

SAMMANFATTNING

Ett whiplashtrauma utsätter halsryggraden för stora krafter och kan orsaka skador på olika strukturer i nacken, ledande till exempelvis inflammatoriska förändringar, fettinfiltration, muskelfiberomvandling, störd neuromuskulär kontroll, försämrade nackmuskelfunktion samt till perifer och central sensitisering. Symtom relaterade till whiplashskadan som benämns *Whiplash Associated Disorders* (WAD) är vanligt förekommande. Siffrorna varierar i litteraturen men mer än 0,3 procent av befolkningen per år anges söka sjukvård efter whiplashtrauma. Ungefär hälften av de drabbade får någon form av kvarstående symtom som nackbesvär, huvudvärk, radikulopati, yrsel, psykisk ohälsa, sämre livskvalitet och en sänkt arbetsförmåga, ledande till stora kostnader för individ och samhälle. Som kronisk WAD räknas besvär som kvarstår längre än 6 månader. De starkast predicerande faktorerna för kvarstående besvär är högt skattad smärta och funktionsnedsättning direkt efter skadan. Träning riktad specifikt mot halsryggraden och dess muskler är den behandling där det föreligger störst evidens för effekt. Endast ett fåtal studier avseende nackspecifik träning finns när det gäller kvarstående problem. Den enda av de nackspecifika studierna som har inkluderat personer med högre grad av besvär (grad 2 och 3) visade lovande resultat för nackspecifik träning under guidning av fysioterapeut som var bättre än generell träning. En rekommendation baserad på den tillgängliga forskningen är att patienter med kvarstående WAD bör få möjlighet att pröva nackspecifik träning guidad av fysioterapeut, riktad både mot att återställa neuromuskulär funktion och öka uthålligheten i nackmusklerna.

Långvariga besvär efter whiplashtrauma

Muskuloskeletala mekanismer och fysioterapeutiska insatser



ANNELI PEOLSSON
Biträdande professor,
leg. sjukgymnast med
specialistkompetens inom
ortopedi, Institutionen
för medicin och hälsa,
fysioterapi, Linköpings
universitet

Whiplash-associerade besvär (WAD), till följd av ett whiplashtrauma är ett indirekt nacktrauma där accelerations-, decelerations-, och kompressionskrafter från huvudet fortplantas till halsryggraden. Detta leder till att nacken utsätts för höga mekaniska krafter under den pisksnärtsliknande rörelsen, även vid exempelvis bilrock i låg fart. WAD graderas i 5 olika grader enligt den modifierade Quebec Task Force-klassifikationen (1).

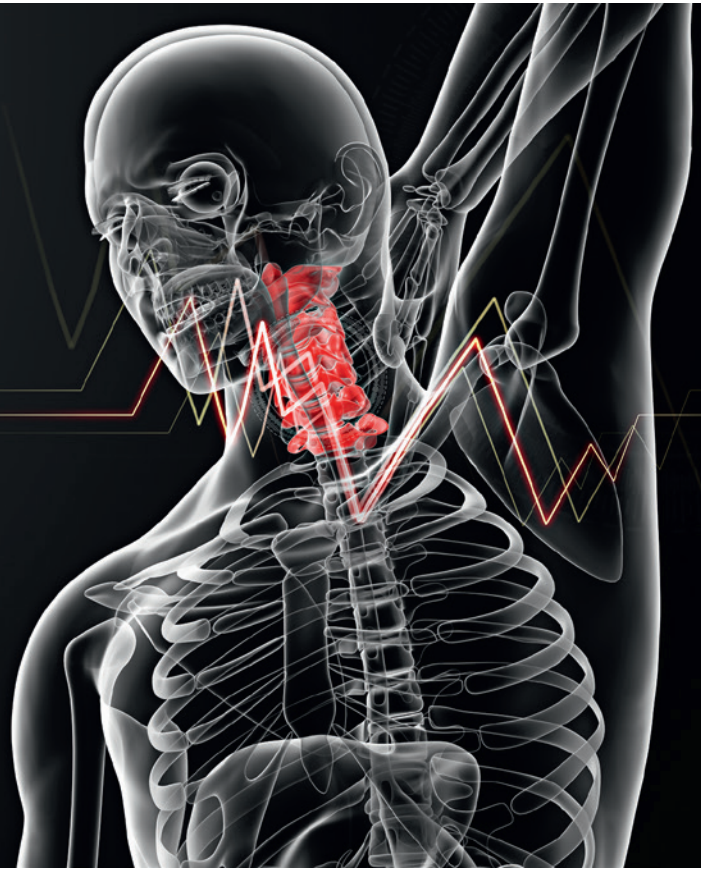
Grad 0 innebär inte några besvär. *Grad 1* innefattar självrapporterade nackbesvär i form av smärta, stelhet och ömhet som dock inte kan verifieras komma från nacken vid en klinisk undersökning. *Grad 2* innefattar nackbesvär och muskuloskeletala fynd. *Grad 3* innefattar nackbesvär och neurologiska fynd som påverkad senreflex, sensibilitet och svaghet i övre extremiteten, och *Grad 4* innefattar fraktur eller dislokation (1).

