

1562

Buktryck och bukmuskelaktivitet – mekanismer för bålstabilisering och ryggavlastning?

En ökning av trycket i bukhålan är en aktiv process som vi utnyttjar i många av våra dagliga aktiviteter. Av speciellt intresse i ergonomiska sammanhang är om buktrycket kan verka stabiliserande och avlastande på ryggraden och därigenom bidra till att minska belastningsrelaterade ryggproblem. En följdfråga blir om, och i så fall hur, man bör träna för att förbättra denna mekanism. En förutsättning för att förstå detta är att man utreder hur de olika muskler som omger bukhålan aktiveras för att komprimera denna på ett ändamålsenligt sätt.

Mycket av de nya i den serie undersökningar som presenteras här kretsar kring den tvära bukmuskeln funktion. Aktivitet i denna djupt liggande tvärgående muskel var starkt kopplad till buktrycksökningar vid statiska, dynamiska och plötsliga belastningar på bålerna. Den tvära bukmuskeln visade sig också bidra till bålens vridrörelser. Ett styrketränningsprogram bestående av belastade vridrörelser visade sig öka förmågan till maximal buktrycksutveckling. En buktrycksökning genom aktivering av den tvära bukmuskeln, och inte de raka och sneda bukmuskelnerna, under belastning som strävar att böja bålerna, är fördelaktigt ur mekanisk synvinkel och kan leda till såväl en stabilisering som en avlastning av ryggraden.

BAKGRUND

En ökning av trycket i bukhålan är en mekanism inbyggd i flera av våra dagliga aktiviteter. Buktrycksökningen kan vara en del av olika motoriska program, exempelvis andning och skratt, utlösas via reflexer, t ex vid hostning och nysning, eller vara viljestyrd, såsom vid krystning eller lyft. Att man vid tunga lyft spontant håller andan och spänner magen är väl känt. Betydelsen av höjningen av buktrycket i olika lyftsituationer har varit föremål för forskarintresse sedan 1950-talet, såväl internationellt: Bartelink, McGill, Norman, m fl i Canada; Morris, Davis, Troup och medarbetare i England, som nationellt: Nachemson, Andersson m fl i Göteborg; Hemborg, Moritz och andra i Malmö/Lund, för att nämna några.

Tanken är att en ökning av trycket i bukhålan skulle kunna fungera som en ballong som spänner isär bröstorg och bäcken och därigenom bidrar till att minska belastningen på ryggraden. Teorin uppstod ursprungligen för att förklara skillnader mellan tryckkraften i ländryggen, beräknad med biomekaniska modeller under lyft, och den hållfasthet man kunde uppmäta hos ryggradspreparat. Dessa försök visade att ryggkotor gick sönder vid en belastningsnivå som var ca 30–40 procent lägre än den beräknade belastningen.

Hittills utförda undersökningar har uppvisat varierande framgång när det gäller att finna samband mellan buktryck och tryckkraft i ländryggen. Detta har sannolikt bland annat sin grund i bristen på standardiserade belastningssituationer. Flertalet

tidigare studier har använt lyft för att åstadkomma yttre belastning, men de många variationsmöjligheter som råder i en sådan situation har gjort det svårt att tolka resultaten på ett entydigt sätt.

Rent mekaniskt krävs att bukhålans volym minskas för att öka buktrycket. Eftersom bukhålan så gott som helt omges av muskulatur kan en sådan komprimering åstadkommas genom muskelsammandragning. Då ett flertal muskler kan vara involverade blir koordinationen av dessa, både vad gäller aktiveringsgrad och aktiveringsordning, av avgörande betydelse för ett ändamålsenligt buktryck. Bilden kompliceras av att de olika musklerna har olika mekaniska förutsättningar att bidra till tryckökningen, bland annat beroende på deras varierande dragriktning. Vidare ligger flera av musklerna djupt, vilket gör att de är svåra att mäta från.

Bukmuskulaturen omger bukhålan såväl framåt som åt sidorna. Bukväggen består av fyra olika lager av muskler, var och en med fibrer i olika riktningar. Den djupaste av de fyra, den tvära bukmuskeln (latin: transversus abdominis), har fibrer som löper horisontellt, som ett brett bälte runt magen på vardera sidan om mittlinjen. Detta ger denna muskel goda förutsättningar för generering av buktryck. De tre andra musklerna i bukväggen (jfr nedan) har en rak eller sned dragriktning, vilket innebär att de kan bidra till buktrycket, men förmodligen som primär funktion har att böja och vrida bålen.

