

## Träning av den bålstabiliserande muskulaturen vid ländryggssmärta

EVA RASMUSSEN BARR

### Sammanfattning

Under det senaste decenniet har det varit mycket fokus på vikten av specifik och integrerad muskelaktivitet runt bålen för att uppnå en god bålstabilitet. 'Stabiliserings-träning, funktionell träning och 'core' är begrepp som blivit välkända när det gäller både prevention och behandling av ryggbesvär inom såväl primärvård som idrottsmedicin och friskvård. De studier av den bålstabiliserande muskulaturens funktion och aktivitetsmönster som hittills är gjorda har gett oss ett perspektiv av hur den neuro-motoriska kontrollen av dessa kan tänkas fungera. Detta har i sin tur gett oss grunden till en metodik för träning att basera vår evidensbaserade praktik på. Det är dock viktigt att vi tillsammans med befintlig forskning använder oss av vår kliniska kunskap för att bedöma vilka patienter som ska träna på vilket sätt. Denna artikel syftar till att ge en överblick över forskning kring den segmentellt och generellt stabiliserande bål-muskulaturen kring ryggraden. I artikeln diskuteras också kliniskt relevanta träningsstudier

**Eva Rasmussen Barr**, Leg. sjukgymnast, Med.dr., Specialist Ortopedisk Manuell Terapi, Institutionen för Neurobiologi, Vårdvetenskap och Samhälle, Sektionen för sjukgymnastik, Karolinska Institutet och Ortoped Medicinskt Center, Stockholm

**LÄNDRYGGSBESVÄR** är en av de vanligaste orsakerna till att personer söker behandling inom öppenvården (1). I SBU:s rapport om ryggbesvär konstateras att ländryggssmärta är vanligt förekommande men sällan tecken på någon allvarlig sjukdom (2). De flesta blir bättre efter en akut smärtperiod, men man räknar med att upp mot 86 procent kan få återkommande ryggsmärta inom eller efter ett år (3-6). Detta medför mycket lidande för individen och orsakar stora kostnader för samhället (2,7,8).

Av alla personer med ländryggbesvär anses endast fem till femton procent ha en specifik diagnos som till exempel diskbråck, resten beräknas ha ospecifik ländryggssmärta (9,10).

Träning är en av få evidensbaserade metoder för att behandla återkommande och långvarig ospecifik ländryggssmärta (1,9,11).

Hur stor effekt träning har på patientens skattade smärt- och aktivitetsnivå på kort och lång sikt anses kunna bero på en rad olika faktorer, både fysiska och psyko-sociala (12). Till dags dato finns inte tillräcklig kunskap om vilken aktivitet eller vilken träning som är bäst för vilken typ av ryggbesvär (13,14). Fortsatt forskning och utvärdering rekommenderas därför och då särskilt nyttan av specifika träningsmetoder. Studier av bålstabiliserande trä-

ning i mer specificerade subgrupper av patienter skulle ge värdefull kunskap (15).

### Vad innebär begreppet stabiliseringsträning?

Under det senaste decenniet har det varit mycket fokus på vikten av specifik och integrerad muskelaktivitet runt bålen för att uppnå en god bålstabilitet (16-18).

'Segmentell stabiliseringsträning', 'bålstabiliserande träning', 'funktionell träning' och 'core' är begrepp som blivit välkända när det gäller både prevention och behandling av ryggsbesvär inom såväl primärvård som idrottsmedicin och friskvård. Metodiken skiljer sig till viss del mellan segmentell stabiliseringsträning och bålstabiliserande träning. Segmentell stabiliseringsträning avser att påverka stabiliteten och kontrollen runt ryggssegmentet, medan den bålstabiliserande träningen kan innebära mer generellt bålstabiliserande övningar

Metodiken kring *stabiliseringsträning* baserar sig på forskning av aktivitetsmönster och funktion hos den muskulatur som anses vara speciellt viktig för den segmentella stabiliteten; m.Transversus Abdominis (TrA) (19-22) och m.Multifidus (MF) (23-25). Även betydelsen av diafragmans (26) och bäckenbottenmuskulaturens (27,28) funktion för ryggradens stabilitet har studerats. Denna typ av träning är i litteraturen benämnd segmentell eller specifik stabiliseringsträning, alternativt som 'motor-control exercises', det vill säga övningar för att påverka den motoriska kontrollen.

Centrala nervsystemet koordinerar alla rörelser genom anticipatoriska, det vill säga förplanerade, eller kompensatoriska muskulära rekryteringsmönster (29,30).

Dessa rekryteringsmönster kan vara störda hos patienter med ländryggsbesvär och anses kunna öka risken för återkommande besvär (20,31-33). Rekryteringsmönster hos den segmentellt stabiliserande muskulaturen föreslås också kunna påverkas av stress eller en individs uppfattning/förväntan på smärta (34,35). Återträning av funktionen hos dessa muskler anses vara viktig för att förbättra funktion och att minska smärta hos patienter med återkommande och långvarig ländryggs smärta (16,23,36).

Att träna isolerad aktivering av den djupa stabiliserande bål-muskulaturen i kombination med funktionella övningar har i litteraturen

rapporterats öka aktivitets- och minska smärt-nivå både kort och långsiktigt hos patienter med spondylolisthes (37), post partum (38) och vid ospecifik, återkommande ländryggs-smärta (39,40).

Vilka bål-muskler som är viktigast att träna och hur de ska tränas debatteras i litteraturen (41,42). För att uppnå en god funktion runt ryggraden och omkringliggande leder så anses det dock viktigt att träna den inre segmentellt stabiliserande muskulaturen i kombination med övrig stabiliserande bål-muskulatur (18,43).