Förekomst, symtom och prediktiva faktorer för kvarstående besvär

Antalet nya patienter som årligen söker vård för whiplashrelaterade besvär beräknas vara mer än 3 per 1000 invånare i Västeuropa och Nordamerika (2, 3). I Sverige beräknas årligen 30 000 personer få

en WAD-diagnos (4). När symtomen kvarstår mer än 6 månader klassas de som kroniska (5). Så många som upp till hälften av de som får en whiplashskada (2, 6) får kvarvarande symtom av varierande grad i form av nacksmärta, nackstelhet, radikulopati, yrsel, nedsatt balans, huvudvärk, tinnitus, svälj-svårigheter, kognitiva besvär och posttraumatiskt stressstillstånd. Detta kan i sin tur leda till funktionsnedsättning, nedsatt hälsorelaterad livskvalité och sänkt arbetsförmåga med höga kostnader för både individ och samhälle (2, 4, 6). Agnew och medarbetare (7) rapporterade i en studie från Linköpings universitet att så många som 52,5 procent av de med kronisk WAD skattade en dålig till måttlig arbetsförmåga. Initiala besvär i form av hög smärta, stor funktionsnedsättning och högre WAD-grad har visats vara starka prognostiska faktorer för kvarvarande besvär (2, 8). En hög funktionsnedsättning har rapporterats ha det enskilt högsta förklaringsvärdet (46 procent) för en lågt skattad funktionsförmåga på arbetet (7). Preliminär evidens föreligger även för att psykologiska faktorer och skadeståndskrav kan vara faktorer som predicerar till kvarstående problem (2, 9), medan högre ålder och att vara kvinna verkar ha måttlig negativ påverkan (2).

I dag saknas konsensus avseende skademekanismen vid whiplash-associerade besvär. En del av symtomen kan relateras till olika strukturer i halsryggraden såsom muskler, ligament, facettleder, diskar, och nerver där perifer och central sensitisering kan bidra till långvariga besvär.



Skademekanism vid WAD

I dagsläget saknas konsensus avseende skademekanismen vid WAD. En del av symtomen vid WAD kan relateras till olika strukturer i halsryggraden såsom muskler, ligament, facettleder, diskar, och nerver (10–16) där perifer och central sensitisering kan bidra till långvariga besvär (17, 18). Orsaken till central sensitisering är inte klarlagd men oläkta skador som orsakar nociceptiv stimuli och psykologiska mekanismer anses bidra till sensitiseringen (17, 19). Söderlund (20) föreslår att en beteendemedicinsk approach bör ingå vid behandlingen för att stärka tilltro till egen förmåga, minska rörelserädsla och att hjälpa patienten till mer aktiva copingstrategier av akuta whiplashskador för att minska risken för långvariga besvär.

Muskuloskeletal patologi och dess fysiologiska och symptomatiska konsekvenser

Elliott och kollegor (21–24) har i ett flertal studier påvisat morfologiska degenerativa förändringar hos individer med WAD i form av fettinfiltration i de djupa dorsala (multifiderna) och ventrala (longus colli/longus capitis) nackmuskeln hos de med

högre besvärsgrad (21–24) och de tros vara en viktig faktor för utvecklandet av kvarstående problematik. Elliotts fynd av ökad fettinfiltration i nackmuskeln har även verifierats i en studie vid Linköpings universitet (25). Fettinfiltrationen särskiljer de med WAD inte bara från friska utan även från individer med ospecifika nackbesvär utan anamnes av trauma (23). Mekanismen bakom fettinfiltrationen är oklar men tros bero på segmentell nervirritation, skada på segmentella strukturer som facettled, disk eller muskeln i sig vilket kan provocera en inflammatorisk reaktion (26, 27). Preliminär evidens föreligger även för att centrala mekanismer orsakade av exempelvis posttraumatisk stress kan orsaka förändringar i muskeln genom en reducerad alfa-motorneuron-funktion (22). Sannolikt kan även rörelserädsla och minskad fysisk aktivitet efter skada inverka. Likaså har kemiska förändringar med högre halter av serotonin och interleukin setts i trapeziusmuskeln hos individer med kronisk WAD (28) jämfört med friska, vilket tyder på pågående perifera nociceptiva processer. Linnman och medarbetare (29) visade med PET-kamera att perifera inflammatoriska processer i nacken pågick hos individer med kronisk WAD. ➤

