi, giacenti su un piano profondo e con origine e inserzione sulle vertebre, sono interessati al supporto dei segmenti spinali e quindi deputati al controllo della stabilizzazione attiva segmentale.

Analizzando l'anatomia a livello dei segmenti vertebrali della regione cervicale si può facilmente osservare la composizione architettonica muscolare e capire l'organizzazione dei muscoli stessi (Fig.3).

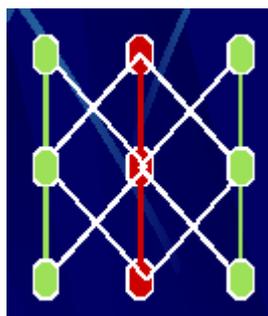
Fig.3 – disposizione architettonica dei sistemi di stabilizzazione dei segmenti vertebrali.

in verde: – sistema intertrasversario

in rosso: – sistema interspinoso

in bianco: – sistema spinotrasverse

– sistema trasversospinale



Qui di seguito andrò ad elencare i muscoli che costituiscono i diversi sistemi di stabilizzazione del rachide, in particolare quello cervicale (Tab.2).

Sistemi muscolari locali	Stabilizzatori globali
<p><b>Sistema longitudinale interspinale:</b>  <i>musc. Spinale cervicale</i>  <i>musc. Interspinale</i>  <i>musc. Lungo del collo(fibre longitudinali)</i></p> <p><b>Sistema longitudinale intertrasversario:</b>  <i>musc. Scaleni</i>  <i>musc. Lunghissimo del capo</i>  <i>musc. Lunghissimo del collo</i>  <i>musc. Intertrasversari(anteriori e posteriori)</i></p> <p><b>Sistema diagonale spino-trasverse:</b>  <i>musc. Multifido</i>  <i>musc. Spinale</i>  <i>musc. Semispinale del collo</i>  <i>musc. Lungo del capo</i>  <i>musc. Lungo del collo(parte superiore obliqua)</i></p> <p><b>Sistema diagonale traverso-spinale:</b>  <i>musc. Splenio</i>  <i>musc. Lungo del collo(parte inferiore obliqua)</i></p>	<p><i>musc. Platisma</i>  <i>musc. Sternocleidomastoideo</i>  <i>musc. Trapezio</i>  <i>musc. Elevatore della scapola</i>  <i>musc. Sovraioideo</i>  <i>musc. Infraioideo</i></p>

Tab.2 – composizione dei sistemi muscolari locali e globali del rachide cervicale.

Successivamente Panjabi introduce nei suoi studi il concetto di “zona neutra” per meglio spiegare il funzionamento della stabilità segmentale.

Egli definisce la zona neutra quella regione di movimento intervertebrale attorno alla posizione neutra dove resistenze molto piccole sono date dal sistema passivo della colonna spinale. Inoltre prosegue affermando che essa sembra sia clinicamente una misura importante della stabilità funzionale del rachide. Può aumentare con lesione della colonna spinale o debolezza muscolare e diminuire, essendo portata all’interno dei limiti fisiologici, da formazioni di osteofiti e dalla forza muscolare.

## CENNI DI CLINICA PATOLOGICA

Nel precedente capitolo ho provato a spiegare la funzionalità del sistema di stabilizzazione del rachide, in particolar modo quello cervicale. La mia attenzione si è focalizzata sulle modalità di funzionamento del suddetto sistema, in soggetti sani.

In questa sezione mi occuperò maggiormente delle manifestazioni cliniche dell'instabilità del rachide e cosa questa condizione determina a livello anatomico-fisiologico.

La nostra professione ci porta quotidianamente a contatto diretto con diagnosi e cura di soggetti che si presentano a noi con dolore e disfunzione cervicale.

Diversi autori, tipo Derrick e Chesworth nel 1992, hanno proposto la riduzione della stabilità del rachide cervicale come significativa causa, tra le tante, di dolore al collo.

L'instabilità si può presentare con importanti lesioni a discapito delle strutture passive frenanti, come ad esempio stretch o rotture dei legamenti vertebrali, creando situazioni di impingement osseo, segni e sintomi neurologici o compressione del tessuto vascolare; questa manifestazione caratterizza l'Instabilità Maggiore.