Aktivitet i det ytliga stabiliserande muskel-systemet utan aktivitet i det djupa systemet anses kunna påverka den segmentella stabiliteten negativt och öka skaderisken (44,45). Det som skiljer stabiliseringsträning från till exempel styrketräning är att det initialt är viktigare att utföra övningarna korrekt än att öka belastningen; att förbättra koordination och kontroll av muskulaturen (16). Träningen kräver en stor koncentration och uppmärksamhet från patienten för att kunna utföra rörelserna på rätt sätt. Hållning och en neutral ryggrad, så kallad 'neutral spine' är viktiga begrepp i träningsmetodiken (36,46).

Funktionen hos muskler med anticipatorisk förmåga anses vara viktig för en leds stabilitet och är studerat även vid andra smärttillstånd, som knä- (47), ospecifik nack- (48) samt skuld-smärta (49). Flera författare menar att muskler med anticipatorisk postural funktion som har en nedsatt eller förändrad funktion går att återträna (50,51).

### Forskning kring bålstabilitet och musklernas funktion

Ryggraden är instabil utan muskulatur och ger vika efter en kompressionskraft som är så liten som 90 newton (44,59). En aktivering av flexor- och extensormuskulatur runt ryggraden anses vara viktig för ryggradens stabilitet. Detta benämns Euler stabilitet och anses också kunna påverka den intersegmentella kontrollen via kompression (59).

Bergmark (60) föreslog i en biomekanisk modell att ryggraden stabiliseras av ett lokalt och ett globalt muskelsystem. Den lokalt stabiliserande muskulaturen, bland annat m.Multifidus och m.Transversus Abdominis, har ett segmentnärt ursprung och/eller fäste och föreslås stabilisera och kontrollera ryggssegmentet.

De globalt stabiliserande musklerna, till exempel m. Obliquus Externus och m. Quadratus Lumborum är större muskler som spänner mellan bröstkorg och bäcken och anses viktiga för ta upp yttre krafter, stabilisera bålen samt i sin funktion röra bålen i olika plan. Vid en rörelse av bålen eller närliggande leder så förändras hela tiden kraven på ryggradens stabilitet; om rörelsen är planerad, oplanerad samt beroende på vilken belastning som ryggraden utsätts för (42,57). En god bålstabilitet anses kunna påverka såväl kraftutveckling som rörelsekaraktär i de närliggande extremitetslederna, som är viktigt vid till exempel rehabilitering inom sport och idrott (61).

Panjabi (62,63) har föreslagit hur den segmentella stabiliteten förändras eller påverkas, med en ökad belastning av ryggens ledstrukturer som följd. Han menar att stabiliteten i det spinala segmentet är beroende av tre olika subsystem:

- det passiva (leder, disk, kapsel samt ligament)
- det aktiva (muskulaturen)
- det neuro-muskulära feed-back systemet (CSN).

Det betyder att den segmentella stabiliteten inte enbart är beroende av muskulaturen utan också av en fungerande sensorisk afferens till centrala nervsystemet via bland annat ledreceptorer som via en konstant feedback styr den stabiliserande muskulaturens funktion. Vid till exempel trauma, degeneration eller ökad postural belastning på ryggssegmentets passiva strukturer föreslår Panjabi att en störd neuro-motorisk feedback kan påverka den motoriska kontrollen av den stabiliserande muskulaturen. Enligt Panjabi kan detta leda till ökad belastning på ledstrukturerna med tänkbar smärta och dysfunktion som följd. Det finns idag dock ingen klar konsensus om hur den tänkta segmentella instabiliteten ger upphov till en upplevd smärta i ländryggen (57).

#### *M. Transversus Abdominis (TrA)*

TrA är den innersta bukmuskeln. Muskelfiberriktningen är i stort horisontell och vid aktivering sker en korsettliknande aktivering runt bålen. TrA fäster mot spinal- och transversalutskott genom den thoraco-lumbala fascian (TLF). I en biomekanisk modell föreslås att en submaximal aktivitet av TrA via TLF påverkar

den segmentella stabiliteten positivt (64-65). Vid aktivering av TrA ökar också buktrycket, vilket anses bidra till stabiliseringen av ryggraden (26,66,67). TrA har föreslagits ha en anticipatorisk postural förmåga som skiljer sig från övrig bålsmuskulatur; den aktiveras före övrig muskulatur vid bålrorelser, oberoende av riktning, vid arm- eller benlyft, vid plötslig belastning samt vid gång (68-70). Dessa rekryteringsmönster kan vara störda hos patienter med ländryggsbesvär och antas öka risken för återkommande besvär (20,31-33,71).

Tsao och Hodges (72,73) har i en klinisk experimentell studie undersökt TrA:s funktion med fintråds-EMG före och efter en träningsperiod med specifik aktivering av TrA. Man fann att TrA:s aktivitetsmönster förändrades positivt efter bara ett träningsstillfälle (72). Efter en träningsperiod på fyra veckor och vid sex månaders uppföljning sågs en kvarvarande effekt av träningen på TrA:s aktivitetsmönster (73). Det gick dock inte att associera förändringen till en minskad smärtnivå eller förbättrad funktion hos försökspersonerna. En annan studie undersökte TrA:s funktion vid generellt bålstabiliserande övningar utan specifika instruktioner om att aktivera TrA (41). I denna studie fann man inget förändrat aktivitetsmönster hos TrA efter träningen, vilket skulle kunna tolkas som att det är viktigt att vara mer specifik i inlärandet av bålstabiliserande övningar. Ferreira och medarbetare (74) undersökte TrA:s aktivering vid ett benlyft med ultraljud och fann att personer med ländryggsbesvär aktiverade TrA sämre, mätt som mindre muskeltjocklek, än vad friska individer gjorde. Detta föreslås stärka evidensen av att TrA har en nedsatt funktion hos personer med ländryggsbesvär. De patienter som hade sämre aktiveringsgrad av TrA innan träningsperioden visade en större förändring av aktiveringsgrad efter träningen, vilket också var associerat med en ökad funktionsnivå (75).