- Muskelfunktionen i halsryggraden är mycket viktig. Till de primära dorsala nackmuskeln räknas från ytligt till djupt: splenius capitis, semispinalis capitis, de craniocervikala extensorerna (rectus capitis posterior major och minor samt obliquus capitis superior och inferior) samt rotatores och multifidus. Den dorsala multifidusmuskeln har tillsammans med de djupa ventrala nackmuskeln en stabiliserande funktion på halsryggraden, och till skillnad från i ländryggen fäster stråk av multifidusmuskeln ändå in mot facettledskapseln (30), vilket gör att led och muskel sannolikt kan påverka varandra mer i halsryggraden än i ländryggen. Semispinalis capitis är den största av extensormuskeln i nacken med stor momentarm och kan därmed utveckla stor extensionskraft på nacken (31, 32). Till de primära nackflexorerna räknas: sternocleidomastoideus, scalenerna, de djupa longus capitis och longus colli samt den i övre nacklederna belägna rectus capitis anterior. Den primära funktionen för longus capitis är att vara en craniocervical flexor (33) medan longus colli primärt har en stabiliserande och postural funktion och anses ha större betydelse för den cervikala kurvaturen än longus capitis (34, 35). Därtill kommer stora ytliga muskler som trapezius och levator scapulae vilka har stor påverkan på nacken men som räknas som primära skuldermuskler.

Då de djupa nackmuskeln och då särskilt longus colli och multifidus innehåller en stor andel känselkroppar (36, 37) kan en ökad fettinfiltration enligt ovan beskrivet inte enbart leda till en sämre kontraktilitet i de aktuella muskeln utan även bidra till ett försämrat samspel mellan de olika muskellagren i nacken. En förändrad funktion i nackmuskeln och ett stort samspel mellan de olika muskellagren i halsryggraden, både ventralt och dorsalt har setts i ett flertal studier både för individer med långvariga ospecifika besvär (39–42) och för kroniska WAD patienter (43–45).

Diagnostisering av nackmuskelfunktion är svår; yt-elektromyografi kan endast fånga signaler från ytliga muskler, vajer/nål elektromyografi är en invasiv metod som kan vara smärtsam och som mäter enstaka motorneuron medan magnetresonans-tomografi är ytterst kostsam och svårtillgängligt för fysioterapeuter och inte kan registrera muskelarbete i realtid. Peterson och medarbetare (45) använde innovativ teknik med ultraljud där ultraljudsfilmer över muskeln i arbete spelades in och analyserades i efterhand med så kallad *speckle tracking* (mönsterigenkännande) för att icke-invasivt kunna studera hur muskeln i de olika lagren kontraheras och förlängs i realtid under olika typer av rörelser. Fler publikationer av Peterson och forskarkollegor är under publicering och visar

intressanta resultat där samspelet mellan de olika muskellagren i halsryggraden separeras mellan kroniska WAD-patienter och friska vid olika funktionella rörelser (opublicerad data Gunnel Peterson och Anneli Peolsson, Linköpings universitet).

Individer med kronisk WAD har även påvisats ha lägre nackrörlighet och en sämre nackmuskeluthållighet än ålders- och könsmatchade friska kontroller (46), och individer med kronisk nacksmärta har påvisat högre uttrötthet i nackmuskeln (47–49). Även muskelfiberomvandling till högre andel typ 2-fibrer i multifidusmuskeln har rapporterats hos individer med nackbesvär (50). En störd muskelfunktion kan möjligen även predisponera för recidiv (51). Den försämrade funktionen av den djupa muskulaturen tros inte återställas med automatik utan specifika träningsövningar behövs.

En störd nackmuskelfunktion med dåligt fungerande djupa muskler och spända, uttrötta ytliga muskler kan leda till en konflikt för hjärnan, med information från nacken gentemot synen och balansorganen i örat, och leda till försämrad ögahandkoordination, försämrad känsla av huvudets position i rummet, yrsel och balansproblem (52–54), problem som hos en del individer kan upplevas som att de i större utsträckning än smärtan påverkar hälsorelaterad livskvalitet.

Fysioterapeutisk behandling

Resultat från systematiska litteraturgranskningar

Systematiska litteraturgranskningar där resultat från olika studier granskas och sammanvägs är viktiga för skapande av evidens för respektive mot olika behandlingsmetoder. Som exempel kan nämnas att med *stark evidens* menas att det finns ett starkt vetenskapligt underlag där resultatet från minst två välgjorda större studier stödjer varandra medan det för *moderat evidens* kräver en stor välgjord studie tillsammans med minst två mindre studier vars resultat pekar åt samma håll. Att poängtera är att *avsaknad av evidens* ofta beror på avsaknad av välgjorda forskningsstudier i aktuellt ämne och inte ska tolkas som bevis för bristande effekt av behandlingsmetod.

För individer med mekanisk nacksmärta, där WAD av olika grader och duration är inkluderat finns stark evidens för att träning är effektivt (55–58). För att träningen ska vara effektiv ska den vara specifikt riktad till nackmuskulaturen (55–57) i form av dynamisk styrketräning mot motstånd (55). Även cervikal proprioceptiv träning, ögonfixationsövningar (55, 57), nackmuskeltöjning (56) och töjning och styrketräning av skulderstabilisatorerna bör ingå (56). Träningen kan även med fördel kombineras med manuell terapi (56–58), även om effekten på längre sikt inte är lika god som på kort sikt (Miller



För individer med mekanisk nacksmärta, där WAD av olika grader och duration är inkluderat finns stark evidens för att träning är effektivt. För att träningen ska vara effektiv ska den vara specifikt riktad till nackmuskulaturen i form av dynamisk styrketräning mot motstånd.

m.fl. 2010). Vissa positiva effekter har även rapporterats för lågnivå laserterapi, 830 eller 904 nm, (57) och på kort sikt rapporteras intermitterant nacktraktion och akupunktur för att lindra smärta (57).