Huruvida en buktrycksökning kan leda till en avlastning av ryggraden eller inte beror rimligtvis på vilka muskler som aktivt bidrar till tryckökningen. Aktivering av de muskler som både kan öka buktrycket och verka böjande på bålen, dvs har en dragriktning som helt eller delvis är i kroppens längsriktning, kommer nämligen att dessutom medföra en oönskad höjning av kompressionskraften i ryggraden. För att förstå hur buktrycket regleras, och vilka konsekvenser det får i olika situationer, krävs följaktligen en samtidig registrering av alla fyra bukmusklernas aktiveringsmönster, något som hittills inte gjorts.

SYFTE

Syftet med detta projekt var att systematiskt undersöka vilka muskler som är involverade i en ökning av buktrycket i olika väl kontrollerade belastningssituationer samt om buktryck och bakomliggande muskelkoordination kan påverkas av träning. Ökad kunskap om buktrycksmekanismen och dess eventuella betydelse för bålstabilitet och avlastning av ryggraden ger bättre förutsättningar för att förstå dess roll i vardagliga belastningssituationer och för att ge ändamålsenliga föreskrifter om arbetsteknik och specifika träningsprogram, exempelvis vid ryggproblem.

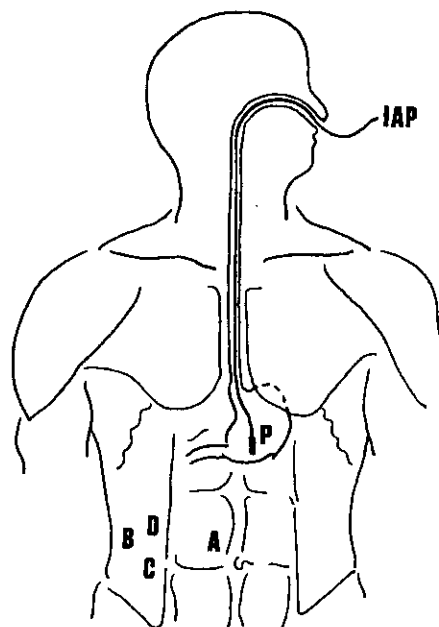
Fem olika delstudier genomfördes (betecknas i fortsättningen I–V). Huvudsyftet/frågeställningen i varje delstudie var:

- I. Att bestämma om buktrycket ökade under statiska bålsträckningar med maximal kraftinsats och om aktiveringsmönstret hos bukmusklerna var sådant att detta tryck kunde bidra till en avlastning av ryggraden.
- II. Att jämföra buktryck och muskelkoordination under två olika typer av standardiserade dynamiska belastningsförhållanden med fynden från statiska (I).
- III. Att kartlägga de fyra bukmusklernas bidrag till olika naturliga viljemässiga bålrörelser i stående och sittande.
- IV. Att undersöka om buktrycket och bukmusklerna var en integrerad del i de kompensationsmekanismer som utlöses vid plötsliga, oförberedda belastningsökningar på bålen.
- V. Att studera om man med specifik träning av bålens vridmuskler kan påverka buktryck, bukmuskelkoordination och bålstabilitet.

METODER

Försökspersoner

Trettiofyra friska män deltog i de olika delstudierna. Deras ålder, längd och vikt varierade mellan 22–30 år, 1.78–1.90 m, respektive 74–87 kg.



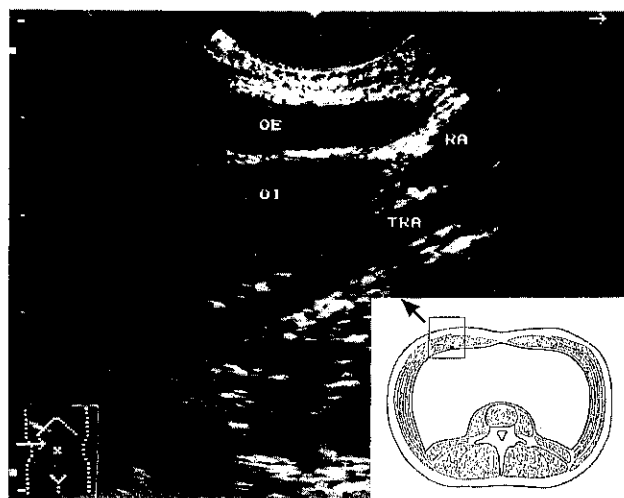
Figur 1. Lokalisering av tryckgivaren (Millar Microtip, diameter 3.5 mm) för registrering av buktryck (IAP) i magsäcken (P) samt av trådelektroderna (av rostfritt stål, teflonisolerade, diameter 0.22 mm) för registrering av muskelaktivitet (EMG) i den raka (A), den yttre sneda (B), den inre sneda (C) och den tvära bukmuskeln (D).

