

# Smertter fører til dysfunktion i de dybe cervikale nakkeflexorer

Genoptræning af de dybe cervikale fleksormuskler bør være en del af den rehabilitering, der tilbydes patienter med kroniske nakkesmerter

TEKST OG FOTO AF FYSIOTERAPEUT, PH.D.  
DEBORAH FALLA, AALBORG UNIVERSITET

I den oprejste neutrale stilling er den passive modstand mod bevægelse i den cervikale rygsøjle minimal (1). De cervikale segmenter støttes af muskulaturen omkring rygsøjlen. Det drejer sig fortil om m. longus colli og bagtil m. semispinalis cervicis og den cervikale del af mm. multifidi (2-5). Især m. longus colli har en vigtig postural funktion, idet den støtter og udretter den cervikale lordose (4). Den kranio-cervikale del af columna støttes desuden af musklerne, som insererer på kraniet og spænder over de øvre cervikale bevægelsessegmenter.

Det drejer sig for eksempel fortil om m. longus capitis og bagtil de suboccipitale ekstensorer m. semispinalis og m. splenius capitis (6). De dybe musklers betydning for opretholdelsen af den cervikale holdning blev bekræftet i et studie med anvendelse af en computermodel, som afslørede områder med lokal segmental instabilitet, hvis det kun var de store

overfladiske muskler, der blev stimuleret til bevægelse. Dette gjorde sig særligt gældende i næsten oprejste eller neutrale udgangsstillinger (7). Det viste sig således, at der kræves dyb cervikal muskelaktivitet i samspil med aktivitet i de overfladiske muskler for at stabilisere de cervikale segmenter især i midtrange position.

Der har i de senere år været en stigende interesse blandt forskere for at finde ud af, hvordan funktionen i de dybe cervikale flexorer påvirkes hos mennesker med nakkesmerter. Dette i erkendelse af den betydning de dybe cervikale muskler har for den posturale kontrol af de cervikale segmenter (3,4) og den hidtil anekdotiske dokumentation for nedsat funktion af disse muskler hos patienter med nakkesmerter (8). Med udviklingen af en elektrode- og elektromyografisk teknik, der kan måle aktivitet i de dybe cervikale fleksormuskler (9), har studier nu kunnet bekræfte, at der er en nedsat aktivering af disse muskler hos patienter

med nakkesmerter. Denne forskning har betydet, at der er udviklet specifikke øvelser til genoptræning af de dybe cervikale fleksormuskler. Disse øvelser har vist positive resultater, når de er blevet testet i kliniske undersøgelser (10-15).

Formålet med denne artikel er at gennemgå og vurdere den foreliggende evidens for sammenhængen mellem forandringer i den dybe cervikale muskelfunktion og nakkesmerter og at beskrive en tilgang til behandling, der inddrager specifik genoptræning af disse muskler.

## FORANDRINGER I MUSKELFUNKTION

### Nedsat kranio-cervikal styrke og udholdenhed

Mennesker med nakkesmerter har nedsat udholdenhed i den kranio-cervikale muskulatur ved forskellige længde-spændingsforhold i musklerne (16,17). Dertil kommer, at de har sværere ved at fastholde en given kontraktion især ved lav belastning (17), hvilket kan afspejle andre udtræningsfænomener i musklerne som for eksempel muskeltremor (18). Denne dysfunktion i de kranio-cervikale flexorer ved lav intensitet, som er observeret hos mennesker, der lider af nakkesmerter, kan have en negativ indflydelse på stabiliteten i den cervikale rygsøjle, især i forbindelse med længerevarende statiske stillinger, som er påkrævet i mange job.

### Forandringer i muskelaktiveringen

Nedsat funktion i de dybe cervikale fleksormuskler er blevet observeret direkte (19) og indirekte (20-25), når patienter med nakkesmerter udfører en kranio-cervikal fleksionstest. Den kranio-cervikale fleksionstest (20) er en klinisk test, der skal afdække nedsat rekruttering af de dybe cervikale fleksormuskler. Patienten skal i testen indtage fem forskellige stillinger med stigende progression. I disse udgangsstillinger stilles der krav til aktivering af de dybe muskler m. longus capitis og

## indgang

■ Den nedsatte funktion i de dybe cervikale muskler, der forekommer hos mennesker med nakkesmerter har vist sig at være uafhængig af årsagen til nakkesmerter.

m. longus colli i indre bevægebane. Som det kan forudses ud fra de anatomiske forhold, har et studie vist et stærkt lineært forhold mellem aktivitet i musklerne mm. longus capitis og longus colli og testens trinvis progression hos mennesker uden smerter (9).