La sua diagnosi è eseguita in base all'anamnesi e alla presentazione clinica con eventuale conferma da parte delle immagini diagnostiche.

Una ulteriore condizione, determinata dalla riduzione della capacità del sistema di stabilizzazione del rachide a mantenere la zona neutra intervertebrale all'interno dei limiti fisiologici, viene descritta come Instabilità Cervicale Minore.

Le sue caratteristiche cliniche non prevedono disfunzioni neurologiche, né deformità maggiori o dolore invalidante. I segni e sintomi che frequentemente si associano a questa patologia includono dolore cervicale, disturbi tipo blocchi cervicali, debolezza e riduzione del controllo muscolare, alterazione del “range of motion” e per concludere una storia passata di un evento traumatico maggiore o ripetitivi microtraumi.

Nel 2004 Niere e Torney eseguirono uno studio proprio sulla Instabilità Cervicale Minore coinvolgendo un totale di 153 fisioterapisti australiani qualificati in terapia manipolativa e con esperienze nella gestione di problematiche cervicali. Questi dovevano completare un questionario che richiedeva loro di indicare 15 caratteristiche cliniche importanti nella diagnosi di Instabilità Minore. Gli autori si prefiggevano lo scopo di indagare i clinici circa

l'identificazione delle caratteristiche che la maggioranza pensava essere importante per una diagnosi di questa condizione.

I risultati furono che più del 50% dei testati considerarono di fondamentale importanza un eccessivo end-feel libero durante l'esecuzione di tecniche di palpazione o racconti di episodi di blocchi e inceppamenti; inoltre uno scarso controllo muscolare, storia passata di trauma maggiore e ipermobilità ai raggi X. Anche condizioni tipo spondilolistesi e microtraumi ripetuti venivano segnalati frequentemente come molto importanti.

Poco menzionate risultarono le cefalee, il dolore cervicale e lo spasmo muscolare, forse perché questi sintomi possono coesistere in molte altre problematiche cervicali e quindi non essere specifici per l'Instabilità Cervicale Minore.

Sfortunatamente non c'è uno standard di diagnosi per l'Instabilità Minore e nemmeno un pattern specifico di manifestazione, infatti essa rimane clinicamente derivata da ipotesi diagnostiche.

Analizzando la letteratura presente su questo argomento ho potuto notare che i soggetti coinvolti in modo maggiore nella ridotta capacità di stabilizzazione del rachide cervicale sono principalmente coloro che lamentano dolori al collo da diverso tempo oppure che hanno subito un colpo di frusta a causa di un trauma maggiore.

Infatti è proprio in queste condizioni di disfunzioni croniche o in traumi da accelerazione del rachide cervicale che vengono a crearsi i presupposti di base dell'Instabilità Minore.

Negli ultimi anni parecchi autori hanno preso in considerazione queste problematiche e i risultati affiorati sono assai interessanti.

Winters e Peles nel 1990 effettuarono uno studio i cui risultati dimostrarono che l'attività dei muscoli superficiali in assenza dell'attività muscolare profonda cervicale causa formazioni spinali e instabilità segmentale, infatti il lavoro della muscolatura profonda consolida la stabilità dei segmenti del rachide.

Nel 1995 Uhlig Y. e colleghi analizzarono i muscoli cervicali di alcuni soggetti con disfunzioni a tale livello, studiando in particolare il tipo di fibre di cui erano composti, e videro che c'era una trasformazione della fibra muscolare di tipo I in fibra di tipo II.

La fibra muscolare di tipo I (Fig.4a), o fibra rossa, è caratterizzata da contrazioni lente e a carattere tonico. Contiene abbondante mioglobina ed è ricca di mitocondri; dal punto di vista metabolico è dotata di enzimi ossidativi, ma è carente di fosfatasi.

Al contrario la fibra muscolare di tipo II (Fig.4b), anche detta fibra bianca, è in grado di garantire contrazioni rapide ed è caratterizzata metabolicamente dalla prevalenza delle

fosfatasi sugli enzimi ossidativi; il suo sarcoplasma è ricco di glicogeno ed è povero di mitocondri.