Buktryck

Buktryck (= engelska: intra-abdominal pressure, därav förkortningen IAP) mättes i magsäcken genom en tryckkänslig givare som fördes ned via näsan och matstrupen efter lokalbedömning (Figur 1).

Muskelaktivitet

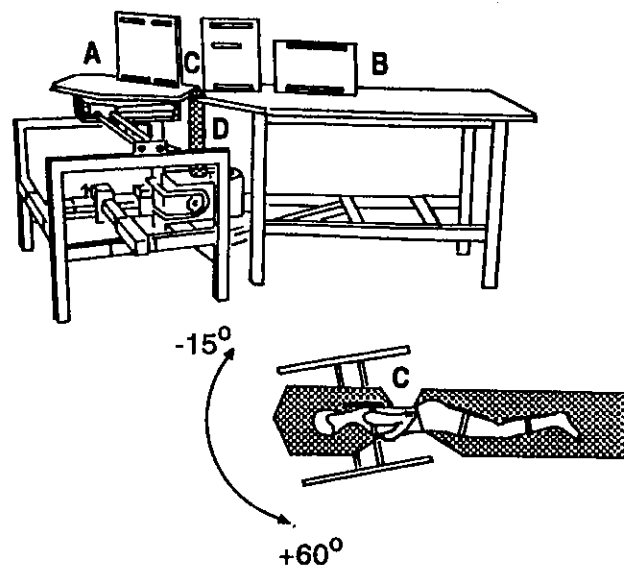
Muskelaktivitet registrerades med elektromyografisk teknik (EMG) från följande bukmuskler: den raka (rectus abdominis, RA), den yttre sneda (obliquus externus, OE), den inre sneda (obliquus internus, OI), samt den tvära (transversus abdominis, TrA). Aktiviteten avleddes med tunna trådelektroder placerade i själva muskeln (jfr figur 1). Inläggningen av trådarna skedde med en nål, som sedan avlägsnades, och övervakades med ultraljud (Figur 2). Dessutom registrerades EMG från ryggsäckarmuskulaturen (erector spinae, ES) med ytelektroder, klistrade på huden i höjd med tredje ländkotan (L3). Alla signaler insamlades, bearbetades och analyserades via en persondator.



Figur 2. Ett ultraljud-tvårsnitt av en del av bukväggen visande delar av de fyra olika bukmuskelnerna: RA = rectus abdominis (den raka), OE = obliquus externus (den yttre sneda), OI = obliquus internus (den inre sneda) och TrA = transversus abdominis (den tvära bukmuskeln), som ligger djupast in mot bukhålan. Totala tjockleken på bukväggen var ca 2.5 cm. Vid inläggning av trådelektroder i respektive muskel kunde nålen skönjas med ultraljud, liksom dess rörelse när den penetrerade vävnaden, särskilt bindvävsfascian som omger varje muskel. Efter försöken kunde också elektrodplaceringen verifieras med ultraljud genom den rörelse som ett lätt drag i respektive elektrod orsakade. De i nedre delen av figuren inlagda teckningarna visar dels nivån på snittet, dels var i ett fullständigt tvärsnitt av bålen som bilden är tagen.

Rörelse och kraft

I flera av studierna användes speciell utrustning för att mäta och analysera kroppsrörelser och krafter (Figur 3, 7 och 9). Ett videobaserat rörelseanalysystem utnyttjades för att mäta bål- och extremitetsrörelser. Kommersiellt tillgängliga trådtöjningsgivare och accelerometrar användes också regelbundet. Mer om metodiken återfinns nedan under respektive delstudie samt i figurtexterna.