Elektromyografiske studier har vist, at mennesker med nakkesmerter har nedsat aktivering af de dybe cervikale fleksormuskler, når de udfører den kranio-cervikale fleksionstest. Den nedsatte aktivering ses i kombination med en øget aktivering af de overfladiske muskler m. sternocleidomastoideus og den forreste del af mm. scalenei, og tyder på en reorganisering af den motoriske strategi i udførelsen af testen (19). Dette skyldes muligvis en målelig kompensation for ringe passiv eller aktiv segmental støtte (26).

#### Forsinket aktivering

Når rygsøjleens stabilitet udfordres, som for eksempel ved en hurtig armbevægelse, ses en kompensatorisk forsinket reaktion i aktiveringen af de dybe cervikale fleksormuskler hos mennesker med nakkesmerter (27). Denne kompensatoriske aktivering af fleksormusklerne kommer hos smertepatienter væsentligt senere end man kan forvente af en feedforward-kontraktion under bevægelse, hvilket tyder på en signifikant defekt i den automatiske feedforward-kontrol af den cervikale rygsøjle.

Når man tager de dybe cervikale musklers posturale funktion i betragtning, kan denne mangel på kontrol øge sårbarheden overfor yderligere belastning i den cervikale rygsøjle (27). Forandringen er således ikke blot en forsinkelse, som kan forklares med faktorer, såsom nedsat excitabilitet i de motoriske nerveceller, men snarere er tegn på, at der anvendes en ny strategi i den neuromuskulære kontrol af den cervikale rygsøjle.

#### Kropsholdning

Som beskrevet ovenfor har m. longus colli en vigtig rolle i den posturale kontrol, idet den støtter og udretter den cervikale lordose (4). Selv om der ikke er stærk evidens for, at patienter med nakkesmerter har ændringer i den posturale kontrol i den siddende stilling (26-31), har mennesker med nakkesmerter tendens til at flekttere mere i nakken, når de bliver distraheret (13) i forbindelse med udefrakommende påvirkninger (f.eks. armbevægelser). En vedvarende fleksionsholdning af rygsøjlen er blevet forbundet med øget cervical kompressionsbelastning og en creep-respons i vævene



Figur 1

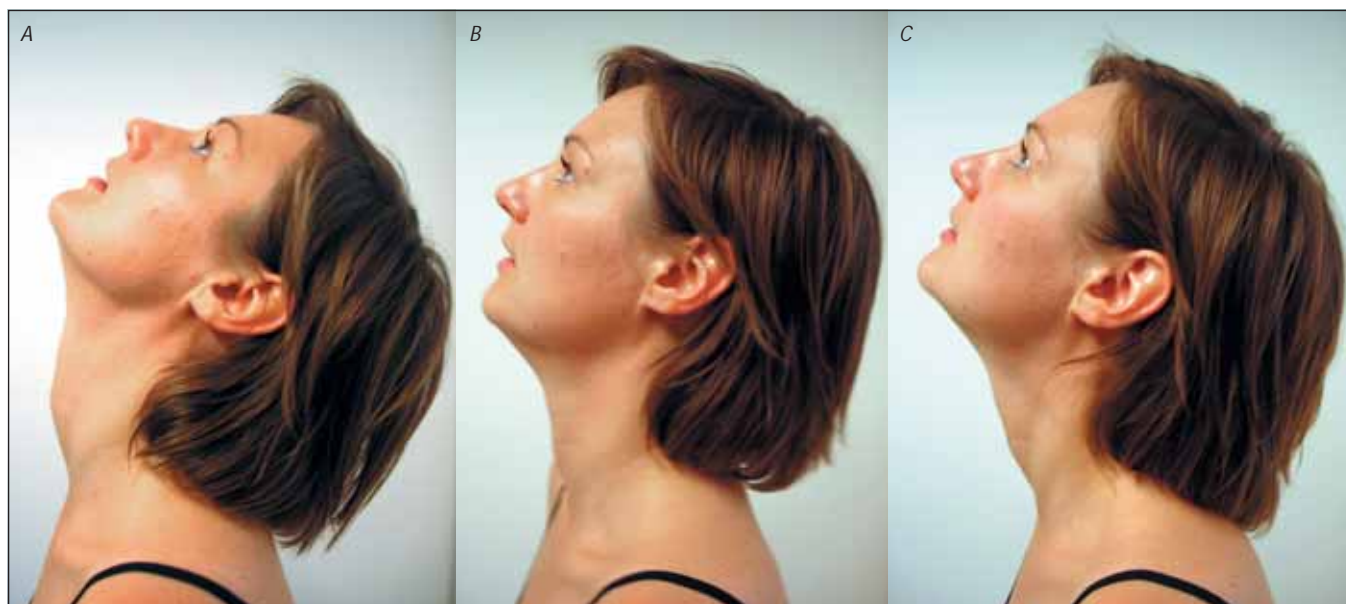
A. Udgangsstillingen for den kranio-cervikale fleksionstest med hovedet og nakken hvilende i en neutral midterstilling.