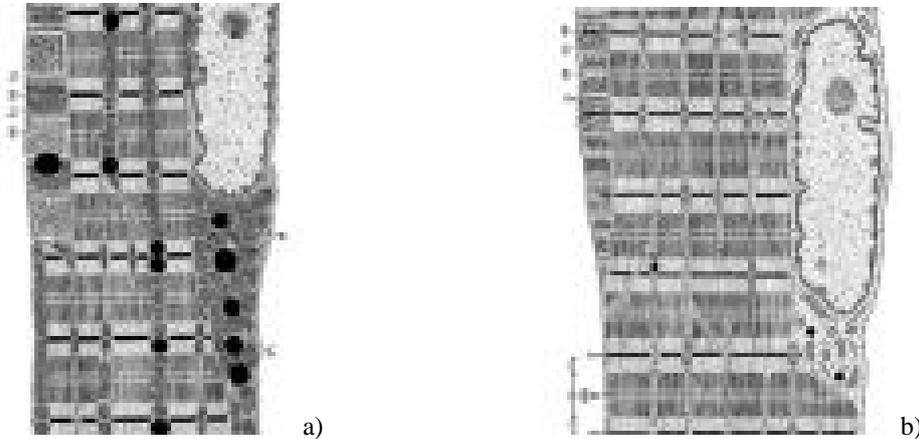


Fig.4 – a) fibra muscolare rossa, tipo I b) fibra muscolare bianca, tipo II

I segni delle trasformazioni della fibra furono osservati in tutti i muscoli investigati ed evidenziati dal relativo incremento della quantità di fibra IIC (fibra di tipo intermedio, transizionale). In questo studio fu inoltre notato che le trasformazioni avvenivano indipendentemente dal tipo di muscolo (più fascico o tonico), dal sesso e dall'età del paziente, dal tipo di condizione clinica in atto e dalla presenza di deficit neurologici addizionali.

Dai risultati degli autori si determina anche che queste trasformazioni si presentano più velocemente nei muscoli ventrali, e quindi flessori, piuttosto che in quelli dorsali e che queste procedono con senso direzionale da fibre di tipo lento ossidative (fibre tipo I) verso fibre veloci glicolitiche (fibre tipo II).

Già qualche anno prima diversi autori si erano occupati di disfunzioni cervicali, in particolare Treleaven e collaboratori nel 1994 evidenziarono, in seguito ad una lesione minore del capo, una dolorosa e non funzionale articularità del tratto cervicale superiore con abbinata una ridotta capacità di resistenza dei muscoli flessori e una più alta incidenza di muscolatura cervicale rigida.

Inoltre Vernon nel 1992, in uno studio comparativo di forza isometrica cervicale, trovò una riduzione di forza in soggetti sintomatici rispetto a quelli asintomatici. C'era uno squilibrio con direzione antero-posteriore nei soggetti con dolore cervicale, con i muscoli flessori che divenivano relativamente più deboli rispetto ai muscoli estensori.

Queste sopra elencate sono le condizioni cliniche principali che caratterizzano i soggetti instabili a livello cervicale. Molti sono gli studi effettuati su disfunzioni coinvolgenti il tratto cervicale della colonna vertebrale e parecchi ancora si trovano in fase di svolgimento.

Spero di essere riuscito ad effettuare una buona selezione della letteratura scientifica in modo da capire meglio le caratteristiche cliniche con le quali abbiamo a che fare con questo tipo di pazienti.

## EVIDENZA SCIENTIFICA ED EFFICACIA DELL’ESERCIZIO TERAPEUTICO

A questo punto, dopo aver fatto riferimento all’anatomo-fisiologia e alla clinica delle instabilità minori del tratto cervicale, cercherò di valutare l’evidenza scientifica per quanto riguarda l’esercizio terapeutico.

G. Jull con alcuni studi effettuati nel 1999 e 2000 dimostrò l’efficacia di un test a basso carico, il test di flessione cranio-cervicale, per analizzare l’attività dei muscoli flessori profondi cervicali (Fig.5), Lungo del Capo (o della Testa) e Lungo del Collo in particolare.