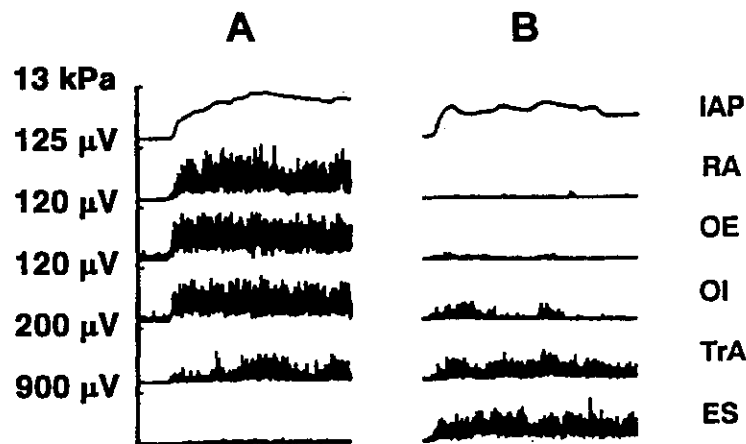


Figur 3. Försöksupställningen för standardiserad mätning i olika statiska och dynamiska belastningssituationer. Personen fastspändes sidliggande med överkroppen vilande på ett i horisontalplanet rörligt bord (A) och underkroppen på ett orörligt (B). Rotationscentrum (C) placerades i höjd med ländkota 3 (ungefär i nivå med naveln). Vid den statiska mätningen försökte personen utföra en maximal böjning respektive sträckning av bålen med det rörliga bordet fixerat i olika positioner. I de dynamiska mätsituationerna utförde personen böj- respektive sträckrörelser av bålen över ett 75 graders rörelseomfång (nedre delfiguren). En friktionsbroms (D) svarade för ett inställbart motstånd över hela rörelsebanan, medan placering av vikter på det rörliga bordet (A) gav varierbart tröghetsmotstånd i början och slutet av rörelsen.

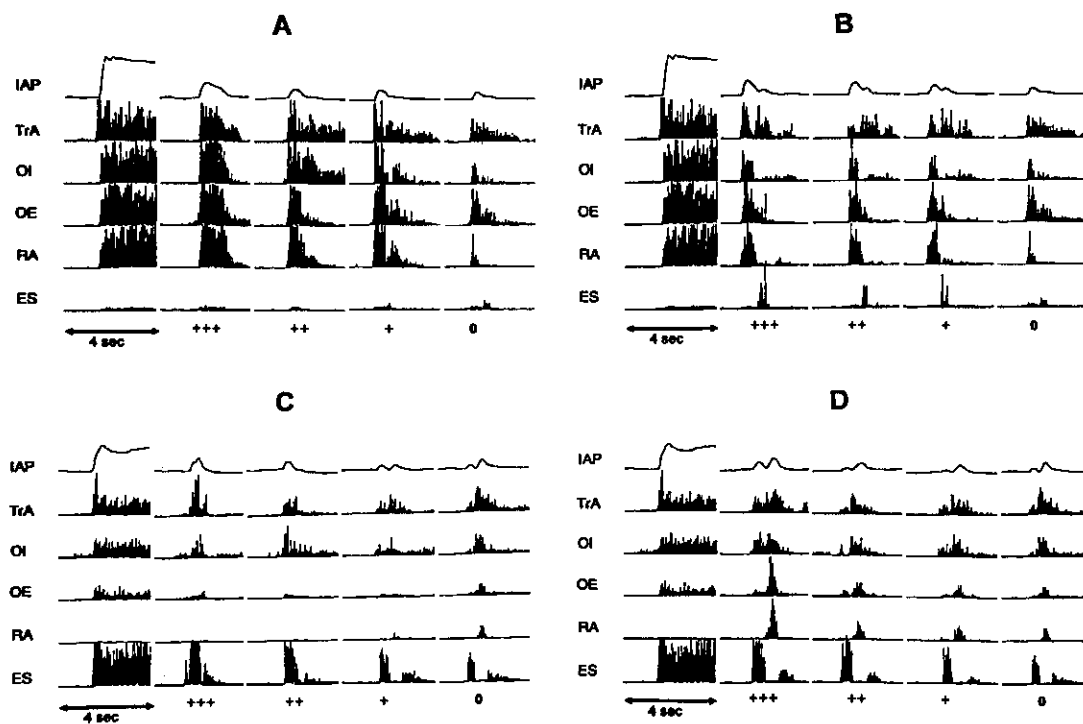
RESULTAT

I. Statisk bålbelastning

När man tar i maximalt vid ryggsäckning förväntas en hög aktivering av ryggsäckarmuskelnerna, medan motsvarande gäller för bukmuskelnerna under böjning. Som framgår av figur 4 agerade de raka och sneda bukmuskelnerna som förväntat, dvs deras aktivitet eliminerades (den raka, RA) eller avtog markant (de båda sneda, OE och OI) i sträckning. Den tvära bukmuskeln (TrA), däremot, bibehöll sin



Figur 4. Buktryck (IAP) och muskelaktivitet (rektifierat EMG) i de olika bukmusklerna (RA, OE, OI, TrA) samt i ryggmuskulaturen (ES) under maximal statisk böjning (A) respektive sträckning (B) av bålen. (1 kPa är ca 7.5 mm Hg.)