#### *M. Multifidus*

M. Multifidus (MF) är den djupaste ryggmuskeln. De muskelfibrer som spänner över endast ett par ryggssegment och fäster in mot bland annat facettledens kapsel benämns i litteraturen de djupa MF (dMF). MF har sin nervförsörjning lokalt från ryggssegmentet vilket anses kunna vara en anledning och en or-

sak till förändring av MF:s morfologi och funktion vid trauma eller degeneration av ledstrukturerna. dMF föreslås ha en tonisk, stabiliserande funktion av ryggssegmentet och består av mest långsamma muskelfibrer (Typ I) (36 76-78) MF anses svara för två tredjedelar av den segmentella stabiliteten (79).

Aktuell forskning visar att MF uppvisar en mindre tvärsnittsyta (TY) hos personer med olika typer av ländryggsmärta jämfört med friska individer (25,80-83). Minskad TY är rapporterat hos personer med akut förstagångs ryggsmärta (84,85) och djurförsök har visat på snabb förändring av multifidus TY efter disk-skada (86).

En nyligen publicerad studie rapporterar att röntgenologiskt verifierad facettedlesatros samt spondylolisthes var associerad med en minskad TY av MF speciellt på L4-5 nivå, det vill säga på samma nivå som röntgenfyndet visade (87). Dock fanns inget säkert samband mellan skattad smärtnivå och minskad TY.

Hos patienter med ländryggsmärta har man i aktuell experimentell forskning också funnit att även dMF anses ha en anticipatorisk funktion liknande TrA, och att den funktionen är förändrad hos individer med ryggsbesvär jämfört med hos friska (88,89). Hides och medarbetare undersökte MF:s tvärsnittsyta med ultraljud hos patienter med förstagångs ryggsmärta (85,90). Hon fann en signifikant minskning av TY på den symtomgivande sidan jämfört med den friska sidan på samma nivå. Dessa patienter fick antingen träna specifik stabiliseringsträning under fyra veckor eller fick råd om allmän aktivering av läkare.

Efter fyra veckor rapporterade båda grupperna samma grad av smärtreduktion. Den grupp som tränat specifik stabiliseringsträning hade dock en mer normaliserad TY av MF jämfört med den grupp som endast fått goda råd. I en femårsuppföljning hade de patienter som tränat stabiliseringsträning signifikant minskat antal återfall av ryggsmärta jämfört med den andra gruppen (85).

### Stabiliseringsträning

Vad är då stabilitet? En förenklad definition av begreppet stabilitet är hur effektivt ett system kan bibehålla eller återhämta sin originalposition efter en störning (56,57). Ryggraden kan anses vara stabil när det finns en tillräckligt

stor styvhet, skapad av en optimalt koordinerad muskelaktivitet (58). Stabilitet kan också uttryckas som att ryggraden är tillräckligt robust för att klara belastningar och störningar av jämnvikten (57). Stabiliseringsträning föreslås göra ländryggen mer robust och på så sätt minska skaderisken (42,57).

Enligt den metodik som föreslagits i litteraturen är det viktigt att återträna funktionen hos de segmentellt stabiliserande bålmskler hos patienter med ryggsmärta för att påverka smärt- och funktionsnivå såväl kort- som långsiktigt (36).

I litteraturen föreslogs tidigt att det är viktigt att aktivera den djupa bålmskulaturen med kvarhåll upp mot tio sekunder och att upprepa detta tio gånger innan mer belastande och funktionella övningar påbörjas (36).

Tsao och Hodges (72) rapporterade att upprepad specifik aktivering av TrA förändrade aktivitetsmönstret hos TrA hos patienter med återkommande ländryggsmärta, och att det fanns en kvarvarande effekt i sex månader. Detta kunde dock inte associeras med minskad smärtnivå eller förbättrad funktion hos försökspersonerna. Det rekommenderas dock idag i litteraturen att det är viktigt att träna den inre och yttre bålmskulaturen i kombination samt att träna kontroll och koordination av bålmskulaturen i mer funktionella rörelser (18,45,46,53).

Mew (91) fann i en studie att bålstabiliserande träning i mer funktionellt belastande övningar påverkade TrA:s aktiveringsgrad, mätt som muskeltjocklek, mer än vad övningar utförda i 'ryggkrokliggande' gjorde. Det förelås också vara viktigt att övningsprogrammet är successivt graderat från obelastade till mer belastade och funktionella övningar (40,45,92-94).

I fokus under många år har varit att återträna den segmentellt stabiliserande muskulaturens i understödda positioner som ryggkrokliggande eller icke vikt bärande positioner. Att träna patienten för länge i icke-funktionella utgångspositioner rekommenderas inte (46,91,95,96).

Van Vilet och Heneghan (97) demonstrerade att motorcortex förändras, beroende på vad man tränar, och för att återträna det anticipatoriska mönstret hos den stabiliserande muskulaturen är det viktigt att tidigt i rehabiliteringen träna i funktionella utgångspositioner. Att även träna i de utgångspositioner där pa-

”Stabilitet kan också uttryckas som att ryggraden är tillräckligt robust för att klara belastningar och störningar av jämnvikten.”