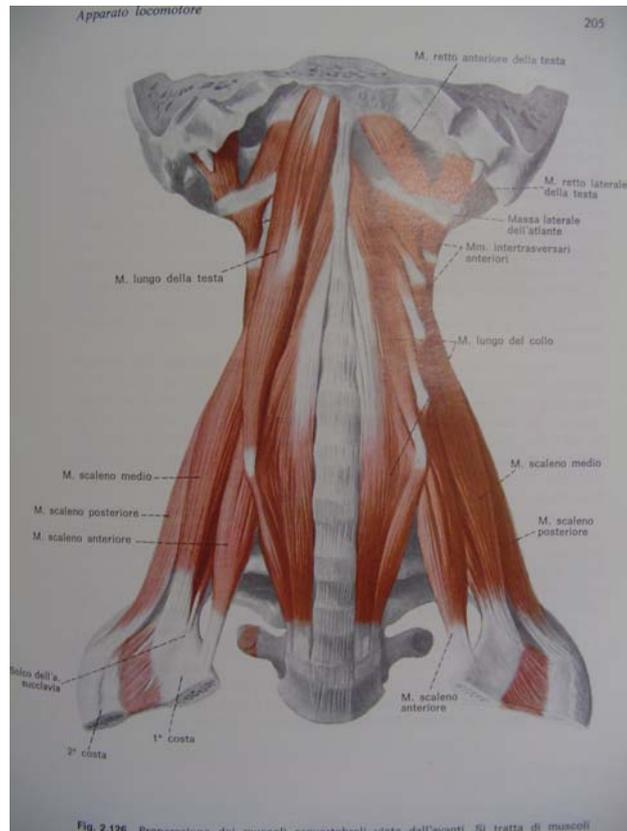


Fig.5 – muscoli flessori profondi cervicali

Questo test è stato designato per esaminare le abilità toniche di contrazione dei suddetti muscoli e si basa su fondamenti anatomici. Infatti la flessione cranio-cervicale, o il movimento dell’accenno del sì con il capo, è una prerogativa dei muscoli Lungo del Collo e Lungo del Capo e non dell’azione degli altri muscoli flessori superficiali quali gli Sternocleidomastoidei e gli Scaleni che dal canto loro flettono la cervicale, ma non il capo.

Proprio Jull nel 1999 ipotizza un’alterata strategia neuro-motoria nella sinergia dei flessori cervicali in condizioni di dolore.

Nel test di flessione cranio-cervicale al soggetto, disteso alla supina, è chiesto di eseguire un movimento lento di accenno del sì con il capo in cinque stadi progressivi con partenza da una posizione neutra della testa. Per testare il livello di impegno motorio il paziente pone sotto la propria cervicale una unità pressoria (Stabilizer, Chattanooga USA, fig.6) dotata di un display come feedback visivo. L’appiattimento della lordosi cervicale, risultante dalla contrazione del Lungo del Collo (Mayoux-Benhamou 1994), favorisce lo schiacciamento del cuscinetto il quale segnala sul display l’incremento pressorio in mmHg (millimetri di mercurio).



fig.6- cuscinetto pressorio Stabilizer.

Sempre Jull G. nei suoi studi ha esaminato la performance di esecuzione del test in soggetti affetti da cefalea cervicogenica e in altri con disturbi associati al “whiplash”.

I risultati indicarono che questi pazienti erano meno capaci di raggiungere e mantenere i progressivi livelli del test rispetto ai soggetti in salute. Da ciò si può dedurre una disfunzione dei muscoli flessori profondi cervicali. La deduzione sta nel fatto che non è possibile avere una misura diretta di questi muscoli.

Nello studio di Jull del 2000 con soggetti aventi disturbi associati al whiplash e in un successivo studio di Sterling M. del 2001, in pazienti con dolore cervicale cronico, è stato riscontrato un segnale elettromiografico più ampio nei muscoli Sternocleidomastoidei.

Nel 1997 un certo Cholewicki ipotizzò che una incrementata attività dei muscoli cervicali superficiali avrebbe potuto essere una compensazione misurabile per una ridotta stabilità segmentale.

Inoltre nel 2003 Falla D. e coll. dimostrarono la validità delle fasi del test cranio-cervicale riscontrando l’incremento dell’attività dei muscoli Lungo del Collo e Lungo del Capo in

ognuno dei cinque livelli. Contemporaneamente monitorarono l'attività dei muscoli superficiali elettromiograficamente e notarono che solo il valore della contrazione dei muscoli flessori cervicali profondi aumentava significativamente nei livelli più bassi del test e questa era proporzionalmente più alta in tutti i livelli piuttosto che nei muscoli flessori superficiali.