Figur 5. Buktryck (IAP) och muskelaktivitet (rektifierat EMG) i de olika bukmusklerna (RA, OE, OI, TrA) samt i ryggmuskulaturen (ES) under dynamisk bålböjningar (A,B) och bålsträckningar (C,D). I de två vänstra figurerna (A,C) var motståndet friktion och i de två högra (B,D) tröghet (strikt mekaniskt: tröghetsmoment). Registreringen längst till vänster i varje panel är från en maximal statisk ansträngning med rak kropp, därefter följer i fallande skala olika dynamiska belastningar från +++ = näst intill maximal ansträngning med bibehållande av den givna takten (1 Hz) till 0 = utan extra vikter, dvs motståndet utgjordes enbart av överkroppens tröghetsmoment.

aktiveringsnivå oförändrad i sträckning. Buktrycket var också ungefärligen lika högt i båda belastningssituationerna. Samvariationen mellan aktiveringen av TrA och ökningen av buktrycket vid sträckning, tyder på att TrA är den av bukmusklerna som huvudsakligen bidrar till denna ökning i buktryck.

Att på detta sätt öka buktrycket under ryggsträckning bör vara fördelaktigt ur belastningssynvinkel, eftersom man undviker de raka och sneda buk-

musklernas komprimerande verkan på ryggraden, vilket i sin tur möjliggör en ryggavlastande effekt av buktrycket.

II. Dynamisk bålbelastning

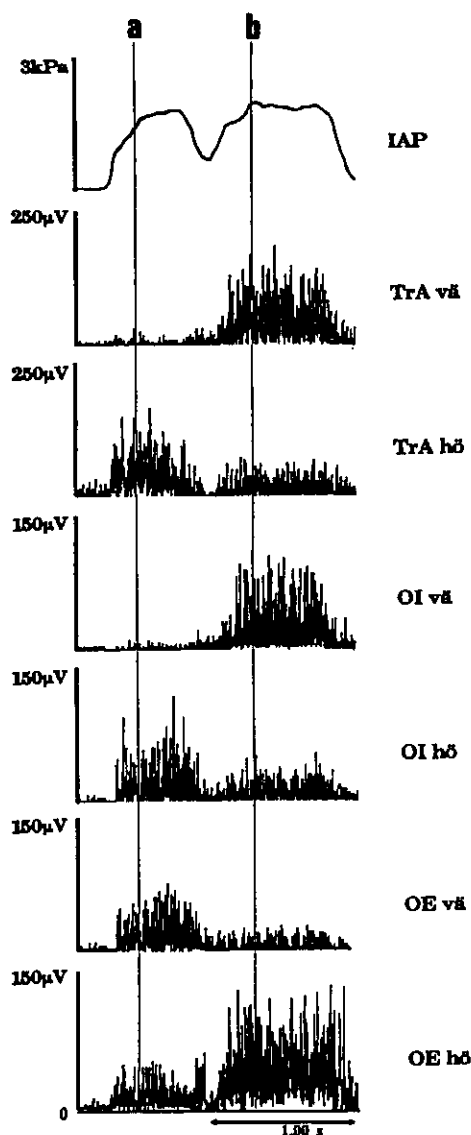
När belastningssituationen ändrades från statisk till dynamisk ändrades också buktryckssvaret, trots att mätsituationen i övrigt var densamma (jfr figur 3).

Den dynamiska belastningen var av kortare varaktighet och lägre, men även vid den högsta dynamiska ansträngningen, som var näst intill maximal, nådde buktrycket endast upp till ca 60 procent av de maximala statiska trycknivåerna (Figur 5). Muskelaktiveringsmönstret uppvisade principiella likheter med det statiska, i det att den tvära bukmuskeln hade störst, och den raka bukmuskeln minst, koppling till buktrycksvariationerna under ryggstreckning. Även typen av dynamisk belastning, dvs friktions- eller tröghetsmotstånd, medförde vissa skillnader i buktrycks- och muskelaktiveringsreaktioner (Figur 5). Med friktionsmotstånd under hela rörelsen sågs en samaktivering av ryggstreckare och de tvära och inre sneda bukmuskler samtidigt med en buktryckstopp, medan tröghetsmotståndet resulterade i två buktryckstopp, varav den andra sammanföll med aktivering av samtliga bukmuskler vid bromsning av rörelsen bakåt.

Möjligheten till en avlastning av ryggraden under de i försöken rådande omständigheterna tycks vara mindre under dynamiska förhållanden än statiska att döma av de lägre buktrycksvärdena. Buktrycksökningen föreföll dock i båda fallen primärt vara orsakad av aktivering av de tvära och sneda bukmuskler, vilket är mekaniskt fördelaktigt. Bukmuskelaktivering och buktrycket, om än litet, kan även tänkas bidra till att öka bälens styvhet under ryggstreckning samt ge ökad bälstabilitet, vilket i sin tur kan ge ryggmuskler bättre förutsättningar att sträcka bälten.

