



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Facoltà di medicina e Chirurgia

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

Anno Accademico 2009/2010
Campus Universitario di Savona

*In collaborazione con Master of Science in Manual Therapy
Vrije Universiteit Brussel*



“CORRELAZIONE TRA NECK PAIN E ALTERATA ATTIVAZIONE DEI MUSCOLI RESPIRATORI ACCESSORI: VALUTAZIONE E TRATTAMENTO”

Candidato:

Dott. Sebastiano Morassi

Relatore:

Dott. OMT Andrea Zimoli

INDICE

ABSTRACT	4
-----------------------	----------

INTRODUZIONE.....	6
--------------------------	----------

CAP. 1 - LA MECCANICA RESPIRATORIA.....	10
--	-----------

1.1 - LA FUNZIONE RESPIRATORIA	10
--------------------------------------	----

1.2 - ANATOMIA DEL SISTEMA RESPIRATORIO	11
---	----

1.3 - L'INSPIRAZIONE.....	12
---------------------------	----

1.4 - L' ESPIRAZIONE.....	14
---------------------------	----

1.5 - FATTORI CHE INFLUENZANO LA VENTILAZIONE POLMONARE.....	15
---	----

1.6 - SIGNIFICATO CLINICO DEI VOLUMI RESPIRATORI E DEI FLUSSI D'ARIA	16
---	----

CAP. 2 - MATERIALI E METODI.....	18
---	-----------

CAP. 3 - DISCUSSIONE	20
-----------------------------------	-----------

ARTICOLO 1	20
------------------	----

ARTICOLO 2.....	23
ARTICOLO 3.....	26
ARTICOLO 4.....	31
ARTICOLO 5.....	37
CONCLUSIONI	41
ALLEGATO 1	43
BIBLIOGRAFIA	44

ABSTRACT

Introduzione - Molto spesso quando ci si trova di fronte a pazienti con dolore al collo cronico o in fase acuta, è possibile notare importanti contratture a scaleni o sternocleidomastoidei: lo scopo di questa tesi è quella di verificare le maggiori evidenze scientifiche che trattano la correlazione tra il dolore al collo e l'alterata attivazione della muscolatura respiratoria e quali indicazioni al trattamento emergano dalla revisione scientifica.

Materiali e metodi - La ricerca è stata effettuata sfruttando le banche dati dell'Università degli Studi di Genova e il Sistema Bibliotecario Biomedico Lombardo, utilizzando motori di ricerca come Pubmed, Medline, Embase, Pedro, Chinal, Chocrane Library, Cirrie e Naric.

Per esaminare queste banche dati è stata sviluppata una strategia di ricerca combinando sia parole in libera (neck pain, muscle respiration, sternocleidomastoideus, scalenus), sia descrittori specifici delle varie banche dati (AND); non sono stati posti limiti per lingua o anni di pubblicazione. Una volta stabiliti i metodi di ricerca sono state selezionate 5 pubblicazioni.

Discussione e conclusioni - I 5 articoli selezionati sono stati analizzati secondo una specifica scheda di rilevazione dati, incentrata sui seguenti punti: titolo, autore, rivista, anno di pubblicazione, obiettivi valutati, impianto metodologico (tipologia dei pazienti e misure di outcome) e risultati.

Tuttavia non sono stati trovati studi che confermino, attraverso risultati statisticamente significativi, una reale correlazione tra neck pain e alterata attivazione della muscolatura respiratoria (iper o ipo attivazione).

Tutti gli studi analizzati hanno, indubbiamente, evidenziato un affaticamento dei muscoli sternocleidomastoidei e scaleni anteriori in soggetti affetti da dolore al collo cronico, ma non hanno giustificato una possibile influenza che queste condizioni muscolari potessero causare sulla meccanica respiratoria.

Key words - Neck pain, muscle of respiration, scalenus, sternocleidomastoideus, intercostal muscles, diaphragm, mechanism of respiration.

INTRODUZIONE

Durante la pratica clinica ho avuto modo di osservare le diverse tipologie di neck pain: alcune di queste sono influenzate da alterate posture mantenute nel tempo e da importanti contratture a livello di alcuni muscoli accessori della respirazione, in particolare sternocleidomastoideo e scaleni anteriori.

Da qui nasce l'interesse ad approfondire le eventuali correlazioni tra neck pain e iperattivazione della muscolatura respiratoria.

Il primo passo per la stesura di questo elaborato è stato quello di studiare se e come possono migliorare le performance motorie e le attività della vita quotidiana in presenza di una sintomatologia di questo tipo. Per fare ciò, ho effettuato una revisione bibliografica, servendomi delle banche dati dell'Università degli Studi di Genova e del Sistema Bibliotecario Biomedico Lombardo (SBBL) e sfruttando motori di ricerca come Pumbed, Medline, Embase, Pedro, Chinal, Chocrane Library, Cirrie e Naric.

Prima di entrare nel merito della trattazione, è importante sottolineare alcuni punti chiave della meccanica respiratoria fisiologica.

La respirazione a riposo interessa solo il diaframma, ma la respirazione sotto sforzo coinvolge vari muscoli, detti accessori, il cui ruolo è coerente per quanto riguarda solo lo scopo da raggiungere: allargare la cavità toracica.¹

Per allargare questa cavità si valorizzano:

- Verso il basso, l'abbassamento del diaframma;
- Verso l'altro, gli scaleni e lo sternocleidomastoideo;
- Lateralmente, i grandi dentati;
- Per i quadranti superiori, i piccoli e grandi pettorali;
- Per i quadranti inferiori, i piccoli dentati postero-inferiori.

Quindi i piccoli dentati postero-inferiori sono inspiratori e non espiratori, anche se abbassano le ultime quattro coste.

L'insieme della gabbia toracica, vista di profilo, si comporta come una fisarmonica che sia alza superiormente e si abbassa inferiormente. L'insieme di queste due influenze, apparentemente contraddittorie, si completa nell'inspirazione con l'espansione della cavità toracica. Tale coerenza funzionale ci permette di capire la relazione ossea tra lo sterno e le prime sei coste, che insieme ad esso si sollevano nell'inspirazione.²

A causa della sua forma, la cartilagine costale immagazzina alcune tensioni dovute all'estensione e alla torsione della costa, che effettua una rotazione esterna per ridare energia all'espirazione.¹

Dalla settima alla decima costa, l'azione principale è l'allontanamento laterale nell'inspirazione; per la decima, undicesima e dodicesima costa, l'allontanamento si unisce alla discesa e all'arretramento.