Avseende akut WAD fann Seferiadis och medarbetare (59) i sin översiktsartikel evidens för att tidig fysisk aktivitet var att rekommendera, samt att träningsterapi inriktad på koordinationsövningar och kognitiv beteendearterad terapi i kombination med fysioterapi var effektiv. Whiplashkommissionen (4) betonade att åtgärderna är beroende av smärntintensitet och WAD-grad, att återgång i normal aktivitet ska ske så snart som möjligt och att tidig egen träning i form av promenader, huvud/- axelrörelser och avspänning är bra i det akuta skedet. Om det föreligger kvarstående problem efter en månad med påverkan på aktivitet i dagligt liv (ADL) och arbete rekommenderade whiplashkommissionen (4) att en samordnad multiprofessionell bedömning och vid behov multiprofessionell behandling genomförs. Verhagen och medarbetare (60) kom till slutsatsen att det inte fanns vetenskapligt stöd vare sig för eller mot någon form av konservativ behandling, fysioterapi inkluderat, vid vare sig akut, subakut eller kronisk WAD. Teasell och kollegor (61, 62) kom i sina översiktsartiklar till samma konklusion som Seferiadis och medarbetare (59) och Whiplashkommissionen (4) och rekommenderade en aktiv strategi med fysisk aktivitet och träning för de med akut WAD. För kronisk WAD hade träningsövningar högst evidens (61, 63), medan det fanns begränsad

evidens för multiprofessionell behandling (63). Visst stöd fanns även för ledmanipulation och myofeedbackträning (63). Med undantag av evidens för specifik träning vid kronisk WAD, så saknas därmed evidens för de flesta fysioterapeutiska tekniker för kronisk WAD, dock ska fysioterapeuten ha i minne att otillräcklig evidens även finns för andra behandlingar såsom som exempelvis kirurgi och injektioner (64).

Beskrivning av relevanta randomiserade studier om kroniska whiplash-associerade besvär

Som tidigare nämnts finns starkast evidens för att träning och då särskilt nackspecifik träning är till nytta för individer med kronisk WAD (55–58). Dock saknas ännu evidens för hur denna träning ska ske på bästa sätt och det finns ingen evidens för att en övning skulle vara att föredra framför någon annan, mestadels på grund av bristande studieunderlag och kvalitet (avsaknad av stora välgjorda randomiserade kontrollerade studier). Då det i de flesta interventionsstudier handlar om akut WAD finns få randomiserade studier avseende individer med kronisk WAD och ännu färre fokuserar på att undersöka effekten av specifik nackmuskelträning. Vidare har endast Stewart med kollegor (65) och Ludvigsson och medarbetare (66) inkluderat individer med WAD grad 3.

Söderlund och Lindberg (67) jämförde fysioterapi gentemot tillägg av en fysioterapeutisk beteendemedicinsk intervention för individer med kronisk ►

”Patienter med kvarstående WAD bör få pröva nackspecifik träning guidad av fysioterapeut under en längre period.”

- WAD vilket inte resulterade i några signifikanta skillnader mellan de båda grupperna avseende smärtintensitet och självskattad nackspecifik funktion.

Vikne och medarbetare (68) jämförde fysioterapi plus hemträning gentemot nackspecifik träning med en specialutvecklad slynga (tänkt som ett redskap att särskilt träna neuromuskulär kontroll) plus hemträning för individer med kronisk WAD utan skillnad mellan grupperna i resultat.

Stewart med kollegor (65) rapporterade att det inte förelåg någon skillnad i resultat för enbart råd gentemot råd och 6 veckors träning innefattande generell träning med en beteendemedicinsk approach vid kronisk WAD.

Cameron och medarbetare (69) jämförde elektroakupunktur med simulerad elektroakupunktur för individer med subakut eller kronisk WAD och fann en kvarstående smärtreduktion för elektroakupunkturgruppen som var kvarstående även vid 6 månaders uppföljning, men ingen påverkan på funktion sågs.

Michaleff och medarbetare (70) fann att det avseende smärtintensitet inte var någon skillnad mellan fysioterapeutiska råd och träning vid kronisk WAD. Sterling med medarbetare (71) fann att dryneedling i kombination med träningsövningar för individer med kronisk WAD hade en aning bättre effekt avseende funktion än simulerad dryneedling i kombination med träningsövningar. Effekten var statistiskt signifikant men dock så liten att författarna (71) inte ansåg den vara klinisk relevant.