III. Obelastade bålrörelser

Rörelser av bälten i stående och sittande visade sig engagera buk- och ryggmuskulatur på förväntat sätt, dvs som accelererare av rörelsen i en riktning och som bromsare av rörelsen i motsatt riktning. Sålunda var t. ex. den raka bukmuskeln aktiverad i slutet av en bälsträckning och i början av en bålböjning (jfr figur 5 B och D). Vid sidböjning samverkade respektive sidas buk- och ryggmuskler på motsvarande vis (ej visat i figur). I vridrörelser av bälten samarbetade höger och vänster sidas sneda bukmuskler på ett alternerande sätt (Figur 6). Intressant nog förelåg en alternerande aktivitet också i vänster och höger sidas tvära bukmuskler (TrA) vid denna typ av rörelse (Figur 6). Oberoende aktivering av de båda sidornas TrA kunde också åstadkommas av personen om han fick se aktivitetsmönstret på en skärm (s k biofeed-back). Detta nya fynd tyder på att TrA även har en vridande funktion av bälten, vilken i sig kan tänkas bidra till bälstabiliteten. Dessutom får det konsekvenser för utformning av träningsprogram (se V nedan).



Figur 6. Buktryck (IAP) och muskelaktivitet (rektifierat EMG) i vänster och höger sidas tvära (TrA), inre (OI) och yttre sneda (OE) bukmuskler under obelastade vridningsrörelser av bälten i stående (medelvärden av fyra försök). Vändpunktterna i rörelsen är markerade med vertikala streck: a = från vänster till höger och b = från höger till vänster.

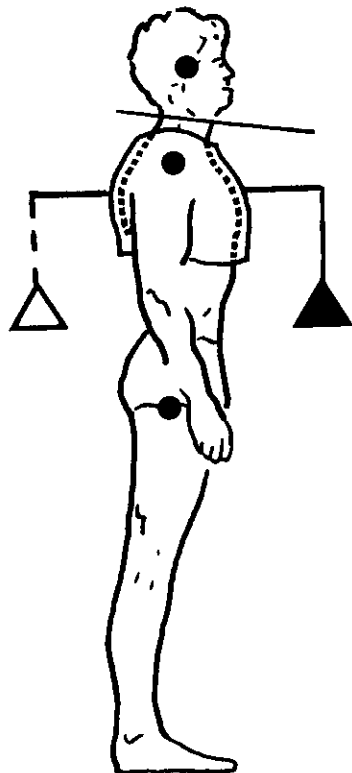
IV. Plötsliga belastningsförändringar

Sättet på vilket man reagerar för plötsliga belastningsökningar är intressant ur ergonomisk synvinkel eftersom skador inte sällan inträffar när man tappar taget om bördor, halkar etc. Här åstadkoms belastningsändringen på ett standardiserat sätt med en specialbyggd väst (Figur 7).

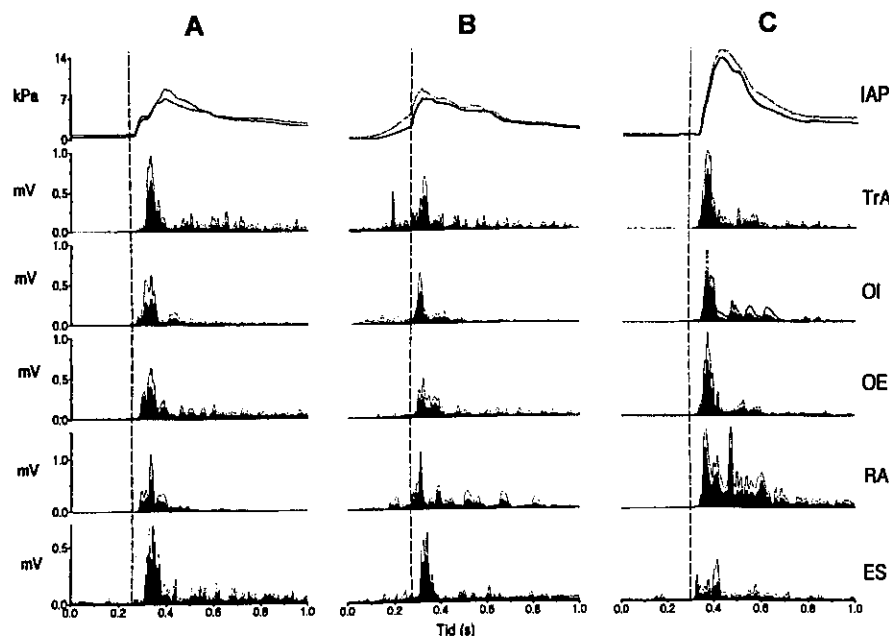
Reaktionerna på belastningsändringarna var reproducerbara, vilket tydde på ett programmerat svar, dvs att nervsystemet hade en sekvens av kopplade skeenden som kunde slås på vid behov. Intres-