Il diaframma, comportandosi come ogni altro muscolo, può solo avvicinare le inserzioni periferiche; quindi l'allontanamento delle coste inferiori non è dovuto ad una sua azione, ma all'appoggio sul sacco peritoneale che perde in altezza, ma si allarga trasversalmente provocando l'allontanamento delle coste. Tale allontanamento viene valorizzato dai grandi dentati.²

In conclusione, la respirazione può comprendere:

- La testa, con gli sternocleidomastoidei;
- La colonna cervicale, con gli scaleni;
- Il cingolo scapolare, con i piccoli pettorali;
- Le braccia, con i grandi pettorali;
- La colonna dorsale, con i piccoli dentati postero-superiori e i grandi dentati e romboidi;
- La colonna lombare, con i piccoli dentati postero-inferiori e con i pilastri del diaframma;
- Il bacino e le anche, con il quadrato dei lombi e con l'ileo-psoas.

Da ciò si potrebbe ipotizzare che esista una stretta correlazione tra disturbi muscoloscheletrici e alterata meccanica respiratoria. Lo scopo di questo elaborato è quello di verificare la presenza, nella

letteratura scientifica mondiale, di articoli che descrivano l'esistenza di questa correlazione.

CAP. 1 - LA MECCANICA RESPIRATORIA

1.1 - LA FUNZIONE RESPIRATORIA

La respirazione è il processo che consente gli scambi gassosi e include la respirazione interna ed esterna. I quattro processi della respirazione esterna sono:

- La ventilazione polmonare;
- Lo scambio di ossigeno e anidride carbonica tra gli spazi aerei polmonari e il sangue;
- Il trasporto di ossigeno e anidride carbonica nel sangue;
- Lo scambio di ossigeno e anidride carbonica tra il sangue e i tessuti.

Tra le funzioni del sistema respiratorio vi sono la fornitura di ossigeno ai tessuti e l'eliminazione di anidride carbonica, il mantenimento dell'equilibrio acido-base nel sangue, la fonazione e la protezione contro i fattori patogeni ed irritanti che si trovano nell'aria.³

1.2 - ANATOMIA DEL SISTEMA RESPIRATORIO

Le vie respiratorie superiori includono la cavità nasale, la cavità orale e la faringe. Dopo la faringe, che costituisce una via di passaggio comune per l'aria e per il cibo, le vie per il passaggio di questi elementi divergono.

Il tratto respiratorio forma la via per l'aria e può essere diviso funzionalmente in due componenti: la zona di conduzione (laringe, trachea, bronchi e bronchioli) e la zona respiratoria (bronchioli respiratori, dotti alveolari, alveoli e sacchi alveolari).

La zona di conduzione permette il passaggio dell'aria dalla faringe ai polmoni, ed è ricoperta da un epitelio che contiene le cellule a calice e le cellule ciliate.

La zona respiratoria è la sede degli scambi di gas nei polmoni; gli alveoli costituiscono la sede principale di scambio. La parete di un alveolo contiene cellule di tipo I e di tipo II. Le cellule di tipo I e le cellule endoteliali dei capillari formano la membrana respiratoria attraverso cui ha luogo lo scambio gassoso. Le cellule di tipo II secernono la sostanza tensioattiva polmonare. Negli alveoli si trovano anche i macrofagi alveolari.

Le pleure sono membrane che ricoprono la parete toracica e i polmoni, formando il sacco pleurico attorno a ciascun polmone. Lo

spazio tra le due membrane, chiamato spazio intrapleurico, è riempito da un sottile strato di liquido intrapleurico.

La parete toracica è formata dalla gabbia toracica, dallo sterno, dalle vertebre toraciche, dai muscoli e dal tessuto connettivo associati.

I muscoli della parete toracica includono i muscoli intercostali interni ed esterni e il diaframma.²

1.3 - L'INSPIRAZIONE

Il processo inspiratorio descritto nella *Figura 1* ha inizio con la stimolazione nervosa dei muscoli inspiratori. Questi muscoli scheletrici vengono stimolati a contrarsi dal rilascio di acetilcolina a livello della giunzione neuromuscolare.

La contrazione del diaframma ne determina l'appiattimento e l'abbassamento mentre, allo stesso tempo, la contrazione dei muscoli intercostali esterni, fa sì che le coste ruotino verso l'alto e verso l'esterno, espandendo la parete toracica.

Queste azioni combinate aumentano il volume della cavità toracica. Altri muscoli del collo (gli scaleni e gli sternocleidomastoidei, *Fig. 1*) e della regione toracica (i pettorali minori, *Fig.1*) giocano un ruolo sussidiario durante l'inspirazione, in particolar modo durante l'inspirazione forzata.

L'espandersi della parete toracica spinge verso l'esterno il liquido intrapleurico, causando una diminuzione della pressione intrapleurica. Questa diminuzione della pressione intrapleurica determina un aumento della quarta pressione polmonare, la pressione transpolmonare, che corrisponde alla differenza tra la pressione alveolare e quella intrapleurica.

L'aumento della pressione transpolmonare causato dalla diminuzione della pressione intrapleurica, determina una maggiore azione distensiva sui polmoni e gli alveoli si espandono insieme alla parete toracica. Quando i polmoni si espandono, la pressione negli alveoli scende sotto il livello della pressione atmosferica, quindi l'aria fluisce negli alveoli come flusso di volume e continua a fluire finché la pressione negli alveoli non raggiunge il livello di pressione atmosferica.

Contrazioni più forti dei muscoli respiratori determinano una maggiore espansione della cavità toracica, rendendo ancora più negativa la pressione intrapleurica e ancora maggiore quella transpolmonare.

Questo dà luogo ad una maggiore espansione dei polmoni e ad un'inspirazione più profonda, ossia, un maggior volume di aria entra nei polmoni.¹