I studien av Ludvigsson och medarbetare (66) utförd på Linköpings universitet jämfördes tre olika träningsinterventioner: nackspecifik träning med eller utan kombination av en beteendemedicinsk intervention gentemot fysisk aktivitet på recept (FAR). Både då interventionen avslutades efter tre månaders träning och vid 6-månadersuppföljningen hade de individer som tränat nackspecifik träning mindre problem med smärta, bättre självskattad nackspecifik funktion och en högre tilltro till sin egen förmåga (self-efficacy). Det förelåg ingen skillnad mellan de som enbart hade erhållit nackspecifik träning gentemot dem som dessutom hade erhållit en beteendemedicinsk approach (66).

Noterbart är att 29 procent respektive 48 procent

av individerna i de båda nackspecifika grupperna hade minst 50 procents minskning i besvär av smärtan medan motsvarande siffror för FAR endast var 5 procent (66). De goda resultaten i studien av Ludvigsson och medarbetare håller även i sig vid uppföljning 1 och 2 år efter studiestart, och övriga variabler som är under analyserande visar ett enhetligt resultat med förbättring av de båda nackspecifika grupperna medan de i FAR-gruppen förblir i det närmaste oförändrade eller till och med försämrade (opublicerad data av Maria Landén Ludvigsson, Gunnel Peterson och Anneli Peolsson, Linköpings universitet).


Träningsprogrammet enligt studien av Ludvigsson och medarbetare (66) kan laddas ned som pdf-fil från hemsidan för avdelningen för fysioterapi, Linköpings universitet. *Länk återfinns i slutet av denna artikel.*

Endast i studierna av Vikne med kollegor (68), Michaleff och medarbetare (70) och Ludvigsson och medarbetare (66) går det att utläsa att träningen har innehållit övningar specifikt riktade mot nackmuskulerna. Till skillnad mot studierna av Vikne och medarbetare (68) och Michaleff och kollegor (70) inkluderades både WAD grad 2 och 3 i studien av Ludvigsson och medarbetare (66) och den verkar även vara den enda studie där individerna har fått specifikt träna både de djupa stabiliserande nackmuskulerna för förbättrad neuromuskulär kontroll följt av stabiliserings- och uthållighetsträning generellt av nackmuskulerna, vilket skulle kunna förklara skillnaderna i effekt mellan studierna och den goda effekt sedd i studien av Ludvigsson och medarbetare (66).

Intressant att notera är även att en mindre pilotstudie påvisade att fettinfiltration sedd i nackmuskulerna hos kvinnor med kronisk whiplash är påverkbara med nackspecifik träning (72), vilket känns lovande inför framtiden, konkluderar evidensläget och sammanfattar vikten av nackspecifik träning guidad av fysioterapeut för de med kronisk WAD.

Slutsats och klinisk rekommendation

På basis av de sammantagna forskningsresultaten kan rekommenderas att patienter med kvarstående WAD bör få möjlighet att pröva nackspecifik träning

guidad av fysioterapeut under en längre period om cirka 3 månader riktad både mot att återställa neuromuskulär funktion och öka uthålligheten i nackmusklerna. 

Länk till träningsprogram enligt Ludvigsson och medarbetare:

<https://www.imh.liu.se/fysioterapi/Medarbetare/ap/1.625304/Trningsprogramnackstabiliseringsvensktextdel1-4.150217.pdf>