B. Terapeuten skal omhyggeligt observere for korrekt rotationsbevægelse i den kranio-cervikale fleksion. Korrekt udførelse af testen bør vise et mønster af stigende kranio-cervikal fleksion i hvert trin af testen.

C. Retraktion af hoved og nakke er den mest almindelige substitution, der bruges af patienter for at nå trykmålene.

(32,33). Det ville derfor være rimeligt at antage, at en vedvarende foroverbøjet hovedstilling i forbindelse med længerevarende siddende stilling kunne forværre, om ikke forårsage, nakkesmerter.

Nyere forskning har således vist, at der hos patienter med nakkesmerter forekommer nedsat funktion i de dybe cervikale muskler, som ellers anses for at være funktionelt vigtige for stabilitet og kontrol af nakken. Den nedsatte aktivering af de dybe cervikale fleksor-



Figur 2

A. Genoptræning af koordinationen af de dybe og overfladiske cervikale fleksormuskler i opretstående stillinger kan opnås ved en kontrolleret ekscentrisk bevægelse af fleksorerne til cervikal ekstension.

B. Kranio-cervikal fleksion anvendes for at påbegynde hovedets tilbagevenden til neutral stilling.

C. Hvis patienten søger tilbage til neutral position med en dominant bevægelse af m. sternocleidomastoideus, der resulterer i øvre cervikal ekstension, er det udtryk for en dårlig bevægelsesstrategi i forbindelse med at føre nakken tilbage til neutral stilling.

- ▶ muskler har vist sig at være uafhængig af årsagen til nakkesmerter (22), den optræder tidligt i smerteforløbet (34), og forsvinder ikke automatisk, hvis symptomerne formindskes eller forsvinder (10, 34). Samlet set indikerer denne viden behovet for at inddrage undersøgelse og genoptræning af de dybe cervikale fleksormuskler i rehabiliteringen af patienter med nakkesmerter.

Den terapeutiske vurdering af muskelfunktionen i de dybe cervikale fleksormuskler vil blive behandlet i det følgende. Det er ikke målet med denne artikel at beskrive genoptræning af ekstensorerne i cervikalcolumna og de humero-skapulære muskler, men det må understreges, at genoptræning af disse muskler bør være en integreret del af behandlingen af patienter med nakkesmerter, og bør derfor indgå i rehabiliteringsprogrammet (se Jull et al (35) for en detaljeret beskrivelse af vurdering og rehabilitering af ekstensormusklerne og de humeroskapulære muskler).

#### VURDERING OG GENOPTRÆNING

Den kranio-cervikale fleksionstest (20) kan anvendes i klinikken til at angive et indirekte mål for de dybe cervikale musklers aktivering (9) og til at teste koordinationen mellem de dybe og de overfladiske cervikale fleksormuskler. Da der ikke i den kliniske anvendelse af testen kan opnås et direkte mål for graden af aktivering af de dybe cervikale fleksormuskler, anvendes

en luftfyldt tryksensor ((Pressure Biofeedback Unit, Chattanooga Group Inc, USA), som placeres suboccipitalt til at registrere udretningen af den cervikale lordose, som opstår i forbindelse med kontraktionen af mm. longus colli.