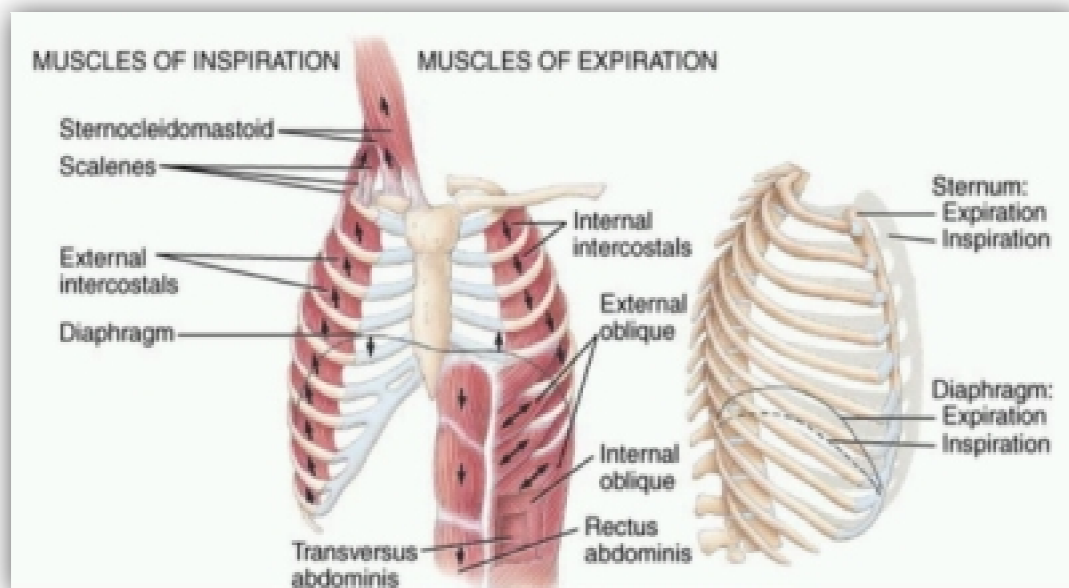


Fig. 1

1.4 - L' ESPIRAZIONE

Durante la respirazione tranquilla, l'espiazione è un processo passivo, in quanto non richiede una contrazione muscolare. Al termine di un'ispirazione la parete toracica e i polmoni risultano espansi in seguito alla contrazione muscolare. Semplicemente rilassando questi muscoli, rilassamento che si verifica nel momento in cui i motoneuroni dei muscoli inspiratori smettono di essere attivi, la parete toracica e i polmoni, che sono strutture elastiche, ritornano alla loro posizione di riposo.

Mentre la parete toracica e i polmoni ritornano alla posizione iniziale, il volume dei polmoni diminuisce, determinando un valore di pressione alveolare maggiore di quella atmosferica. L'aria fluisce quindi verso l'esterno (espirazione), a causa del gradiente di pressione, finché il volume nei polmoni non è pari alla capacità funzionale residua.²

Un' espirazione forzata può essere determinata dalla contrazione dei muscoli espiratori in un processo chiamato espirazione attiva.

La contrazione dei muscoli espiratori produce una maggiore e più rapida diminuzione di volume della cavità toracica, che determina un maggiore aumento della pressione alveolare e quindi del gradiente di pressione che spinge l'aria fuori dagli alveoli.¹

1.5 - FATTORI CHE INFLUENZANO LA VENTILAZIONE POLMONARE

La velocità del flusso d'aria dentro e fuori dai polmoni è determinata dalla grandezza del gradiente di pressione all'origine del flusso e dalla resistenza delle vie respiratorie. I polmoni hanno un'alta complicità; ossia essi possono essere facilmente stirati all'aumentare del volume polmonare durante l'inspirazione.

La resistenza delle vie respiratorie dipende principalmente dal raggio dei condotti del tratto respiratorio. La resistenza delle vie respiratorie è generalmente bassa, ma può essere influenzata dalla meccanica respiratoria, dal sistema nervoso autonomo, da fattori chimici e da stati patologici.²

1.6 - SIGNIFICATO CLINICO DEI VOLUMI RESPIRATORI E DEI FLUSSI D'ARIA

I volumi e le capacità polmonari possono essere misurati utilizzando lo spirometro (*Fig.2*).

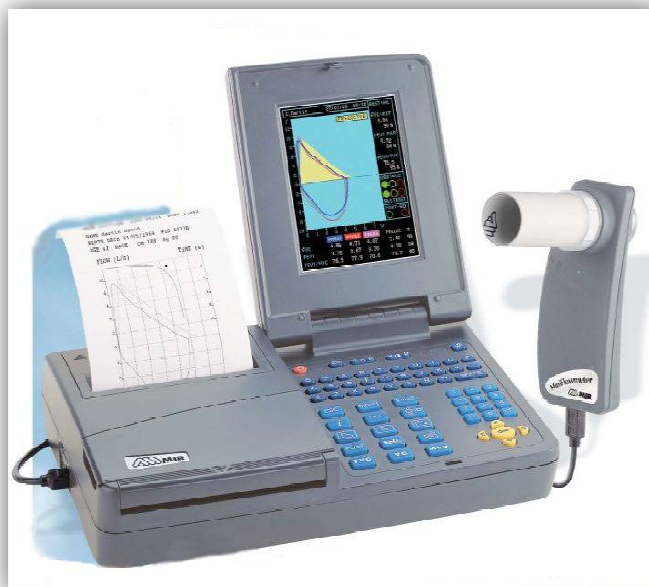


Fig. 2

I volumi polmonari includono il volume corrente, il volume di riserva inspiratoria, il volume di riserva espiratoria e il volume residuo.

Le capacità polmonari includono la capacità inspiratoria, la capacità vitale, la capacità funzionale residua e la capacità polmonare totale.

Altre misure polmonari prendono in considerazione la velocità del flusso d'aria. La capacità vitale forzata è la quantità di aria che un individuo può emettere in seguito ad una inspirazione massimale, espirando, il più velocemente e con maggior forza possibile.

Il volume espiratorio forzato è la misura della percentuale di capacità vitale forzata che può essere esaltata in un certo periodo di tempo.

La ventilazione al minuto è la quantità totale di aria che fluisce dentro e fuori dall'apparato respiratorio in un minuto. La ventilazione alveolare al minuto è una misura del volume di aria nuova che raggiunge gli alveoli ogni minuto e corrisponde alla ventilazione al minuto corretta per il volume di spazio morto.

Per aumentare la ventilazione alveolare al minuto è più efficace aumentare il volume corrente piuttosto che la frequenza respiratoria.²

CAP. 2 - MATERIALI E METODI

Essendo l'obiettivo di questa tesi valutare l'eventuale correlazione tra neck pain e iperattivazione della muscolatura respiratoria, sono state consultate le seguenti banche dati:

- Chocrane Library: database di revisioni bibliografiche e studi clinici controllati, prodotto dalla Chocrane Collaboration
- Medline: circa 4000 riviste recensite, soprattutto statunitensi;
- Embase: circa 4000 riviste recensite, principalmente europee;
- Cinahl: database prodotto dall' Associazione Americana degli infermieri;
- Pedro: database di revisioni bibliografiche e studi clinici controllati in riabilitazione, prodotto dal Centre for Evidence Based Physiotherapy di Sidney (Australia);
- Cirrie: database dell'International Rehabilitation Research;
- Naric: database del National Rehabilitation Information Center.

Per esaminare queste banche dati è stata sviluppata una strategia di ricerca combinando sia parole in libera (neck pain, muscle of respiration, sternocleidomastoideus, scalenus, intercostal muscle, diaphragm), sia descrittori specifici delle varie banche dati (AND); non sono stati messi limiti per lingua o anni di pubblicazione.

Una volta stabiliti i termini di ricerca, ho ottenuto un ristretto numero di articoli da cui, dopo aver letto gli abstract, ho selezionato il full text di 5 pubblicazioni⁴⁻⁸. Questi articoli sono stati poi classificati secondo una precisa scheda di rilevazione dati. (vedi allegato 1).