Forskningsartiklarna i sin helhet kan nås via

https://www.researchgate.net/profile/Anneli_Peolsson

REFERENSER

1. Spitzer WO, Skovron ML, Salmi LR, Cassidy JD, Duranceau J, Suissa S, Zeiss E. Scientific monograph of the Quebec Task Force on whiplash-associated disorders redefining "whiplash" and its management. *Spine* 1995;20:S1-73.
2. Holm LW, Carroll LJ, Cassidy JD, Hogg-Johnson S, Cote P, Guzman J, et al. The burden and determinants of neck pain in whiplash-associated disorders after traffic collisions: results of the bone and joint decade 2000-2010 task force on neck pain and its associated disorders. *Spine*. 2008;33:S52-9.
3. Jansen GB, Edlund C, Grane P, Hildingsson C, Karlberg M, Link H, Måwe U, Portala K, Rydevik B, Sterner Y, Swedish Society of Medicine, Whiplash Commission Medical Task Force. Whiplash injuries: diagnosis and early management. The Swedish Society of Medicine and the Whiplash Commission Medical Task Force. *Eur Spine J* 2008;17:S355-417.
4. The Whiplash Commission Final Report. Sandviken; 2005, ISBN 91-975655-4-7. [http://www.whiplashkommissionen.se/pdf/WK_finalreport.pdf]. Accessed March 4, 2012.
5. Rodrigues AA, Barr KP, Burns SP. Whiplash: pathophysiology, diagnosis and treatment and prognosis. *Muscle Nerve* 2004;29:768-81.
6. Leth-Petersen S, Rotger GP. Long-term labour-market performance of whiplash claimants. *J Health Econ* 2009;28:996-1011.
7. Agnew L, Johnston V, Landén Ludvigsson M, Peterson G, Overmeer T, Johansson G, Peolsson A. Factors associated with work ability in patients with chronic whiplash-associated disorder grade II-III: A cross-sectional analysis. *J Rehabil Med*. 2015;47:546-51.
8. Williamson E, Williams MA, Gates S, Lamb SE. Risk factors for chronic disability in a cohort of patients with acute whiplash associated disorders seeking physiotherapy treatment for persisting symptoms. *Physiother* 2015;101:34-43.
9. Sterling M, Chadwick BJ. Psychologic process in daily life with chronic whiplash: relations of posttraumatic stress symptoms and fear-of-pain to hourly pain and uptime. *Clin J Pain* 2010;26:573-82.
10. Jonsson H, Bring G, Rauschnig W, Sahlstedt B. Hidden cervical spine injuries in traffic accident victims with skull fractures. *J Spinal Disord* 1991;4:251-63.
11. Schonstrom N, Twomey L, Taylor J The lateral atlanto-axial joints and their synovial folds: an in vitro study of soft tissue injuries and fractures. *J Trauma* 1993;35:886-92.
12. Pettersson K, Kärrholm J, Toolanen G, Hildingsson C. Decreased width of the spinal canal in patients with chronic symptoms after whiplash injury. *Spine* 1995;20:1664-7.
13. Lord SM, Barnsley L, Wallis BJ, Bogduk N. Chronic cervical zygapophysial joint pain after whiplash. A placebo-controlled prevalence study. *Spine* 1996;21:1737-44.
14. Pettersson K, Hildingsson C, Toolanen G, Fagerlund M, Björnebrink J. Disc pathology after whiplash injury: a prospective magnetic resonance imaging and clinical investigation. *Spine* 1997;22:283-7.
15. Brault JR, Siegmund GP, Wheeler JB Cervical muscle response during whiplash: evidence of a lengthening muscle contraction. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2000;15:426-35.
16. Svensson MY, Boström O, Davidsson J, Hansson HA, Håland Y, Lövsund P, Suneson A, Säljö A. Neck injuries in car collisions: a review covering a possible injury mechanism and the development of a new rear-impact dummy. *Accid Anal Prev* 2000;32:167-75.
17. Van Oosterwijck J, Nijs J, Meeus M, Paul L. Evidence for central sensitization in chronic whiplash: a systematic literature review. *Eur J Pain* 2013;17:299-312.
18. Daenen L, Nijs J, Cras P, Wouters K, Roussel N. Changes in Pain Modulation Occur Soon After Whiplash Trauma but are not Related to Altered Perception of Distorted Visual Feedback. *Pain Pract*. 2014;14:588-98.
19. Davis CG. Mechanisms of chronic pain from whiplash injury. *J Forensic Leg Med* 2013;20:74-85.
20. Söderlund A. The role of educational and learning approaches in rehabilitation of whiplash-associated disorders in lessening the transition to chronicity. *Spine* 2011;36:S280-5.
21. Elliott JM, O'Leary S, Sterling M, Hendrikz J, Pedler A, Jull G. Magnetic resonance imaging findings of fatty infiltrate in the cervical flexors in chronic whiplash. *Spine* 2010;35:948-54.