”Det är viktigt att komma ihåg att det finns individuella variationer på hur muskulaturens aktiveringsmönster fungerar hos olika personer”

tienten har besvär eller smärta anses vara viktigt (96). Sjukgymnasten eller den personliga tränaren rekommenderas att använda sig av sin kunskap och erfarenhet för att bedöma vilka utgångspositioner och med vilka belastningar som patienten ska tränas (98).

Det är viktigt att komma ihåg att det finns individuella variationer på hur muskulaturens aktiveringsmönster fungerar hos olika personer. Detta kan bero på genetiska eller inlärda skillnader. Som kliniker kan man korrigera både utgångsställning och hållning hos patienten för att en övning ska tolereras bättre och guida patienten till en korrekt aktivering av den stabiliserande muskulaturen (98).

McGill och Karlowicz rapporterade om några utvalda bålstabiliserande övningar och hur bukmusklernas aktiveringsmönster förändrades både vid stegring av övningen och vid förändrad andning, men också vid sjukgymnastens korrigering av övningen (98).

Några reviewartiklar (7,99) sammanfattar resultaten av kliniska randomiserade kontrollerade studier av stabiliseringssträngens effekt för patienter med återkommande eller långvarig ländryggssmärta.

I dessa artiklar konkluderas att stabiliseringssträngsträning är effektiv för att minska smärt- och öka aktivitetsnivå jämfört med ingen behandling eller endast goda råd (37,40,85), men jämfört med annan träning (100,101) eller annan behandling (102) är skillnaden på effekten inte lika stor. Några studier har jämfört stabiliseringssträngsträning i kombination med manuell behandling med allmänna råd hos läkare, och de patienter som var i träningsgruppen förbättrade smärt- och aktivitetsnivå (103,104).

De randomiserade kontrollerade studier som hittills studerat stabiliseringssträngsträning för patienter med ländryggssmärta kan inte knyta en minskad smärt- eller en ökad aktivitetsnivå till en förändring av funktion eller aktiveringsmönster hos den stabiliserande muskulaturen. Men man kan inte heller sammanfatta att den stabiliserande muskulaturens funktion inte har påverkats, endast att några eventuella förändringar inte är mätta. Troligt är dock att flera faktorer påverkar utfallet.

I metodiken instrueras patienten att använda sig av ett hållningstänkande, tillsammans med aktiv stabilisering av lumbalryggen i sina dagliga aktiviteter som arbete, fritidssysselsätt-

ning och sport, vilket troligtvis påverkar patientens ryggbeteende. Sjukgymnasten informerar patienten om att det är viktigt att göra sina hemövningar dagligen för att undvika återkommande ryggsmärta, och patienten får ett eget redskap att handha sin rygg.

Jämfört med till exempel styrketräning kan metodiken anses ha en beteendevetenskaplig/kognitiv ansats, eftersom den syftar till att förändra och påverka patientens ryggbeteende och har bra förklaringsmodeller för detta.

Om de övningar som patienten instrueras i att göra syftar till att påverka funktionen, har en god underliggande förklaringsmodell och är rätt doserade, kan man tänka sig att patienten kommer att fortsätta att utföra övningarna. Detta kan ha en god effekt på utfallet både kort- och långsiktigt (12). Att träningen påverkar återkommande ryggsmärta och/eller behov av vård i långtidsuppföljning är rapporterat i flera studier (37,39,40,85).

Genom att träningsprogrammet är individuellt doserat och successivt stegrat påverkas troligen också personliga faktorer som tilltron till sin egen fysiska förmåga (12,40,93,105). Tilltron till sin egen förmåga kan också vara associerad med hur motiverad patienten är att fortsätta att göra sina övningar (12,106). Detta är också rapporterat vid rehabilitering av knäproblem (107).

Sjukgymnasten eller den personliga tränaren är med och handleder och doserar träningen individuellt, vilket anses viktigt för att uppnå ett gott resultat (108-111).

Den så kallade Hawthorne effekten, det vill säga att patienten påverkas på grund av att den är med i en studie kan självklart också påverka utfallet. Den effekten anses dock vara försvagad efter studiens slut.

Det pågår fortsatt forskning om den bålstabiliserande muskulaturens funktion, men också en diskussion om, och viss kritik av, forskningsresultaten (52-54) (18,55).

Alison och medarbetare (54) framför i artikeln *”Transversus abdominis and core stability: has the pendulum swung?”* viss kritik mot det sätt på vilket Hodges och medarbetare har tolkat de experimentella studierna av m. Transversus Abdominus funktion. Cholewicki och Van Vliet (43) menar att hur den stabiliserande bål-muskulaturen aktiveras beror på belastning, planerad eller oplanerad rörelse samt rörelseriktning

och menar på att ingen enskild bålmskel är mer eller mindre viktig när det gäller ryggradens stabilitet.

### Vilka bör träna bålstabiliserande?

Enligt Panjabis modell så har de flesta patienter med ländryggsbesvär någon typ av klinisk instabilitet (63,112).

Vid en klinisk instabilitet är det logiskt med stabiliseringsträning. Andra studier menar att patienter med stela ryggssegment förbättras av mobiliserande behandling, medan patienter med någon form av överörligt ryggssegment förbättras av stabiliserande träning (113).

I kliniken behöver dock en mobiliserande behandling initialt inte utesluta träning av kontroll och koordination av bålmskulturen.

### Avslutande kommentar

Träning rekommenderas idag som förstahandsval vid behandling av ospecifika ländryggsbesvär. Vi vet dock ännu inte vilken typ av träning som är mest effektiv vid olika typer av ryggsbesvär.