I criteri di esclusione degli articoli nella revisione scientifica sono stati:

- patologie neurologiche (tetraplegia);
- patologie respiratorie (dispnea);
- sindrome dello stretto toracico;
- problematiche vascolari;
- disordini temporo-mandibolari;
- neck pain associato a shoulder pain.

CAP. 3 - DISCUSSIONE

Di seguito verrà presentata l'analisi degli articoli scientifici trovati.

ARTICOLO 1

Neck pain causes respiratory dysfunction.

AUTORI – Eleni Kapreli, Evangelos Vourazanis, Nikolaos Strimpakos

RIVISTA, ANNO – Medical Hypotheses (2008)

OBIETTIVI VALUTATI – Questo articolo ipotizza un presunto meccanismo per lo sviluppo di cambiamenti, variazioni, della funzionalità respiratoria a causa del dolore cronico al collo. Il paziente con dolore al collo presenta una serie di fattori che potrebbero costituire una predisposizione a una disfunzione respiratoria: (a) la ridotta forza di flessori ed estensori profondi del collo⁹; (b) l'alterata attività e un maggiore affaticamento dei flessori superficiali del collo (SCM e AS)⁶; (c) La limitazione del range di

movimento¹⁰; (d) la diminuzione della propiocezione e dei disturbi del controllo neuromuscolare; (e) l'esistenza del dolore; (f) l'influenza psicosociale causata dalla disfunzione¹¹. Questo studio sostiene che la corretta “collaborazione” tra gli stabilizzatori locali e globali sia essenziale per un corretto movimento. In caso di dolore al collo, gli stabilizzatori locali (flessori ed estensori profondi), diminuendo la propria resistenza, causano problemi sul controllo motorio, non solo nella loro area di appartenenza ma anche sul controllo di articolazioni vicine (spalla o rachide toracico)¹². Durante la respirazione è essenziale la stabilizzazione cervicale o toracica e l'azione di altri muscoli per permettere un corretto movimento delle coste; in caso di instabilità le coste potrebbero presentare alterati meccanismi di movimento, che portano a disfunzioni respiratorie influenzando l'attività di muscoli come il diaframma, i muscoli intercostali e addominali. Questo porterebbe a pensare che la forza inspiratoria ed espiratoria sia inferiore nei soggetti con dolore al collo¹³.

La possibile connessione tra dolore al collo e funzione respiratoria potrebbe quindi avere un grande impatto su vari aspetti clinici, in particolare sulla valutazione del paziente, la riabilitazione e la prescrizione farmacologica.

IMPIANTO METODOLOGICO – Uno studio pilota (Perri MA, Halford E. Pain and faulty breathing a pilot study, 2004), attraverso l'utilizzo di uno spirometro, ha esaminato l'esistenza di una correlazione tra

respirazione difettosa e modelli di dolore muscolo-scheletrico. La respirazione addominale e toracica è stata valutata mediante la sola osservazione¹⁴.

RISULTATI – I risultati hanno rivelato che i pazienti con dolore al collo, in un gruppo di differenti sindromi di dolore cronico muscolo-scheletrico, hanno sperimentato un modello di respirazione difettosa in un dominante 83%, diventato statisticamente significativo¹⁴.

Anche se questo studio presenta una giustificazione delle ipotesi, è stata valutata solo una componente della funzione respiratoria. Ulteriori ricerche dovrebbe essere fatte in futuro per tutti gli altri elementi da esaminare.

ARTICOLO 2

Neck flexor muscle fatigue is side specific in patients with unilateral neck pain.

AUTORI – D. Falla, G. Jull, A. Rainoldi, R. Merletti

RIVISTA, ANNO – European Journal of Pain 8 (2004)

OBIETTIVI VALUTATI – Nonostante l'evidenza di un maggiore affaticamento dei muscoli flessori cervicali in pazienti con dolore al collo, l'effetto dell'unilateralità del dolore al collo per l'affaticamento muscolare non è stata studiata. Questo studio ha confrontato le manifestazioni mioelettriche dello sternocleidomastoideo (SCM) e dello scaleno anteriore (AS), l'affaticamento muscolare tra i lati dolorosi e non dolorosi nei pazienti con dolore cervicale cronico unilaterale¹⁵.

IMPIANTO METODOLOGICO

- Tipologia dei pazienti: a questo studio hanno partecipato dieci soggetti, donne di età compresa tra i 22 e i 45 anni (media 32.3, SD 7.2 anni) e con una storia di dolore al collo unilaterale superiore a 1 anno. Sono stati esclusi dallo

studio sia i pazienti che si erano sottoposti ad intervento chirurgico del rachide cervicale, sia quelli che lamentavano eventuali segni neurologici, sia quelli che avevano partecipato a un programma riabilitativo del collo negli ultimi 12 mesi⁵.

- Misure di outcome: Per registrare l'intensità media del dolore al collo dei pazienti, sono stati usati l'indice di disabilità Neck (NDI) e la scala analogica visiva (VAS)¹⁶.

Sono stati registrati segnali mioelettrici dal capo sternale dei muscoli SCM e AS a livello bilaterale durante la massima contrazione isometrica dei flessori cervicali al 25% e al 50% della massima contrazione volontaria (MVC). Sono stati calcolati l'andamento temporale della frequenza di potenza media, il valore medio e la velocità di conduzione dei segnali EMG, per quantificare manifestazioni mioelettriche di fatica muscolare⁵.

RISULTATI – I risultati di questo studio hanno rivelato maggiori manifestazioni mioelettriche di affaticamento muscolare dei muscoli SCM e AS ipsilaterali al lato del dolore nei pazienti con dolore cervicale cronico unilaterale. Ciò è stato dimostrato dalle stime significativamente maggiori del tasso di variazione della pendenza della frequenza media (MNF) per il muscolo AS al 25% e 50% della MVC e per il tasso di variazione della MNF per il muscolo SCM al 25% della MVC. Inoltre, i valori iniziali della MNF al 25% e 50% della MVC

per i muscoli AS e SCM ipsilaterali al lato del dolore erano maggiori. Questi risultati confermano l'ipotesi di una specificità dell'effetto del dolore sulla funzione muscolare e supportano i risultati delle ricerche precedenti, che identificavano la disfunzione dei muscoli ipsilaterali al lato di dolore (Dangaria e Naesh, 1998; Nasconde et al., 1994; Larsson et al., 1998)^{15;17};

Questi risultati sono in accordo con i risultati degli studi di biopsia muscolare di soggetti con dolore al collo sottoposti a chirurgia spinale, che hanno identificato un aumento del numero di fibre di tipo IIC nei muscoli flessori del collo, derivante dalla trasformazione di fibre a contrazione lenta di tipo I con fibre a contrazione rapida di tipo IIB (Uhlig et al., 1995)¹⁸.