Quest'ultima considerazione sostiene le ipotesi per le quali è possibile effettuare un allenamento specifico dei muscoli flessori profondi cervicali attraverso l'utilizzo del test cranio-cervicale e dello Stabilizer come feedback visivo, al fine di migliorare le performance di contrazione dei muscoli in esame e quindi di riflesso aumentare la capacità di stabilizzazione segmentale del rachide cervicale.

Il programma terapeutico da proporre dovrebbe avere come obiettivo primario un recupero selettivo della contrazione e del controllo dei muscoli flessori profondi così da restituire supporto e controllo motorio alla regione cervico-brachiale basandosi sui principi di allenamento di Sweeney e Richardson. Una volta che il soggetto abbia raggiunto un buon pattern di reclutamento dei muscoli in esame, in concomitanza ad un incremento della loro resistenza, sarà doveroso integrare questo lavoro con esercizi che richiamino i gesti funzionali del quotidiano dei pazienti.

Cercando di analizzare in modo più specifico l'operato del riabilitatore, è opportuno precisare che l'informazione del paziente sul lavoro che andremo a svolgere e sugli obiettivi cui questo si centra è di fondamentale importanza, infatti il concetto di controllo motorio potrebbe non essergli familiare.

Successivamente dovremo insegnargli la corretta flessione cranio-cervicale chiedendogli di eseguire un movimento di accenno del “sì” in modo molto lento e gentile con il capo. Per facilitare tale gesto si potrebbe usare il movimento degli occhi e guidare la testa, accennando l'azione. Inoltre si potrebbe far porre la lingua sulla radice della bocca, le labbra unite e i denti appena separati, per scoraggiare l'azione di compenso dei muscoli Platisma e Ioideo.

Il soggetto dovrà mantenere il livello di allenamento finché non sarà capace di eseguire 10 ripetizioni di una durata di 10 sec. l'una per poi progredire di livello sino ad effettuare i 5 stadi del test di flessione cranio-cervicale.

In principio ho esaminato i compiti cui deve svolgere il rachide cervicale e le sue intime relazioni con le funzioni riflesse. Proprio per tenere fede a queste caratteristiche che l'allenamento deve considerare anche il ripristino della stabilità scapolo-toracica, il corretto assetto posturale, la funzione propriocettiva e il senso kinestesico e, per terminare, l'equilibrio stesso del corpo.

Per quanto riguarda la stabilità scapolo-toracica, più frequentemente vengono coinvolti nel riallenamento i muscoli Serrato Anteriore e Trapezio (fibre inferiori) in contrazioni isolate prima e incorporando esercizi di controllo posturale e attività funzionale dell'arto superiore e della regione cervico-brachiale poi.

La postura del corpo è fondamentale sia per eseguire un allenamento corretto che per ricevere informazioni adeguate da parte dei segmenti corporei. Quindi è opportuno che il soggetto sia disteso supino con un buon allineamento delle parti e successivamente che abbia una correzione mediante posizione pelvica neutra in aggiunta a controllo della posizione scapolare.

Esercizi mirati al senso dell'equilibrio del corpo sono doverosi soprattutto in quei soggetti che hanno subito un trauma da accelerazione del rachide cervicale e che si lamentano di mancata stabilità.

Una volta che il paziente può eseguire una contrazione volontaria dei flessori profondi e riesce a mantenere la contrazione sia in posizione supina che eretta lo scopo del trattamento è l'integrazione delle abilità motorie in un normale lavoro funzionale statico e dinamico.

## CONCLUSIONI

Credo che il lavoro svolto in questo contesto sia servito per meglio interpretare l’andamento clinico e sintomatologico dei soggetti presi in esame.

Per quanto mi riguarda ho ampliato le mie conoscenze al riguardo e il fatto che tutto questo sia supportato da una evidenza scientifica, e non sia solo una mera convinzione di un qualsiasi individuo, mi conforta e gratifica allo stesso tempo.

È opportuno dire che ciò non si è presentato in modo semplice, infatti la difficoltà è risultata nel reperire gli articoli stessi per poi analizzarli e integrarli con gli altri.