REFERENSER

- 22. Elliott JM, Dewald PA, Walton DM, Hornby TG, Parrish TB. Mechanism underlying chronic whiplash: contributions from direct spinal cord injury. *Pain Medicine* 2014;15:1938-44.
- 23. Elliott JM, Pedler AR, Jull GA, Van Wyk L, Galloway GG, O'Leary SP. Differential changes in muscle composition exist in traumatic and nontraumatic neck pain. *Spine* 2014;39:39-47.
- 24. Elliott JM, Courtney DM, Rademaker A, Pinto D, Sterling MM, Parrish TB. The Rapid and Progressive Degeneration of the Cervical Multifidus in Whiplash: An MRI Study of Fatty Infiltration. 2015;40:E694-700.
- 25. Peolsson A, Karlsson A, West J, Åslund U, Smedby Ö, Zsigmond P, Dahlqvist Leinhard O. Increased fatty infiltration of the multifidus muscle in individuals with severe disability due to chronic whiplash-associated disorders. The World confederation for physical therapy congress (WCPT), Singapore 1/5-4/5 2015. Oral platform presentation.
- 26. Nukuda H, McMorran D, Shimizu J. Acute inflammatory demyelination in reperfusion nerve injury. *Ann Neurol* 2000;47:71-9.
- 27. Taylor J, Taylor M. Cervical spine injuries: an autopsy study of 109 blunt injuries. *J Musculoskeletal Pain* 1996;4:61-79.
- 28. Gerdle B, Lemming D, Kristiansen J, Larsson B, Peolsson M, Rosendal L. Biochemical alterations in the trapezius muscle of patients with chronic whiplash associated disorders (WAD)-a microdialysis study. *Eur J Pain*. 2008;12:82-93.
- 29. Linnman C, Appel L, Fredrikson M, Gordh T, Söderlund A, Långström B, Engler H. Elevated [¹¹C]-D-deprenyl uptake in chronic Whiplash Associated Disorder suggests persistent musculoskeletal inflammation. *PlosOne* 2011;6:e19182.
- 30. Anderson JS, Hsu AW, Vasavada AN. Morphology, architecture, and biomechanics of human cervical multifidus. *Spine* 2005;30:E86-91.
- 31. Vasavada A, Li S, Delp SL. Influence of muscle morphometry and moment arms on the moment-generating capacity of human neck muscles. *Spine Journal* 1998;23:412-22.
- 32. Peolsson A, Peolsson M, Jull G, Löfstedt T, Trygg J, O'Leary S. Preliminary evaluation of dorsal muscle activity during resisted cervical extension in patients with longstanding pain and disability following anterior cervical decompression and fusion surgery. *Physiotherapy* 2015;101:69-74.
- 33. Cagnie B, Dickx N, Peeters I, Tuytens J, Achten E, Cambier D, Danneels L. The use of functional MRI to evaluate cervical flexor activity during different cervical flexion exercises. *J Appl Physiol* 2008;104:230-235.
- 34. Falla D, O'Leary S, Fagan A, Jull G. Recruitment pattern of the deep cervical flexor muscles during a postural correction exercise performed in sitting. *Man Ther* 2007;12:139-43.
- 35. Mayoux-Benhamou MA, Revel M, Roudier R, Barbet JP, Bary F (1994) Longus colli has a postural function on cervical curvature. *Surg Radiol Anat* 16:367-71.
- 36. Richmond FJ, Abrahams VC. Morphology and distribution of muscle spindles in dorsal muscles of the cat neck. *J Neurophysiol* 1975;38:1322-39.
- 37. Muscle spindle distribution, morphology, and density in longus colli and multifidus muscles of the cervical spine. *Spine* 2002;27:694-701.
- 38. O'Leary S, Falla D, Elliott JM, Jull G. Muscle dysfunction in cervical spine pain: implications for assessment and management. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2009;39:324-33.
- 39. Falla D, Farina D. Neural and muscular factors associated with motor impairment in neck pain. *Curr Rheumatol Rep*. 2007;9:497-502.
- 40. Falla D, O'Leary S, Farina D, Jull G. Association between intensity of pain and impairment in onset and activation of the deep cervical flexors in patients with persistent neck pain. *Clin J Pain*. 2011;27:309-14.
- 41. Falla D, O'Leary S, Farina D, Jull G. The change in deep cervical flexor activity after training is associated with the degree of pain reduction in patients with chronic neck pain. *Clin J Pain*. 2012;28:628-34.
- 42. Boudreau SA, Falla D. Chronic neck pain alters muscle activation patterns to sudden movements. *Exp Brain Res* 2014 Jun;232:2011-20.
- 43. Falla D, Bilenkij G, Jull G. Patients with chronic neck pain demonstrate altered patterns of muscle activation during performance of a functional upper limb task. *Spine* 2004;29:1436-40.
- 44. Schomacher J, Farina D, Lindstroem R, Falla D. Chronic trauma-induced neck pain impairs the neural control of the deep semispinalis cervicis muscle. *Clin Neurophysiol*. 2012;123:1403-8.
- 45. Peterson G, Dederig Å, Andersson E, Nilsson D, Trygg J, Peolsson M, Wallman T, Peolsson A. Altered ventral neck muscle deformation for individuals with whiplash associated disorder compared to healthy controls - a case-control ultrasound study. *Man Ther* 2015;20:319-27.
- 46. Peolsson A, Ludvigsson ML, Wibault J, Dederig Å, Peterson G. Function in patients with cervical radiculopathy or chronic whiplash-associated disorders compared with healthy volunteers. *J Manipulative Physiol Ther*. 2014 May;37:211-8.
- 47. Falla D, Rainoldi A, Merletti R, Jull G. Myoelectric manifestations of sternocleidomastoid and anterior scalene muscle fatigue in chronic neck pain patients. *Clin Neurophysiol* 2003;114:488-95.
- 48. Falla D, Farina D. Muscle fiber conduction velocity of the upper trapezius muscle during dynamic contraction of the upper limb in patients with chronic neck pain. *Pain*. 2005;116:138-45.
- 49. Halvorsen M, Abbott A, Peolsson A, Dederig Å. Endurance and fatigue characteristics in the neck muscles during sub-maximal isometric test in patients with cervical radiculopathy. *Eur Spine J* 2014;23:590-8.
- 50. Uhlig Y, Weber BR, Grob D, Muntener M. Fiber composition and fibre transmissions in neck muscles of patients with dysfunction of the cervical spine. *J Orthop Res* 1995;13:240-9.
- 51. Hides JA, Jull GA, Richardson CA. Long-term effects of specific stabilizing exercises for first-episode low back pain. *Spine* 2001;26:E243-8.
- 52. Treleaven J, Jull G, LowChoy N. The relationship of cervical joint position error to balance and eye movement disturbances in persistent whiplash. *Man Ther*. 2006;11:99-106.
- 53. Treleaven J. Dizziness, unsteadiness, visual disturbances, and postural control: implications for the transition to chronic symptoms after a whiplash trauma. *Spine* 2011;36:S211-7.
- 54. McPartland JM, Brodeur RR, Hallgren RC. Chronic neck pain, standing balance, and suboccipital muscle atrophy-a pilot study. *J Manipulative Physiol Ther*. 1997;20:24-9.
- 55. Sarig-Bahat H. Evidence for exercise therapy in mechanical neck disorders. *Man Ther* 2003;8:10-20.
- 56. Kay TM, Gross A, Goldsmith C, Santaguida PL, Hiving J, Bronfort G, Cervical overview group. Exercises for mechanical neck disorders. *Cochrane Database Syst Rev* 2005;CD004250.
- 57. Gross AR, Goldsmith C, Hoving JL, Haines T, Peloso P, Aker P, Santaguida P, Myers C, cervical overview group. Conservative management of mechanical neck disorders: a systematic review. *J Rheumatol* 2007;34:1083-1102.
- 58. Miller J, Gross A, D'Sylva J, Burnie SJ, Goldsmith CH, Graham N, Haines T, Brønfort G, Hoving JL. Manual therapy and exercise for neck pain: a systematic review. *Man Ther* 2010;15:334-54.
- 59. Seferiadis A, Rosenfeld M, Gunnarsson R. A review of treatment interventions in whiplash-associated disorders. *Eur Spine J* 2004;13:387-97.
- 60. Verhagen AP, Scholten-Peeters GG, van Wijngaarden S, de Bie RA, Bierma-Zeinstra SM. Conservative treatments for whiplash. *Cochrane Database Syst Rev*. 2007 Apr 18;(2):CD003338.
- 61. Teasell RW, McClure JA, Walton D, Pretty J, Salter K, Meyer M, Sequira K, Death B. A research synthesis of therapeutic interventions for whiplash-associated disorder: part 1- overview and summary. *Pain Res Manag* 2010;15:287-94.
- 62. Teasell RW, McClure JA, Walton D, Pretty J, Salter K, Meyer M, Sequira K, Death B. A research synthesis of therapeutic interventions for whiplash-associated disorder (WAD): part 2 - interventions for acute WAD. *Pain Res Manag* 2010;15:295-304.