De studier av den bålstabiliserande muskulaturens funktion och aktivitetsmönster som hittills är gjorda har gett oss ett perspektiv på hur den neuro-motoriska kontrollen av dessa kan tänkas fungera (114). Detta har i sin tur gett oss grunden till en metodik för träning att basera vår evidensbaserade praktik på. Det är dock viktigt att vi tillsammans med befintlig forskning använder oss av vår kliniska kunskap för att bedöma vilka patienter som ska träna på vilket sätt.

I kliniken upplever vi att handledd bålstabiliserande träning, graderad från lägre till högre belastning, och funktionella övningar där den segmentella träningen, om den behövs, ingår som en del, har en effekt på patientens smärt- och aktivitetsnivå. Det finns idag i litteraturen ingen klar konsensus om funktionen hos den bålstabiliserande muskulaturen eller hur träningen påverkar funktionen.

Sammanfattningsvis så rekommenderar jag att inte "fastna på britsen" med patienterna vid inläring av de stabiliserande övningarna. Det verkar vara viktigt att träna funktionellt, men med den segmentella stabiliseringsträningens metodik som en del av träningen (40).

Paul Hodges (114) skriver: "The days of contracting transversus abdominis as the pri-

mary exercise and then sending the patient away are over. Instead, training of transversus abdominis should be part of the intervention, when appropriate for the patient and their control system changes".

### Referenser

#### REFERENSER

1. Airaksinen O, Brox JI, Cedraschi C, et al. Chapter 4. European guidelines for the management of chronic nonspecific low back pain. *Eur Spine J* 2006;15 Suppl 2:S192-300.
2. SBU ed. Ont i ryggen, ont i nacken.ed. Stockholm: The Swedish council on Technology Assessment in Health Care, 2000.
3. Von Korr M. SK. The course of back pain in primary care. *Spine* 1996;24:2833-7.
4. Hestbaek L, Leboeuf-Yde C, Manniche C. Low back pain: what is the long-term course? A review of studies of general patient populations. *Eur Spine J* 2003;12:149-65.
5. Breivik H, Collett B, Ventafridda V, et al. Survey of chronic pain in Europe: prevalence, impact on daily life, and treatment. *Eur J Pain* 2006;10:287-333.
6. Carey TS, Garrett JM, Jackman AM. Beyond the good prognosis. Examination of an inception cohort of patients with chronic low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 2000;25:115-20.
7. Vingard E. Chapter 5.6: major public health problems - musculoskeletal disorders. *Scand J Public Health Suppl* 2006;67:104-12.
8. Waddell G, Burton K, Aylward M. Work and common health problems. *J Insur Med* 2007;39:109-20.
9. Krimer M, van Tulder M. Strategies for prevention and management of musculoskeletal conditions. *Low back pain (non-specific). Best Pract Res Clin Rheumatol* 2007;21:77-91.
10. Deyo RA, Phillips WR. Low back pain. A primary care challenge. *Spine* 1996;21:2826-32.
11. Abenhaim L, Rossignol M, Valat JP, et al. The role of activity in the therapeutic management of back pain. Report of the International Paris Task Force on Back Pain. *Spine* 2000;25:1S-33S.
12. Mannion AF, Helbling D, Pulkovski N, et al. Spinal segmental stabilisation exercises for chronic low back pain: programme adherence and its influence on clinical outcome. *Eur Spine J* 2009;18:1881-91.
13. Hayden JA, van Tulder MW, Malmivaara AV, et al. Meta-analysis: exercise therapy for nonspecific low back pain. *Ann Intern Med* 2005;142:765-75.
14. Nordin M, Campello M. Physical therapy: exercises and the modalities: when, what, and Why?

Neurol Clin 1999;17:75-89.