I risultati di questo studio hanno rivelato le stime significativamente maggiori del valore iniziale e la pendenza della MNF per i muscoli sia SCM che AS ipsilaterali al lato del dolore nei pazienti con dolore cervicale cronico unilaterale. Questo suggerisce una specificità dell'effetto del dolore sulla funzione muscolare e quindi la necessità di uno specifico esercizio terapeutico nella gestione dei pazienti con dolore al collo per raggiungere, con la riabilitazione, la funzionalità ottimale del muscolo⁴.

ARTICOLO 3

Lack of correlation between sternocleidomastoid and scalene muscle fatigability and duration of symptoms in chronic neck pain patients.

AUTORI - D. Falla, A. Rainoldi, G. Jull, G. Stavrou, H. Tsao

RIVISTA, ANNO - Neurophysiologie clinique 34 (2004)

OBIETTIVI VALUTATI - Nonostante l'evidenza di un maggiore affaticamento dei muscoli flessori superficiali cervicali in pazienti con dolore al collo, il rapporto tra la durata del dolore al collo e l'affaticamento muscolare non è stata studiata. Questo studio ha esaminato la relazione tra manifestazioni mioelettriche dello sternocleidomastoideo (SCM) e dello scaleno anteriore (AS), l'affaticamento muscolare e la durata del dolore al collo in un gruppo di pazienti con dolore cervicale cronico⁶.

IMPIANTO METODOLOGICO –

- Tipologia dei pazienti: Hanno partecipato a questo studio venti pazienti (quattro maschi, sedici femmine) con dolore al collo cronico. Sono stati inclusi pazienti con una storia di

dolore al collo, con o senza mal di testa, per un minimo di 3 mesi, cui era associato a disfunzione dell'articolazione cervicale¹⁹. I pazienti, di età compresa tra i 18 e 47 anni (media 29.6, SD 7.9 anni), avevano una storia di dolore al collo variabile tra 1 e 25 anni (media 6.15, DS 5.48 anni).

Tre dei pazienti avevano disturbi associati al colpo di frusta e i restanti 17 avevano dolore idiopatico al collo. Otto pazienti hanno lamentato mal di testa, cinque hanno anche lamentato dolore al braccio e quattro dolore alla colonna vertebrale toracica e lombare. Sono stati esclusi dallo studio sia i pazienti che si erano sottoposti a chirurgia spinale cervicale, sia quelli che lamentavano eventuali segni neurologici, sia quelli che avevano partecipato a un programma riabilitativo del collo negli ultimi 12 mesi.

- Misure di outcome: Per registrare l'intensità media del dolore al collo dei pazienti, sono stati usati l'indice di disabilità Neck (NDI) e la Numerical Rating Scale (NRS)¹⁶.

Sono stati registrati segnali mioelettrici dai muscoli SCM e AS dalla parte del maggior dolore, durante la massima contrazione isometrica prolungata dei flessori cervicali al 25% e al 50% della massima contrazione volontaria (MVC). Sono stati calcolati il valore iniziale e la pendenza della frequenza media (MNF), il valore medio (ARV) e la velocità di conduzione (CV) dei segnali EMG. L'analisi di correlazione

è stata applicata per determinare se esiste una relazione tra la durata del dolore al collo e le stime delle variabili EMG.

RISULTATI – I risultati di questo studio indicano l'assenza di forti correlazioni tra la durata del dolore al collo e le stime EMG dai muscoli SCM e AS come durante le contrazioni dei flessori cervicali prolungate al 25% e al 50% della MVC. Questo risultato suggerisce che il grado di affaticamento e di reclutamento di unità motorie dei muscoli flessori cervicali superficiali non è influenzata dalla durata dei sintomi nei pazienti con dolore cervicale cronico.

In accordo con lo studio di biopsia muscolare di Uhlig et al.¹⁸, i cambiamenti nel fenotipo delle fibre muscolari cervicali possono avvenire subito dopo la comparsa di dolore al collo e stabilizzarsi nonostante la persistenza del dolore. Uhlig et al.¹⁸ hanno ipotizzato che la trasformazione di fibre a contrazione lenta di tipo I a fibre a contrazione rapida di tipo IIB, può essere limitata nel tempo e cessa dopo 2-3 anni dalla comparsa del dolore al collo, nonostante la persistenza del dolore al collo.

Lo studio ha dimostrato che non vi è alcuna correlazione significativa tra le manifestazioni mioelettriche di affaticamento dei muscoli SCM e AS e la durata del dolore, e ciò può riflettere l'osservazione fatta da Uhlig et al. nel loro studio¹⁸. Maggiore affaticamento dei muscoli flessori superficiali cervicali può essere stabilito entro i primi 1-2 anni

dalla comparsa del dolore al collo e dopo ciò non possono verificarsi ulteriori aumenti di affaticamento muscolare.

Un ulteriore ricerca, studiando il tempo di insorgenza dell'affaticamento dei muscoli flessori superficiali cervicale, ha garantito, con particolare enfasi sui cambiamenti, la comparsa del dolore al collo entro il primo anno. Lo studio di Sterling et al.²⁰ ha stabilito che i cambiamenti si verificano nei livelli di attivazione dei muscoli SCM durante un lavoro motorio entro 4 settimane dalla comparsa di dolore al collo a seguito di un colpo di frusta. È possibile che la fatica mioelettrica possa anche essere un segno precoce di danno muscolare. Pertanto sono necessarie ulteriori ricerche per capire come il primo affaticamento muscolare si verifichi dopo un primo episodio acuto di dolore al collo e se esso persista o no dopo la risoluzione dei sintomi acuti. Tale conoscenza è fondamentale per lo sviluppo di programmi di esercizio adatti per la riabilitazione di pazienti con dolore al collo²⁰.

La durata del dolore al collo non sembra quindi essere correlata con l'estensione di SCM e l'affaticamento muscolare di AS nei pazienti con dolore cervicale cronico. Questo risultato può essere dovuto ad un incremento dell'affaticamento muscolare che si verifica entro i primi anni di dolore al collo e che non è seguito da segni di affaticamento maggiore dopo questo tempo. Sono necessari studi futuri per esaminare come l'affaticamento muscolare cervicale aumentato

precocemente, si manifesti dopo la prima insorgenza del dolore al collo e come questo avrà implicazioni per la riabilitazione²⁰.

ARTICOLO 4

An endurance-strength training regime is effective in reducing myoelectric manifestations of cervical flexor muscle fatigue in females with chronic neck pain.