Patienten guides via feedback fra tryksensoren til sekventielt at nå fem gradvist stigende trykmål med 2 mmHg stigningsintervaller; fra et udgangspunkt på 20 mmHg til det endelige mål på 30 mmHg.

Den kliniske test er baseret på terapeutens færdigheder i bevæge- og muskelanalyse. Testen udføres som regel fra rygliggende stilling. Testens første trin omfatter analyse af det kranio-cervikale bevægemønster, når patienten forsøger at foretage en nikkebevægelse og herunder passere fem gradvist stigende trin af kranio-cervikal fleksion.

Terapeuten skal omhyggeligt observere for korrekt rotationsbevægelse i den kranio-cervikale fleksion (figur 1a,b), samt identificere substitutionsstrategier for at nå trykmålene, som for eksempel reaktion af hoved og nakke (figur 1c). Dette observeres som en formindskning af den kranio-cervikale fleksionsgrad ved stigende trykmål, snarere end en øgning af graden.

Den anden typiske variation er en overanstrengelse af de overfladiske cervikale fleksormuskler (m. sternocleidomastoideus, m. hyoideus eller mm scalenei) for at udføre opgaven. Der vil dog kunne observeres en

øget aktivitet af de overfladiske fleksormuskler, men den bør ikke være dominant.

Fysioterapeuten bør i alle testens trin observere eller palpere de overfladiske fleksormusklers medvirken i bevægelsen. I forbindelse med analysen af patientens kranio-cervikale fleksionsmønster skal klinikerens notere og registrere det niveau af testen, som kan opnås med et korrekt bevægelsesmønster, uden at de overfladiske fleksormuskler tager over.

Testens andet trin består af en vurdering af de kranio-cervikale fleksormusklers udholdenhed. Vurderingen af udholdenheden skal betragtes som en progression af testen, og udføres kun, hvis patienten er i stand til at udføre den korrekte bevægelsesstrategi i den initiale fase af testen.

Terapeuten identificerer det punkt, som patienten kan fastholde i 10 sekunder uden at benytte sig af retraktion, uden tydelig brug af de overfladiske nakkeflexorer og uden en hurtig, rykvis kranio-cervikal fleksionsbevægelse.

### Test og genoptræning

Hvis den kranio-cervikale fleksionstest afslører et mangelfuldt bevægelsesmønster, har genindlæring af et korrekt bevægelsesmønster første prioritet i genoptræningen. Kranio-cervikal fleksion udføres som en langsom aktiv bevægelse, hvor der lægges vægt på præcision og kontrol. Patienten skal være i stand til at aktivere m. longus capitis og m. longus colli hensigtsmæssigt for at kunne udføre en korrekt kranio-cervikal fleksion. Flexionen skal således udføres med en rotation af kraniet uden uønsket overdreven aktivering af de overfladiske cervikale flexorer. Når patienten kan foretage en korrekt kranio-cervikal fleksionsbevægelse, suppleres træningen med udholdenhedsøvelser med lav belastning for at træne de dybe muskler i overensstemmelse med deres funktionelle stabiliserende rolle.

Træning af udholdenhed påbegyndes ved det punkt, som patienten formår at opnå og fastholde med et korrekt kranio-cervikalt fleksionsmønster. For hvert punkt øges fastholdelsestiden op til 10 sekunder, og der udføres 10 repetitioner. Når dette kan udføres tilfredsstillende, arbejdes frem mod næste punkt. Øvelserne kan progredieres til siddende eller stående stilling, så snart patienten viser fremgang i træningen af de kranio-cervikale fleksormuskler i liggende stilling. Som vist i figur 2a kan patienten udføre en ekscentrisk bevægelse af fleksormusklerne, når nakken langsomt sænkes i ekstension.



Figur 3

For at genoptræne styrken og udholdenheden af de overfladiske og dybe cervikale muskler kan patienten udføre aktive løft af hovedet. Øvelsen påbegyndes med kranio-cervikal fleksion (A, B), efterfulgt af cervikal fleksion for at løfte hovedet ganske lidt fra sengen (C).