15. Burton AK, Balague F, Cardon G, et al. Chapter 2. European guidelines for prevention in low back pain : November 2004. *Eur Spine J* 2006;15 Suppl 2:S136-68.
16. Richardson CA, Jull GA. Muscle control-pain control. What exercises would you prescribe? *Man Ther* 1995;1:2-10.
17. Ferreira PH, Ferreira ML, Maher CG, et al. Specific stabilisation exercise for spinal and pelvic pain: a systematic review. *Aust J Physiother* 2006;52:79-88.
18. Kavcic N, Grenier S, McGill SM. Determining the stabilizing role of individual torso muscles during rehabilitation exercises. *Spine* 2004;29:1254-65.
19. Hodges PW. Changes in motor planning of feedforward postural responses of the trunk muscles in low back pain. *Exp Brain Res* 2001;141:261-6.
20. Hodges PW, Moseley GL. Pain and motor control of the lumbopelvic region: effect and possible mechanisms. *J Electromyogr Kinesiol* 2003;13:361-70.
21. Hodges PW, Richardson CA. Feedforward contraction of transversus abdominis is not influenced by the direction of arm movement. *Exp Brain Res* 1997;114:362-70.
22. Hodges PW, Richardson CA. Transversus abdominis and the superficial abdominal muscles are controlled independently in a postural task. *Neurosci Lett* 1999;265:91-4.
23. Hides JA, Jull GA, Richardson CA. Long-term effects of specific stabilizing exercises for first-episode low back pain. *Spine* 2001;26:E243-8.
24. Hides J, Gilmore C, Stanton W, et al. Multifidus size and symmetry among chronic LBP and healthy asymptomatic subjects. *Man Ther* 2008;13:43-9.
25. Barker KL, Shamley DR, Jackson D. Changes in the cross-sectional area of multifidus and psoas in patients with unilateral back pain: the relationship to pain and disability. *Spine* 2004;29:E515-9.
26. Hodges P, Kaigle Holm A, Holm S, et al. Intervertebral stiffness of the spine is increased by evoked contraction of transversus abdominis and the diaphragm: in vivo porcine studies. *Spine (Phila Pa 1976)* 2003;28:2594-601.
27. Sapsford RR, Hodges PW, Richardson CA, et al. Co-activation of the abdominal and pelvic floor muscles during voluntary exercises. *Neurorol Urodyn* 2001;20:31-42.
28. Junginger B, Baessler K, Sapsford R, et al. Effect of abdominal and pelvic floor tasks on muscle activity, abdominal pressure and bladder neck. *Int Urogynecol J Pelvic Floor Dysfunct* 2009.
29. Belen'kii VE, Gurfinkel VS, Pal'tsev EI. [Control elements of voluntary movements]. *Biofizika* 1967;12:135-41.
30. Bouisset S, Zattara M. Biomechanical study of the programming of anticipatory postural adjustments associated with voluntary movement. *J Biomech* 1987;20:735-42.
31. Hodges P, Richardson C, Jull G. Evaluation of the relationship between laboratory and clinical tests of transversus abdominis function. *Physiother Res Int* 1996;1:30-40.
32. Hodges PW, Moseley GL, Gabrielsson A, et al. Experimental muscle pain changes feedforward postural responses of the trunk muscles. *Exp Brain Res* 2003;151:262-71.
33. Moseley GL, Nicholas MK, Hodges PW. Pain differs from non-painful attention-demanding or stressful tasks in its effect on postural control patterns of trunk muscles. *Exp Brain Res* 2004;156:64-71.
34. Moseley GL, Nicholas MK, Hodges PW. Does anticipation of back pain predispose to back trouble? *Brain* 2004;127:2339-47.
35. Moseley GL, Hodges PW. Reduced variability of postural strategy prevents normalization of motor changes induced by back pain: a risk factor for chronic trouble? *Behav Neurosci* 2006;120:474-6.
36. Richardson C, Jull G, Hodges P, Hides J, et al ed. *Therapeutic exercise for spinal segmental stabilisation in low back pain. Scientific basis and clinical approach.* 1st ed, 2nd ed ed. United Kingdom: Churchill Livingstone, 1999,2004.
37. O'Sullivan PB, Phytz GD, Twomey LT, et al. Evaluation of specific stabilizing exercise in the treatment of chronic low back pain with radiologic diagnosis of spondylolysis or spondylolisthesis. *Spine* 1997;22:2959-67.
38. Stuge B, Veierod MB, Laerum E, et al. The efficacy of a treatment program focusing on specific stabilizing exercises for pelvic girdle pain after pregnancy: a two-year follow-up of a randomized clinical trial. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29:E197-203.
39. Rasmussen-Barr E, Nilsson-Wikmar L, Arvidsson I. Stabilizing training compared with manual treatment in sub-acute and chronic low-back pain. *Man Ther* 2003;8:233-41.
40. Rasmussen-Barr E, Ang B, Arvidsson I, et al. Graded exercise for recurrent low-back pain: a randomized, controlled trial with 6-, 12-, and 36-month follow-ups. *Spine (Phila Pa 1976)* 2009;34:221-8.
41. Hall L, Tsao H, Macdonald D, et al. Immediate

- effects of co-contraction training on motor control of the trunk muscles in people with recurrent low back pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2007.
42. McGill SM, Grenier S, Kavcic N, et al. Coordination of muscle activity to assure stability of the lumbar spine. *J Electromyogr Kinesiol* 2003;13:353-9.
43. Cholewicki J, VanVliet Jt. Relative contribution of trunk muscles to the stability of the lumbar spine during isometric exertions. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2002;17:99-105.
44. Lucas DB. Mechanics of the spine. *Bull Hosp Joint Dis* 1970;31:115-31.
45. Cholewicki J, McGill SM. Mechanical stability of the in vivo lumbar spine: implications for injury and chronic low back pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 1996;11:1-15.
46. Suni J, Rinne M, Natri A, et al. Control of the lumbar neutral zone decreases low back pain and improves self-evaluated work ability: a 12-month randomized controlled study. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31:E611-20.
47. Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW, et al. Delayed onset of electromyographic activity of vastus medialis obliquus relative to vastus lateralis in subjects with patellofemoral pain syndrome. *Arch Phys Med Rehabil* 2001;82:183-9.
48. 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 (Phila Pa 1976)* 2004;29:1436-40.
49. Wadsworth DJ, Bullock-Saxton JE. Recruitment patterns of the scapular rotator muscles in freestyle swimmers with subacromial impingement. *Int J Sports Med* 1997;18:618-24.
50. Cowan SM, Bennell KL, Hodges PW, et al. Simultaneous feedforward recruitment of the vasti in untrained postural tasks can be restored by physical therapy. *J Orthop Res* 2003;21:553-8.
51. Schmitz C, Assaiante C. Developmental sequence in the acquisition of anticipation during a new co-ordination in a bimanual load-lifting task in children. *Neurosci Lett* 2002;330:215-8.
52. Allison GT, Morris SL, Lay B. Feedforward responses of transversus abdominis are directionally specific and act asymmetrically: implications for core stability theories. *J Orthop Sports Phys Ther* 2008;38:228-37.
53. Lederman E. The myth of core stability. *J Bodyw Mov Ther*;14:84-98.
54. Allison GT, Morris SL. Transversus abdominis and core stability: has the pendulum swung? *Br J Sports Med* 2008;42:630-1.
55. Grenier SG, McGill SM. Quantification of lumbar stability by using 2 different abdominal activation strategies. *Arch Phys Med Rehabil* 2007;88:54-62.
56. Brown SH, Potvin JR. Constraining spine stability levels in an optimization model leads to the prediction of trunk muscle cocontraction and improved spine compression force estimates. *J Biomech* 2005;38:745-54.
57. Reeves NP, Narendra KS, Cholewicki J. Spine stability: the six blind men and the elephant. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2007;22:266-74.
58. Brown SH, McGill SM. Muscle force-stiffness characteristics influence joint stability: a spine example. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2005;20:917-22.
59. Nachemson A, Morris JM. In Vivo Measurements of Intradiscal Pressure. Discometry, a Method for the Determination of Pressure in the Lower Lumbar Discs. *J Bone Joint Surg Am* 1964;46:1077-92.
60. Bergmark A. Stability of the lumbar spine. A study in mechanical engineering. *Acta Orthop Scand Suppl* 1989;230:1-54.
61. Smith CE, Nyland J, Caudill P, et al. Dynamic trunk stabilization: a conceptual back injury prevention program for volleyball athletes. *J Orthop Sports Phys Ther* 2008;38:703-20.
62. Panjabi MM. The stabilizing system of the spine. Part II. Neutral zone and instability hypothesis. *J Spinal Disord* 1992;5:390-6; discussion 7.
63. Panjabi MM. A hypothesis of chronic back pain: ligament subfailure injuries lead to muscle control dysfunction. *Eur Spine J* 2006;15:668-76.
64. McCook DT, Vicenzino B, Hodges PW. Activity of deep abdominal muscles increases during submaximal flexion and extension efforts but antagonist co-contraction remains unchanged. *J Electromyogr Kinesiol* 2009;19:754-62.
65. Barker PJ, Guggenheimer KT, Grkovic I, et al. Effects of tensioning the lumbar fasciae on segmental stiffness during flexion and extension: Young Investigator Award winner. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31:397-405.
66. Cresswell AG, Thorstensson A. The role of the abdominal musculature in the elevation of the intra-abdominal pressure during specified tasks. *Ergonomics* 1989;32:1237-46.
67. Hemborg B, Moritz U. Intra-abdominal pressure and trunk muscle activity during lifting. II. Chronic low-back patients. *Scand J Rehabil Med* 1985;17:5-13.
68. Hodges P. Thesis Neuromechanical control of the spine. Dep of Neuroscience, Kaolinska Institutet and