sant att notera var att i detta program utlöstes aktiviteten hos de tvära och sneda bukmusklerna, liksom buktrycket, faktiskt innan ryggräckarna vid oväntad belastning framför kroppen (Figur 8A). När personen själv släppte vikten aktiverades bukmuskulaturen, särskilt den tvära, till och med innan belastningsökningen kom. Likaså skedde ökningen i buktrycket i förväg (Figur 8B). Det förefaller som den funktionella konsekvensen av detta blir att öka bälens stabilitet och förbereda för den kommande

belastningsökningen. Buktrycket kan också tänkas bidra till att motverka böjningen av bålen framåt. Möjligen kan individuella skillnader i detta förberedelseprogram ge variationer i skadebenägenhet vid plötsliga belastningar på ryggen. Vid oväntad belastning bakom kroppen skedde en samtidig massiv aktivering av samtliga bukmuskler, sannolikt utlöst via sträckreflexer, och som en direkt konsekvens därav följde en ordentlig ökning av buktrycket (Figur 8C).



Figur 7. En försöksperson med den plastväst som användes för plötslig belastningsändring. Vikter (5 kg) fästes med 25 cm långa snören på från västen utstickande stativ, framför, respektive bakom kroppen. Belastningen åstadkoms genom att vikten släpptes från i höjd med stativet, antingen av försöksledaren, utan att personen förberetts (en pappkrage hindrade personen från att se vikten), eller av personen själv (vikten framför kroppen). Videoregistrering (APAS, Ariel Life Systems) av markörer på höft, axel och huvud användes för att beskriva dessa kroppsdelars rörelser. Accelerometrar (Kulite), placerade på vikten och västen, markerade själva belastningsögonblicket.

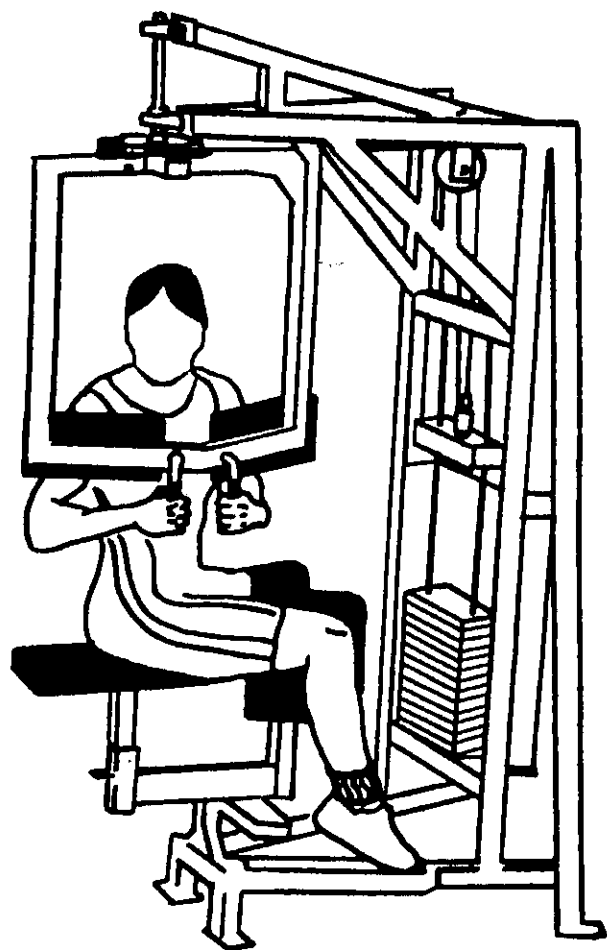


Figur 8. Buktryck (IAP) och muskelaktivitet (rektifierat EMG, medelvärden av fyra försök) vid plötslig oförberedd belastning framför kroppen (A), självutlöst belastning framför kroppen (B), respektive oförberedd belastning bakom kroppen (C). De vertikala linjerna markerar det ögonblick när belastningen nådde västen.