► Puder kan anvendes til at reducere belastningen ved øvelsen (D).

- ▶ Bevægelsen bør igangsættes med et hageløft, mens patienten strækker halsen langsomt. Dette efterfølges af en koncentrisk bevægelse af de samme muskler for at bringe hovedet tilbage til neutral stilling, hvilket må påbegyndes med kranio-cervikal fleksion (figur 2b), snarere end en dominant bevægelse af m. sternocleidomastoideus (figur 2c). Øvelsen kan progredieres ved at øge bevægebanen for hovedets ekstension. Derudover kan isometriske hold i bevægebanen kobles til øvelsen i siddende stilling.

#### Genindlæring af den posturale kontrol

Genindlæring af den posturale kontrol er en vigtig del af genoptræningen, og bør påbegyndes fra den første behandling. For at genindlære en rank holdning i siddende stilling instrueres patienten i at kippe bækkenet til neutral stilling med en lav lændelordose. Det er bydende nødvendigt, at patienten får den ranke

kropsholdning ved at placere lændebækkenområdet korrekt, og ikke ved at øge ekstensionen i thorakolumbaldelen. Yderligere korrigerende af den thorakale kropsholdning og scapulas stilling bør inddrages i øvelserne efter behov.

Patienten bør desuden instrueres i at udføre et "occipitalt løft" for at forlænge den cervikale lordose. Specifikke øvelser til genindlæring af kropsholdningen, hvor der i starten lægges vægt på at finde en neutral

lændebækkenstilling, har vist sig at øge aktiveringen af de lumbale mm. multifidi og de dybe cervikale fleksormuskler (36). Øvelser til korrektion af kropsholdningen bør derfor betragtes som en del af genoptræningen, og er enkle redskaber, som patienten kan bruge i løbet af dagen til at genetablere en hensigtsmæssig funktion i den cervikale rygsøjles dybe posturale muskler.

#### Progression af øvelserne

Som en yderligere progression kan patienten træne styrke og udholdenhed af de kranio-cervikale og cervikale fleksormuskler ved at foretage et løft af hovedet. Det er nødvendigt at sikre, at denne øvelse påbegyndes med kranio-cervikal fleksion efterfulgt af cervikal fleksion for at løfte hovedet ganske lidt fra sengen (figur 3a,b,c). Under den isometriske kontraktion skal den kranio-cervikale fleksionsstilling fastholdes.

Hvis patienten ikke formår at foretage dette løft af

hovedet, kan belastningen på nakkeflexorerne reduceres ved at lade vedkommende udføre opgaven i en udgangsstilling, hvor overkroppen er lejret i en vinkel på 45 grader i forhold til horisontalplanet. I klinikken kan terapeuten sørge for dette ved at anvende en justerbar behandlingsbriks. Hjemme vil patienten være nødt til at bruge puder for at opnå en lignende effekt (figur 3d).

#### EFFEKT AF TRÆNING

Træning af de dybe cervikale fleksormuskler med anvendelse af specifikke øvelser, som beskrevet ovenfor, har vist sig at være effektive til at reducere nakkesmerter og hovedpine (10). Denne indfaldsvinkel til behandling af nakkesmerter er desuden blev understøttet i en række kliniske forsøg, som har undersøgt virkningen af specifikke øvelser til genoptræning af den cervikale muskelfunktion (12,13,15). Disse studier viser, at træning af de dybe kranio-cervikale fleksorer m. longus colli og m. longus capitis med lav belastning, er effektiv til at øge aktiveringen af den dybe muskulatur, så musklerne sætter hurtigere ind, når cervikalcolumna udsættes for udefrakommende påvirkninger, der udfordrer den posturale stabilitet (11). Træningen forbedrer desuden evnen til at fastholde en rank stilling i den cervikale rygsøjle under længerevarende siddende stilling (13). Der blev derimod ikke opnået de samme gode resultater med seks ugers træning med større belastninger kombineret med udholdenhedstræning af de cervikale muskler (11,13).