- Dep of Sport and Health Science, Idrottshögskolan, Stockholm, Sweden 2003.
69. Saunders SW, Rath D, Hodges PW. Postural and respiratory activation of the trunk muscles changes with mode and speed of locomotion. *Gait Posture* 2004;20:280-90.
  70. Saunders SW, Schache A, Rath D, et al. Changes in three dimensional lumbo-pelvic kinematics and trunk muscle activity with speed and mode of locomotion. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2005;20:784-93.
  71. Hides JA, Belavy DL, Cassar L, et al. Altered response of the anterolateral abdominal muscles to simulated weight-bearing in subjects with low back pain. *Eur Spine J* 2009;18:410-8.
  72. Tsao H, Hodges PW. Immediate changes in feedforward postural adjustments following voluntary motor training. *Exp Brain Res* 2007;181:537-46.
  73. Tsao H, Hodges PW. Persistence of improvements in postural strategies following motor control training in people with recurrent low back pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2008;18:559-67.
  74. Ferreira PH, Ferreira ML, Hodges PW. Changes in recruitment of the abdominal muscles in people with low back pain: ultrasound measurement of muscle activity. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29:2560-6.
  75. Ferreira P, Ferreira M, Maher C, et al. Changes in recruitment of transversus abdominis correlate with disability in people with chronic low back pain. *Br J Sports Med* 2009.
  76. MacDonald DA, Moseley GL, Hodges PW. The lumbar multifidus: does the evidence support clinical beliefs? *Man Ther* 2006;11:254-63.
  77. Mannion AF, Dumas GA, Cooper RG, et al. Muscle fibre size and type distribution in thoracic and lumbar regions of erector spinae in healthy subjects without low back pain: normal values and sex differences. *J Anat* 1997;190 ( Pt 4):505-13.
  78. Mannion AF, Weber BR, Dvorak J, et al. Fibre type characteristics of the lumbar paraspinal muscles in normal healthy subjects and in patients with low back pain. *J Orthop Res* 1997;15:881-7.
  79. Wilke HJ, Wolf S, Claes LE, et al. Stability increase of the lumbar spine with different muscle groups. A biomechanical in vitro study. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995;20:192-8.
  80. Hides J, Stanton W, Freke M, et al. MRI study of the size, symmetry and function of the trunk muscles among elite cricketers with and without low back pain. *Br J Sports Med* 2008;42:809-13.
  81. Danneels LA, Vanderstraeten GG, Cambier DC, et al. CT imaging of trunk muscles in chronic low back pain patients and healthy control subjects. *Eur Spine J* 2000;9:266-72.
  82. Sihvonen T, Herno A, Paljarvi L, et al. Local denervation atrophy of paraspinal muscles in postoperative failed back syndrome. *Spine (Phila Pa 1976)* 1993;18:575-81.
  83. Keller A, Brox JI, Gunderson R, et al. Trunk muscle strength, cross-sectional area, and density in patients with chronic low back pain randomized to lumbar fusion or cognitive intervention and exercises. *Spine (Phila Pa 1976)* 2004;29:3-8.
  84. Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Multifidus muscle recovery is not automatic after resolution of acute, first-episode low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 1996;21:2763-9.
  85. Hides JA, Jull GA, Richardson CA. Long-term effects of specific stabilizing exercises for first-episode low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 2001;26:E243-8.
  86. Hodges P, Holm AK, Hansson T, et al. Rapid atrophy of the lumbar multifidus follows experimental disc or nerve root injury. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31:2926-33.
  87. Kalichman L, Hodges P, Li L, et al. Changes in paraspinal muscles and their association with low back pain and spinal degeneration: CT study. *Eur Spine J* 2009.
  88. MacDonald D, Moseley GL, Hodges PW. Why do some patients keep hurting their back? Evidence of ongoing back muscle dysfunction during remission from recurrent back pain. *Pain* 2009;142:183-8.
  89. Arokoski JP, Valta T, Kankaanpää M, et al. Activation of lumbar paraspinal and abdominal muscles during therapeutic exercises in chronic low back pain patients. *Arch Phys Med Rehabil* 2004;85:823-32.
  90. Hides JA, Stokes MJ, Saide M, et al. Evidence of lumbar multifidus muscle wasting ipsilateral to symptoms in patients with acute/subacute low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)* 1994;19:165-72.
  91. Mew R. Comparison of changes in abdominal muscle thickness between standing and crook lying during active abdominal hollowing using ultrasound imaging. *Man Ther* 2009;14:690-5.
  92. Asenlof P, Denison E, Lindberg P. Individually tailored treatment targeting activity, motor behavior, and cognition reduces pain-related disability: a randomized controlled trial in patients with musculoskeletal pain. *J Pain* 2005;6:588-603.
  93. Denison E, Asenlof P, Lindberg P. Self-efficacy, fear avoidance, and pain intensity as predictors of disability in subacute and chronic musculoskeletal