AUTORI – D. Falla, G. Jull, P. Hodges, B. Vicenzino

RIVISTA, ANNO – Clinical Neurophysiology 117 (2006)

OBIETTIVI VALUTATI – Lo scopo di questo studio è di valutare se un programma di allenamento di resistenza della forza, può essere efficace nel ridurre le manifestazioni mioelettriche dello sternocleidomastoideo (SCM) e dell'affaticamento muscolare dello scaleno anteriore (AS), che sono state trovate essere maggiori nelle persone con dolore al collo cronico.

- IMPIANTO METODOLOGICO – Tipologia dei pazienti: Hanno partecipato a questo studio cinquantotto pazienti di sesso femminile con dolore cronico al collo della durata superiore ai 3 mesi. Per essere inclusi, i soggetti dovevano aver ottenuto un punteggio del 15% (su un massimo di 50) nell'indice di disabilità al collo. (Vernon e Mior, 1991)¹⁶. I soggetti dovevano avere anche la sensibilità dell'articolazione

cervicale all'esame manuale del rachide cervicale (Jull et al., 1988)¹⁹. I partecipanti sono stati sottoposti a screening per i criteri di inclusione ed esclusione, e non sono stati presi in considerazione sia i soggetti che si erano sottoposti ad intervento chirurgico del rachide cervicale, sia quelli che lamentavano eventuali segni neurologici, sia quelli che avevano partecipato a un programma riabilitativo del collo negli ultimi 12 mesi. I pazienti con dolore cronico sono stati randomizzati in due gruppi di allenamento: allenamento endurance (resistenza della forza) dei muscoli flessori cervicali e allenamento consistente in esercizi a basso carico dei muscoli flessori cranio-cervicali. I regimi di esercizio sono stati effettuati per un periodo di 6 settimane e ogni paziente di ciascun gruppo ha ricevuto istruzione personale e supervisione di un fisioterapista esperto una volta a settimana per tutta la durata del processo. Nessuna delle sessioni di allenamento è stata più lunga di 30 min.

- Misure di outcome: Il dolore percepito del paziente e la disabilità sono stati monitorati pre e post-intervento. Per fornire una misura della disabilità percepita, derivante dal loro dolore al collo, i pazienti hanno completato l'indice di disabilità Neck (NDI); l'intensità media del dolore al collo è stata misurata con la Numerical Rating Scale (NRS)¹⁶.

RISULTATI – *Cambiamenti nel dolore e nella disabilità percepita:*

entrambi i gruppi hanno dimostrato una riduzione di intensità media del dolore (allenamento dei flessori cranio-cervicali, - 0.9 ± 2.3 ; allenamento endurance - 1.1 ± 2.8), e del punteggio NDI (allenamento dei flessori cranio-cervicali, - 3.5 ± 4.8 ; allenamento endurance - 2.8 ± 4.0). Tuttavia, non vi era alcuna differenza tra i due gruppi per il cambiamento del dolore (NRS) o la disabilità (NDI) ($P > 0.05$). I benefici percepiti grazie agli esercizi per il dolore al collo sono stati di $46.7 \pm 33.5\%$ per il gruppo di allenamento dei flessori cranio-cervicali e di $37.6 \pm 37.5\%$ per il gruppo di allenamento endurance, e non vi erano quindi differenze significative tra i due gruppi di intervento ($P > 0.05$). Nessun paziente ha riportato effetti negativi. Questo studio suggerisce che un regime di allenamento endurance per i muscoli flessori cervicali nelle persone affette da dolore cronico al collo, si traduce in un aumento della forza di flessione cervicale e in una diminuzione del valore iniziale e del tasso di variazione della frequenza spettrale media (MSF) per entrambi i muscoli SCM e AS contratti a livelli di intensità moderati e bassi. A parte il fatto che solo il gruppo sottoposto all'allenamento endurance abbia migliorato le misure di questi parametri, alla fine dell'allenamento non vi è alcuna differenza nelle scale di dolore o di disabilità tra i due gruppi. Questo suggerisce che i miglioramenti della forza e la riduzione della fatica muscolare, non possono essere mediati solo da un miglioramento dei sintomi⁷.

Cambiamenti nella forza muscolare e nell'affaticamento:

coerentemente con i risultati di studi precedenti (Falla et al., 2003)^{8;21}, questo studio non ha evidenziato alcun cambiamento significativo nella stima della velocità di conduzione (CV) dopo l'allenamento endurance, anche se le stime della CV erano stabili ed entro l'intervallo di valori fisiologici (2.5 – 6.5 m/s). Questo risultato conferma che le differenze significative osservate nei valori iniziali e nel tasso di variazione di MSF non possono essere attribuite esclusivamente alle differenze nella CV, e quindi cambiamenti nelle proprietà di membrana delle fibre muscolari. È possibile quindi ipotizzare che le modifiche osservate del valore iniziale e del tasso di variazione di MSF sono dovute a variazioni di altri fattori, come la distribuzione della CV del potenziale d'azione delle unità motorie (PUM), in accordo con precedenti studi (Falla et al. 2004)²². Una riduzione dell'affaticamento potrebbe essere attribuita ad un aumento della forza di flessione cervicale, che è stata identificata per il gruppo di allenamento endurance dopo l'intervento. L'aumento della forza massima di contrazione volontaria individuato per il gruppo di allenamento endurance dopo l'intervento è stato di circa il 12%. Questa percentuale è inferiore a quella precedentemente segnalata per i cambiamenti della forza cervicale dopo l'allenamento (Berg et al., 1994)²³; H. Ad esempio, Portero et al. (2001)²⁴ hanno dimostrato un aumento del 35% nella flessione laterale cervicale dopo un programma di 8 settimane di allenamento sulla forza isometrica

della flessione laterale. L'aumento più piccolo della forza cervicale identificato in questo studio, molto probabilmente riflette una combinazione di fattori diversi, come la tipologia dei pazienti, la durata e il tipo dell'allenamento.

Cambiamenti nell'efficienza neuromuscolare: Il gruppo di pazienti che ha intrapreso il programma di allenamento endurance per i muscoli flessori cervicali, ha dimostrato una riduzione del valore medio rettificato (ARV) dopo l'intervento, che potrebbe essere descritta come un aumento della efficienza neuromuscolare dei muscoli SCM e AS (van der Hoeven et al., 1993)²⁵. In lavori precedenti è stata individuata minore efficienza neuromuscolare (definita come il rapporto tra MVC e l'ARV corrispondente del segnale EMG) per i muscoli SCM e AS in un gruppo di persone con dolore al collo rispetto ad un gruppo di controllo (Falla et al., 2004)²². Questo risultato è stato identificato per le contrazioni della flessione cervicale al 25% della MVC, ma non al 50%. In questo studio, i risultati ottenuti nel gruppo di allenamento endurance hanno dimostrato una riduzione del valore iniziale dell'ARV (cioè, una maggiore efficienza neuromuscolare) in tutti i livelli post-riabilitativi. L'aumento osservato nell'efficienza neuromuscolare di SCM e AS potrebbe essere attribuito ad un cambiamento nell'eccitabilità del pool motoneuronale o ad una modifica del pattern di attivazione neurale per la flessione cervicale. Questo studio ha dimostrato che un regime di allenamento endurance per i muscoli flessori cervicali è efficace nel ridurre

manifestazioni mioelettriche di fatica muscolare di SCM e AS, e nell'aumentare la forza della flessione cervicale in un gruppo di pazienti donne con dolore cervicale cronico. Sembrerebbe che una riduzione del dolore al collo da sola non sia responsabile di questi cambiamenti. Sono quindi necessarie ulteriori ricerche per valutare se questi miglioramenti delle funzioni muscolari potrebbero essere mantenuti a lungo termine e che implicazioni avrebbero sulle varie caratteristiche del dolore al collo, tra cui il tasso di ricomparsa.