#### EN KOMPONENT UD AF FLERE

Denne artikel beskriver et progressivt øvelsesprogram til genoptræning af de kranio-cervikale fleksormuskler. Genoptræning af de dybe cervikale fleksormuskler hos mennesker med kroniske nakkesmerter har i studier vist sig at formindske nakkesmerter og forbedre forskellige dele af muskelfunktionen. Ikke desto mindre skal specifikke øvelser betragtes som én komponent i et multimodalt rehabiliteringsforløb for patienter med nakkesmerter, som inkluderer uddannelse og afklaring af forsikringsforhold, manuel terapi, tilskyndelse til normal aktivitet, samt ergonomiske strategier. ■

#### fakta om...

Du kan downloade Kirsten Kaya Roessler og Pernille Vibe Rasmussens artikel Slidrigt og fysisk aktivitet - nye erfaringer i at leve med smerte fra [www.fysio.dk->fysioterapeuten->artikelbilag](http://www.fysio.dk->fysioterapeuten->artikelbilag)

En komplet referenceliste kan downloades fra [fysio.dk->fysioterapeuten->artikelbilag](http://www.fysio.dk->fysioterapeuten->artikelbilag)

**Deborah Falla: Smerter fører til dysfunktion i de dybe cervikale nakkefleksorer.  
Fysioterapeuten nr. 16 2007, p. 8-12.**

**Referencer**

1. Oatis CA. *Kinesiology: The Mechanics and Pathomechanics of Human Movement*. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins; 2004.
2. Boyd Clark LC, Briggs CA, Galea MP. Muscle spindle distribution, morphology, and density in longus colli and multifidus muscles of the cervical spine. *Spine* 2002;27(7):694-701.
3. Conley MS, Meyer RA, Bloomberg JJ, Feedback DL, Dudley GA. Noninvasive analysis of human neck muscle function. *Spine* 1995;20(23):2505-2512.
4. Mayoux-Benhamou MA, Revel M, Vallee C, Roudier R, Barbet JP, Bary F. Longus Colli has a postural function on cervical curvature. *Surg Radiol Anat* 1994;16:367-371.
5. Vasavada AN, Li S, Delp SL. Influence of muscle morphometry and moment arms on the moment-generating capacity of human neck muscles. *Spine* 1998;23(4):412-422.
6. Kettler A, Hartwig E, Schultheiss M, Claes L, Wilke HJ. Mechanically simulated muscle forces strongly stabilize intact and injured upper cervical spine specimens. *J Biomech* 2002;35:339-346.
7. Winters JM, Peles JD. Neck muscle activity and 3D head kinematics during quasistatic and dynamic tracking movements. In: Winters JM, Woo SL-Y, editors. *Multiple Muscle Systems: Biomechanics and movement organisation*. New York: Springer-Verlag; 1990. p 461-480.
8. Janda V. Muscles and motor control in cervicogenic disorders: Assessment and Management. In: Grant R, editor. *Physical therapy of the cervical and thoracic spine*. 2nd ed. New York: Churchill Livingstone; 1994. p 195-216.
9. Falla D, Jull G, Dall'Alba P, Rainoldi A, Merletti R. An electromyographic analysis of the deep cervical flexor muscles during cranio-cervical flexion. *Phys Ther* 2003;83:899-906.
10. Jull G, Trott P, Potter H, Zito G, Niere K, Shirley D, Emberson J, Marschner I, Richardson C. A randomized controlled trial of exercise and manipulative therapy for cervicogenic headache. *Spine* 2002;27(17):1835-1843.
11. Jull G, Falla D, Hodges P, Vicenzino B. Cervical flexor muscle retraining: physiological mechanisms of efficacy. 2005; Edinburgh, Scotland.
12. Falla D, Jull G, Hodges P, Vicenzino B. An endurance-strength training regime is effective in reducing myoelectric manifestations of cervical flexor muscle fatigue in females with chronic neck pain. *Clin Neurophysiol* 2006;117:828-837.
13. Falla D, Jull G, Russell T, Vicenzino B, Hodges P. Effect of neck exercise on sitting posture in patients with chronic neck pain. *Phys Ther* 2007;87(4):408-417.
14. Jull G, Sterling M, Kenardy J, Beller E. Does the presence of sensory hypersensitivity influence outcomes of physical rehabilitation for chronic whiplash? - A preliminary RCT. *Pain* 2007; 129(1-2):28-34
15. Jull G, Falla D, Treleaven J, Hodges P, Vicenzino B. Retraining cervical joint position sense: The effect of two exercise regimes. *J Orthop Res* 2007;25(3):404-412.
16. Watson DH, Trott PH. Cervical headache: an investigation of natural head posture and upper cervical flexor muscle performance. *Cephalalgia* 1993;13:272-284.