Comunque l’obiettivo che mi ero proposto all’inizio, e cioè di verificare l’efficacia dell’esercizio terapeutico nell’ambito delle stabilizzazioni attive del rachide cervicale, è stato raggiunto con notevole soddisfazione personale.

Infatti la letteratura scientifica riportata precedentemente inquadra in modo chiaro e definito le problematiche risultanti in un quadro patologico da instabilità minore del rachide cervicale. Inoltre dimostra il ruolo fondamentale che ricopre l’esercizio e sostiene il fatto che sia possibile allenare in modo analitico le strutture coinvolte, per migliorare la loro proprietà di contrazione isolata e resistenza in un primo momento e poi integrare il tutto in un contesto dinamico e funzionale in base alle esigenze del paziente.

Debbo aggiungere che parecchi studi si trovano in una fase di “lavori in corso” e molti altri verranno, quindi il consiglio che mi sento di dare ai colleghi è quello di tenersi in continuo aggiornamento poiché nel giro di poco tempo le evidenze al riguardo potrebbero arricchirsi e contemporaneamente affinare il nostro operato.

## BIBLIOGRAFIA

1. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part I. Function, dysfunction, adaptation, and enhancement. *J Spinal Disord.* 1992 Dec; 5(4): 383-9.
2. Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl.* 1989;230:1-54.
3. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord.* 1992 Dec;5(4):390-6.
4. Derrick L, Chesworth B. Post-motor vehicle accident alar ligament laxity. *J Orthop. and Sport Physical Therapy* 1992; 16: 6-11.
5. Niere KR, Torney SK. Clinicians' perceptions of minor cervical instability. *Man Ther.* 2004 Aug;9(3):144-50.
6. Winters JM, Peles JD, Osterbauer PJ, Derickson KL, DeBoer KF, Fuhur AW. Three-dimensional head kinematics and clinical outcome of patients with neck injury treated with spinal manipulative therapy: a pilot study. *J Manipulative Physiol Ther.* 1992 Oct;15(8):501-11.
7. Uhlig Y, Weber BR, Grob D, Muntener M. Fiber composition and fiber transformations in neck muscles of patients with dysfunction of the cervical spine. *J Orthop Res.* 1995 Mar;13(2):240-9.
8. Treleaven J, Jull G, Atkinson L. Cervical musculoskeletal dysfunction in post-concussional headache. *Cephalalgia.* 1994 Aug;14(4):273-9.
9. Vernon HT, Aker P, Aramenko M, Battershill D, Alepin A, Penner T. Evaluation of neck muscle strength with a modified sphygmomanometer dynamometer: reliability and validity. *J Manipulative Physiol Ther.* 1992 Jul-Aug;15(6):343-9.
10. Jull G, Barrett C, Magee R, Ho P. Further clinical clarification of the muscle dysfunction in cervical headache. *Cephalalgia.* 1999 Apr;19(3):179-85.
11. Dall'Alba PT, Sterling MM, Treleaven JM, Edwards SL, Jull G. Cervical range of motion discriminates between asymptomatic persons and those with whiplash. *Spine.* 2001 Oct 1;26(19):2090-4.

12. Mayoux-Benhamou MA, Revel M, Vallee C, Roudier R, Barbet JP, Bary F. Longus colli has a postural function on cervical curvature. *Surgical Radiologic Anatomy* 1994; 16: 367-71.
13. Sterling M, Jull G, Wright A. The effect of musculoskeletal pain on motor activity and control. *J of Pain* 2001; Jun 2(3): 135-45.
14. Cholewicki J, Panjabi MM, Khachatryan A. Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine. *Spine*. 1997 Oct 1;22(19):2207-12.
15. Falla D, Campbell CD, Fagan AE, Thompson DC, Jull G. Relationship between cranio-cervical flexion range of motion and pressure change during the cranio-cervical flexion test. *Man Ther*. 2003 May;8(2):92-6.
16. Richardson CA, Jull G, Hodges PW, et al. Therapeutic exercise for spinal segmental stabilization in Low back Pain. *Scientific Basis and clinical Approach* 1999. Edinburgh: Churchill Livingstone.
17. Sweeney T, Prentice C, Saal JA, et al. Cervicothoracic muscular stabilization techniques. *J Phys Med and Rehab*. 1990; 4(2): 335-59.