ARTICOLO 5

Myoelectric manifestations of sternocleidomastoid and anterior scalene muscle fatigue in chronic neck pain patients.

AUTORI – D. Falla, A. Rainoldib, R. Merlettib, G. Julla

RIVISTA, ANNO – Clinical Neurophysiology 114 (2003)

OBIETTIVI VALUTATI – Questo studio mette a confronto le manifestazioni mioelettriche di affaticamento dei muscoli sternocleidomastoideo (SCM) e scaleno anteriore (AS) tra 10 soggetti con dolore cervicale cronico e 10 soggetti di controllo abbinati⁴.

IMPIANTO METODOLOGICO

- Tipologia dei pazienti: a questo studio hanno partecipato venti soggetti. Dieci pazienti (un maschio, 9 femmine) di età compresa tra i 18 e 47 anni (media 28.7, SD 9.2 anni) e con storia di dolore al collo per più di 1 anno. Tre di questi pazienti con disturbi associati al colpo di frusta e i restanti 7 pazienti con dolore idiopatico collo. Sono stati esclusi dallo studio sia i pazienti che si erano sottoposti ad intervento

chirurgico del rachide cervicale, sia quelli che lamentavano eventuali segni neurologici, sia quelli che avevano partecipato a un programma riabilitativo del collo negli ultimi 12 mesi. I soggetti asintomatici (un maschio, 9 femmine), di età compresa tra 21 e 42 anni (media 30.1, SD 7.6 anni), non avevano una storia pregressa di patologie ortopediche che interessano il collo né una storia di disturbi neurologici⁴.

- Misure di outcome: Per registrare l'intensità media del dolore al collo dei pazienti e l'intensità del dolore al momento del test, sono stati usati l'indice di disabilità Neck (NDI) e la scala analogica visiva (VAS)¹⁶.

Sono stati registrati segnali della superficie elettromiografica (EMG) dal capo sternale dei muscoli SCM e AS bilateralmente durante la massima contrazione isometrica dei flessori cervicali al 25 e al 50% della massima contrazione volontaria (MVC). Sono stati calcolati la frequenza media, il valore medio e la velocità di conduzione del segnale EMG, per quantificare manifestazioni mioelettriche di fatica muscolare.

RISULTATI – Per entrambi i muscoli SCM e AS, il test di Mann-Whitney U ha indicato che il valore iniziale e la pendenza della frequenza media nei pazienti con dolore al collo era stata maggiore rispetto ai soggetti sani ($P < 0,05$). Questo è stato significativo sia al

25 e al 50% della MVC e conferma l'osservazione clinica di resistenza ridotta dei flessori cervicali in pazienti con dolore al collo (Placzek et al.²⁶, 1999; Treleaven et al.²⁷, 1994; Watson e Trotta²⁸, 1993).

Il maggiore affaticamento dei flessori cervicali individuato nei pazienti con dolore al collo in questo studio, potrebbe teoricamente essere attribuito a: (1.) maggiore ruolo o maggior percentuale di fibre di tipo II o (2.) aumento delle dimensioni delle fibre di tipo II (Mannion et al.²⁹, 1998). La prima ipotesi sembra essere confermata dall'evidenza sperimentale di un aumento dei valori iniziali della frequenza spettrale media (MNF). Al contrario, per la seconda ipotesi, sarebbe necessario che fosse evidente un incremento dei valori iniziali di velocità di conduzione delle fibre muscolari (CV). La mancanza di prove a sostegno della seconda ipotesi ci permette di ipotizzare che il maggiore affaticamento dei flessori cervicali potrebbe essere attribuito a un aumento della percentuale di fibre di tipo II⁴.

Questi risultati sono in accordo con precedenti studi di biopsie muscolari in soggetti con dolore al collo (Uhlig et al.¹⁸, 1995), che hanno identificato un aumento del numero di fibre di tipo IIC derivante dalla trasformazione di fibre a contrazione lenta di tipo I con fibre a contrazione rapida di tipo IIB.

Un altro aspetto che potrebbe essere coinvolto nella modifica di manifestazioni di affaticamento muscolare è l'effetto del dolore sul sistema sensoriale e motorio. Sono stati proposti diversi modelli che descrivono queste alterazioni (tra gli altri: l'alterata attività muscolare

o “teoria del circolo vizioso”; il modello “pain-adaptation”, Graven-Nielsen et al.³⁰, 2000). È possibile ipotizzare che il dolore possa indurre un’ alterata attività dei muscoli provocando una modificazione dell’unità motoria (MU) del muscolo e, di conseguenza, una modifica delle manifestazioni mioelettriche di affaticamento muscolare. Inoltre, il dolore può portare ad una maggiore sincronizzazione delle MU per i muscoli SCM e, quindi, valori più elevati della pendenza della MNF.

In conclusione, i risultati di questo studio sono compatibili con una predominanza di fibre di tipo II in pazienti con dolore al collo e/o maggiore affaticamento dei flessori superficiali cervicali in pazienti con dolore al collo rispetto ai soggetti sani⁴.

CONCLUSIONI

Lo scopo di questa tesi era quello di ricercare nella letteratura scientifica mondiale le evidenze di una possibile correlazione tra neck pain e alterata attivazione della muscolatura respiratoria.

L'indagine ha portato all'analisi di 5 studi che potessero appoggiare l'ipotesi iniziale di questa ricerca; tuttavia non sono stati trovati studi che confermassero, attraverso risultati statisticamente significativi, una reale correlazione tra neck pain e iperattivazione o ipoattivazione della muscolatura respiratoria.

Tutti gli studi analizzati hanno, indubbiamente, evidenziato un affaticamento dei muscoli sternocleidomastoidei e scaleni anteriori in soggetti affetti da dolore al collo cronico, ma non hanno giustificato una possibile influenza che queste condizioni muscolari potessero causare sulla meccanica respiratoria.