17. O'Leary S, Jull G, Kim M, Vicenzino B. Cranio-cervical flexor muscle impairment at maximal, moderate, and low loads is a feature of neck pain. *Man Ther* 2007;12(1):34-39.
18. Gandevia SC. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev* 2001;81:1725-1789.
19. Falla D, Jull G, Hodges PW. Patients with neck pain demonstrate reduced activation of the deep neck flexor muscles during performance of the craniocervical flexion test. *Spine* 2004;29(19):2108–2114.
20. Jull G, Barrett C, Magee R, Ho P. Further clinical clarification of the muscle dysfunction in cervical headache. *Cephalalgia* 1999;19(3):179-185.
21. Jull GA. Deep cervical flexor muscle dysfunction in whiplash. *Journal of Musculoskeletal Pain* 2000;8(1/2):143-154.
22. Jull G, Kristjansson E, Dall'Alba P. Impairment in the cervical flexors: a comparison of whiplash and insidious onset neck pain patients. *Man Ther* 2004;9(2):89-94.
23. Jull G, Amiri M, Bullock-Saxton J, Darnell R, Lander C. Cervical musculoskeletal impairment in frequent intermittent headache. Part 1: Subjects with single headaches. *Cephalalgia* 2007:In Press.
24. Chiu TT, Law E, Chiu TH. Performance of the craniocervical flexion test in subjects with and without chronic neck pain. *JOSPT* 2005;35:567-571.
25. Amiri M, Jull G, Bullock-Saxton J, Darnell R, Lander C. Cervical musculoskeletal impairment in frequent intermittent headache. Part 2: Subjects with multiple headaches. *Cephalalgia* 2007:In Press.
26. Cholewicki J, Panjabi MM, Khachatryan A. Stabilizing function of trunk flexor-extensor muscles around a neutral spine posture. *Spine* 1997;22(19):2207-2212.
27. Falla D, Jull G, Hodges PW. Feedforward activity of the cervical flexor muscles during voluntary arm movements is delayed in chronic neck pain. *Exp Brain Res* 2004;157:43-48.
28. Grimmer K. The relationship between cervical resting posture and neck pain. *Physiotherapy* 1996;82(1):45-51.
29. Hanten WP, Olson SL, Russell JL, Lucio RM, Campbell AH. Total head excursion and resting head posture: normal and patient comparisons. *Arch Phys Med Rehabil* 2000;81(1):62-66.
30. Haughie LJ, Fiebert IM, Roach KE. Relationship of forward head posture and cervical backward bending to neck pain. *J Manual Manipulative Ther* 1995;3(3):91-97.
31. Treleaven J, Jull G, Atkinson L. Cervical musculoskeletal dysfunction in post-concussional headache. *Cephalalgia* 1994;14(4):273-279.
32. Harms-Ringdahl K, Ekholm J, Schuldt K, Nemeth G, Arborelius UP. Load moments and myoelectric activity when the cervical spine is held in full flexion and extension. *Ergonomics* 1986;29(12):1539-1552.
33. Twomey L, Taylor J. Flexion creep deformation and hysteresis in the lumbar vertebral column. *Spine* 1982;7:116-122.
34. Sterling M, Jull G, Vicenzino B, Kenardy J, Darnell R. Development of motor dysfunction following whiplash injury. *Pain* 2003;103:65-73.
35. Jull G, Falla D, Treleaven J, Sterling M, O'Leary S. A therapeutic exercise approach for cervical disorders. In: Boyling JD, Jull G, editors. *Grieve's modern manual therapy: The vertebral column*. 3rd ed. United Kingdom: Elsevier; 2004.
36. Falla D, O'Leary S, Fagan A, Jull G. Recruitment of the deep cervical flexor muscles during

a postural correction exercise performed in sitting. Man Ther 2007;12(2):139-143.