- pain patients in primary health care. *Pain* 2004;111:245-52.
94. Lindstrom I, Ohlund C, Eek C, et al. The effect of graded activity on patients with subacute low back pain: a randomized prospective clinical study with an operant-conditioning behavioral approach. *Phys Ther* 1992;72:279-90; discussion 91-3.
95. O'Sullivan PB, Dankaerts W, Burnett AF, et al. Effect of different upright sitting postures on spinal-pelvic curvature and trunk muscle activation in a pain-free population. *Spine (Phila Pa 1976)* 2006;31:E707-12.
96. O'Sullivan P. Diagnosis and classification of chronic low back pain disorders: maladaptive movement and motor control impairments as underlying mechanism. *Man Ther* 2005;10:242-55.
97. van Vliet PM, Heneghan NR. Motor control and the management of musculoskeletal dysfunction. *Man Ther* 2006;11:208-13.
98. McGill SM, Karpowicz A. Exercises for spine stabilization: motion/motor patterns, stability progressions, and clinical technique. *Arch Phys Med Rehabil* 2009;90:118-26.
99. Rackwitz B, de Bie R, Limm H, et al. Segmental stabilizing exercises and low back pain. What is the evidence? A systematic review of randomized controlled trials. *Clin Rehabil* 2006;20:553-67.
100. Koumantakis GA, Watson PJ, Oldham JA. Supplementation of general endurance exercise with stabilisation training versus general exercise only. Physiological and functional outcomes of a randomized controlled trial of patients with recurrent low back pain. *Clin Biomech (Bristol, Avon)* 2005;20:474-82.
101. Ferreira ML, Ferreira PH, Latimer J, et al. Comparison of general exercise, motor control exercise and spinal manipulative therapy for chronic low back pain: A randomized trial. *Pain* 2007;131:31-7.
102. Goldby LJ, Moore AP, Doust J, et al. A randomized controlled trial investigating the efficiency of musculoskeletal physiotherapy on chronic low back disorder. *Spine* 2006;31:1083-93.
103. Niemisto L, Lahtinen-Suopanki T, Rissanen P, et al. A randomized trial of combined manipulation, stabilizing exercises, and physician consultation compared to physician consultation alone for chronic low back pain. *Spine* 2003;28:2185-91.
104. Moseley L. Combined physiotherapy and education is efficacious for chronic low back pain. *Aust J Physiother* 2002;48:297-302.
105. Woby SR, Urmston M, Watson PJ. Self-efficacy mediates the relation between pain-related fear and outcome in chronic low back pain patients. *Eur J Pain* 2007;11:711-8.
106. Smeets RJ, Maher CG, Nicholas MK, et al. Do psychological characteristics predict response to exercise and advice for subacute low back pain? *Arthritis Rheum* 2009;61:1202-9.
107. Thomee P, Wahrborg P, Borjesson M, et al. Self-efficacy, symptoms and physical activity in patients with an anterior cruciate ligament injury: a prospective study. *Scand J Med Sci Sports* 2007;17:238-45.
108. Henchoz Y, Kai-Lik So A. Exercise and nonspecific low back pain: a literature review. *Joint Bone Spine* 2008;75:533-9.
109. Kuukkanen T, Malkia E, Kautiainen H, et al. Effectiveness of a home exercise programme in low back pain: a randomized five-year follow-up study. *Physiother Res Int* 2007;12:213-24.
110. Marshall P, Murphy B. Self-report measures best explain changes in disability compared with physical measures after exercise rehabilitation for chronic low back pain. *Spine* 2008;33:326-38.
111. Maul I, Laubli T, Oliveri M, et al. Long-term effects of supervised physical training in secondary prevention of low back pain. *Eur Spine J* 2005;14:599-611.
112. Panjabi MM. Clinical spinal instability and low back pain. *J Electromyogr Kinesiol* 2003;13:371-9.
113. Fritz JM, Whitman JM, Childs JD. Lumbar spine segmental mobility assessment: an examination of validity for determining intervention strategies in patients with low back pain. *Arch Phys Med Rehabil* 2005;86:1745-52.
114. Hodges P. Transversus abdominis: a different view of the elephant. *Br J Sports Med* 2008;42:941-4.