Un altro importante fattore che non è stato preso in considerazione è l'eventuale rapporto di tipo causa-effetto tra neck pain e muscolatura respiratoria: non è chiaro se un dolore al collo possa portare ad una iperattivazione o ipoattivazione della muscolatura respiratoria oppure se alcune problematiche respiratorie possano portare, alla lunga, a problematiche muscolo scheletriche a livello del rachide cervicale. L'unico articolo che più si avvicina all'ipotesi dell'esistenza di una

correlazione tra dolore al collo e alterata attivazione della muscolatura respiratoria è “Neck pain causes respiratory dysfunction”⁸, ma gli stessi autori ammettono di esser riusciti a giustificare solo uno degli aspetti presi in esame e, quindi, di non poter valutare la loro ricerca come uno studio con valenza scientifica. Tuttavia l’articolo in questione può essere considerato un ottimo punto di partenza per poter sviluppare nuove ricerche sulla tematica. Questo argomento merita quindi di essere approfondito in futuro attraverso altri studi, per poi portare alla realizzazione di linee guida per il trattamento di soggetti affetti da dolore al collo.

ALLEGATO 1

Revisione bibliografica: scheda di rilevazione dati

1 - TITOLO
2 - AUTORI
3 - RIVISTA, ANNO
4 - OBIETTIVI VALUTATI
5 - IMPIANTO METODOLOGICO: • TIPOLOGIA DEI PAZIENTI • MISURE DI OUTCOME
6 - RISULTATI

BIBLIOGRAFIA

1. L. Busquet – **Le catene muscolari volume 2** – Editore Marrapese Roma.
2. J. German, L. Stanfield – **Principles of Human Physiology** – Benjamin Cummings 2002.
3. Vari autori – **Anatomia dell' uomo** – edi-ermes 2001.
4. D. Falla, A. Rainoldib, R. Merletti, G. Julla – **Myoelectric manifestations of sternocleidomastoid and anterior scalene muscle fatigue in chronic neck pain patients** - Clinical Neurophysiology 114 (2003).
5. D. Falla, G. Jull, A. Rainoldi, R. Merletti – **Neck flexor muscle fatigue is side specific in patients with unilateral neck pain** - European Journal of Pain 8 (2004).
6. D. Falla, A. Rainoldi, G. Jull, G. Stavrou, H. Tsao – **Lack of correlation between sternocleidomastoid and scalene muscle**

fatigability and duration of symptoms in chronic neck pain patients - Neurophysiologie clinique 34 (2004).

7. D. Falla, G. Jull, P. Hodges, B. Vicenzino - **An endurance-strength training regime is effective in reducing myoelectric manifestations of cervical flexor muscle fatigue in females with chronic neck pain** - Clinical Neurophysiology 117 (2006).

8. E. Kapreli, E. Vourazanis, N. Strimpakos - **Neck pain causes respiratory dysfunction** - Medical Hypotheses (2008).

9. P. Gogia, M. Sabbahi - **Elettromyographic analysis of neck muscle fatigue in patients with osteoarthritis of the cervical spine** - Spine (1994).

10. V. Feipel, B. Rondelet, JP. Le Pallec, M. Rooze - **Normal global motion of the cervical spine: an electrogoniometer study** - Clin Biomech (1999).

11. MK. Nicholas - **Mental disorders in people with chronic pain: an international perspective** - Pain (2007).

12. J. Key, A. Clift, F. Condie, C. Harley – **A model of movement dysfunction provides a classification system guiding diagnosis and therapeutic care in spinal pain and related musculoskeletal syndromes: A paradigm shift** – Bodywork Mov Ther (2007).

13. A. De Toyer, A. Legrand – **Inhomogeneous activation of the parasternal intercostals during breathing** – Appl Physiol (1995).

14. MA. Perri, E. Halford – **Pain and faulty breathing a pilot study** – Bodywork Mov Ther (2004).

15. CJ. De Luca – **Myoelectrical manifestation of localized muscular fatigue in humans** – Crit Med Biomed Eng (1984).

16. H. Vernon, S. Mior – **The neck Disability index: a study of reliability and validity** – Manipulative Physiol Ther (1991).

17. R. Larsson, H. Cai, Q. Zhang, PA. Oberg, SE. Larsson – **visualization of chronic neck-shoulder pain: impaired microcirculation in the upper trapezius muscle in chronic cervico-brachial pain** – Occup Med (1998).

18. Y. Uhlig, BR. Werber, D. Grob, M. Muntener – **Fiber composition and fiber transformation in neck pain muscles of patients with dysfunction of the cervical spine** – J Orthop Res (1995).

19. G. Jull, N. Bogduk, A. Marsland – **The accuracy of manual diagnosis for cervical zygapophysial joint pain syndromes** – Med J Aust (1988).

20. Sterling M, Jull G, Vicenzino B, Kenardy J, Darnell R. - **Development of motor dysfunction following whiplash injury** - Pain (2003).

21. D. Falla, C. Cambell, A. Fagan, D. Thompson, G. Jull – **The relationship between upper cervical flexion range of motion and pressure change during the cranio-cervical flexion test** – Man Ther (2003).

22. D. Falla, G. Jull, S. Edwards, K. Koh, A. Rainoldi – **Neuromuscular efficiency of the sternocleidomastoid and anterior scalene muscles in patient with neck pain** – Disabil Rehabil (2004).

- 23.** HE. Berg, G. Berggren, P. Tesch – **Dynamic neck strength training effect on pain and function** – Arch Phys Med Rehabil (1996).
- 24.** P. Portero, A. Bigard, D. Gamet, J. Flageat, C. Guezennec – **Effects of resistance training in humans on neck muscle performance, and electromyogram power spectrum changes** – Eur J Appl Physiol (2001).
- 25.** JH. Van Der Hoeven, TW. Van Weerden, MJ. Zwarts – **Long-lasting supernormal conduction velocity after sustained maximal isometric contraction in human muscle** – Muscle Nerve (1993).
- 26.** JD. Placzek, BT. Pagett, PJ Roubal, BA. Jones, HG. McMichael, EA Rozanski, KL Gianotto – **The influence of the cervical spine on chronic headache in women: a pilot study** – J Man Manipulative Ther (1997).
- 27.** J. Treleaven, G. Jull, L. Atkinson – **Cervical musculoskeletal dysfunction in post-concussional headache** – Cephalagia (1994).

28. DH. Watson, PH. Trott – **Cervical headache: an investigation of natural head posture and upper cervical flexor muscle performance** – Cephalagia (1993).

29. AF. Mannion, GA. Dumas, JM. Stevenson, RG. Cooper – **The influence of muscle fiber size and type distribution on electromyographic measures of back muscle fatigability** – Spine (1998).

30. T. Graven-Nielsen, P. Svensson, L. Arendt-Nielsen – **Effect of muscle pain on motor control: a human experimental approach** – Adv Physiother (2000).