REFERENSER

- 63. Teasell RW, McClure JA, Walton D, Pretty J, Salter K, Meyer M, Sequira K, Death B. A research synthesis of therapeutic interventions for whiplash-associated disorder (WAD): part 4 – noninvasive interventions for chronic WAD. *Pain Res Manag* 2010;15:313-22.
- 64. Teasell RW, McClure JA, Walton D, Pretty J, Salter K, Meyer M, Sequira K, Death B. A research synthesis of therapeutic interventions for whiplash-associated disorder (WAD): part 5 – surgical and injection-based interventions for chronic WAD. *Pain Res Manag* 2010; 15:323-34.
- 65. Stewart MJ, Maher CG, Refshauge KM, Herbert RD, Bogduk N, Nicholas M. Randomized controlled trial of exercise for chronic whiplash-associated disorders. *Pain* 2007;128:59-68.
- 66. Ludvigsson ML, Peterson G, O'Leary S, Dederig Å, Peolsson A. The effect of neck-specific exercise with, or without a behavioral approach, on pain, disability and self-efficacy in chronic whiplash-associated disorders: a randomized clinical trial. *Clin J Pain* 2015;31:294-303.
- 67. Söderlund A, Lindberg P. Cognitive behavioural components in physiotherapy management of chronic whiplash associated disorders (WAD): a randomised group study. *G Ital Med Lav Ergon* 2007;29(S):A5-11.
- 68. Vikne J, Oedegaard A, Laerum E, Ihlebaek C, Kirkesola G. A randomized study of a new sling exercise treatment vs traditional physiotherapy for patients with chronic whiplash-associated disorders with unsettled compensation claims. *J Rehabil Med* 2007;39:252-9.
- 69. Cameron ID, Wang E, Sindhusake D. A randomized trial comparing acupuncture and simulated acupuncture for subacute and chronic whiplash. *Spine* 2011;36:E1659-65.
- 70. Michaleff ZA, Maher CG, Lin CWC, Rebeck T, Jull G, Latimer J, Connelly L, Sterling M. Comprehensive physiotherapy exercise programme or advice for chronic whiplash (PROMISE): a pragmatic randomized controlled trial. *Lancet* 2014;384:133-141.
- 71. Sterling M, Vicenzino B, Souvlis T, Connelly LB. Dry-needling and exercise for chronic whiplash-associated disorders: a randomized single-blind placebo-controlled trial. *Pain* 20015;156:635-43.
- 72. O'Leary S, Jull G, Van Wyk L, Pedler A, Elliott J. Morphological changes in the cervical muscles of women with chronic whiplash can be modified with exercise- a pilot study. *Muscle & Nerve* 2015, Feb 20. [Epub ahead of print]