V. Träningseffekter

För att undersöka om buktrycksmekanismen är träningsbar genomfördes ett 10-veckors träningsprogram för bukmuskulaturen. Träningsövningarna valdes så att de speciellt skulle engagera den muskulatur som åstadkommer buktrycket, nämligen den tvära och de båda sneda bukmusklerna. Eftersom vi tidigare visat (jfr III ovan) att dessa muskler är de som är primärt involverade i vridning av bålen, valdes vridrörelser för överkroppen som träningsövningar. Träningsapparaturen och -programmet beskrivs i figur 9.

Resultaten, som är under bearbetning, har hittills visat att den maximala statiska vridstyrkan ökade markant efter träningen (30 procent). Buktrycksni-



Figur 9. Försöksuppställningen för träning och mätning av maximal bälvridningsstyrka (kraftutvecklingen mättes med en Bofors kraftgivare). Träningen utfördes dynamiskt i tre set om vardera 10 repetitioner åt vardera hållet, tre gånger i veckan, med en belastning som motsvarade 80% av vad personen kunde prestera vid en enstaka maximal ansträngning. Träningen var progressiv, dvs belastningen ökades successivt under den 10 veckor långa träningsperioden.

vån under själva vridstyrketestet ändrades dock inte. Däremot ökade det maximala buktryck som man kunde åstadkomma vid en enstaka obelastad maximal ansträngning, s k Valsalva, med 13 procent. Slutsatsen blev att bukmuskelträning av den här typen specifikt ökar den styrkeproducerande förmågan i bälens vridmuskler och att detta i sin tur ökar möjligheten att producera ett högt buktryck. Analysen pågår av hur detta påverkar buktrycksutvecklingen och bälstabiliteten i funktionella sammanhang, t ex vid plötsliga belastningsförändringar.

SAMMANFATTNING OCH SLUTSATSER

Av erhållna resultat kan man dra följande övergripande slutsatser:

- I. Buktryckshöjningen under bälsträckning med maximal kraftinsats kan sannolikt verka avlastande på ryggraden eftersom den åstadkoms främst av den tvära bukmuskulaturen.
- II. Buktryckshöjningen under standardiserade dynamiska förhållanden är lägre än under statiska och bukmuskelaktiviteten tycks här huvudsakligen ha en bälstabiliserande effekt.
- III. Den tvära bukmuskeln bidrar inte bara till buktrycket utan även till att vrida bålen.
- IV. Bukmuskelaktivering och buktryckshöjning är integrerade delar i det kompensationsprogram som utlöses vid plötsliga belastningsökningar framför kroppen för att stabilisera bålen och assistera ryggsträckarmuskulaturen.
- V. Muskelstyrkan i vridrörelser och förmågan att utveckla maximalt buktryck kan förbättras genom specifik träning av bälens vridmuskulatur.

Generellt kan sägas att våra undersökningar har gett ny kunskap om buktrycksmekanismen i olika standardiserade statiska och dynamiska belastningssituationer, inklusive plötsliga förberedda och oförberedda belastningsökningar. Nya data om framför allt den tvära bukmuskulaturens roll har framtagits, vilka förklarar buktrycksökningen i situationer där bukmuskelaktiveringen i övrigt är låg. Den tvära bukmuskelns engagemang i buktryck och vridrörelser av bålen leder till nya träningsvarianter, varav en redan prövats med viss framgång. Det återstår sedan att visa att träning av den här typen är verksam som ett instrument för förebyggande och rehabilitering vid ryggproblem. Ytterligare studier avseende träningseffekter pågår, liksom samverkan mellan väggarna i bukhålan, bukmusklerna, och taket, diafragma, vad gäller buktrycksreglering i olika belastningssituationer.

REFERENSER

1. Cresswell, A.G. & Thorstensson, A. 1989. *The role of the abdominal musculature in the elevation of the intra-abdominal pressure during specified tasks*. Ergonomics 32: 1237–1246.
2. Cresswell, A.G., Grundström, H. & Thorstensson, A. 1992. *Observations on intra-abdominal pressure and patterns of abdominal intra-muscular activity in man*. Acta Physiologica Scandinavica 144: 409–418.
3. Cresswell, A.G. 1993. *Responses of intra-abdominal pressure and abdominal muscle activity during dynamic trunk loading in man*. European Journal of Applied Physiology (in press).
4. Cresswell, A.G., Oddsson, L. & Thorstensson, A. 1993. *Compensatory responses to sudden perturbations of the trunk during standing*. (Manuscript).

5. Cresswell, A.G., Blake, P. & Thorstensson, A. 1993. *Effects of abdominal strength training on the elevation of intra-abdominal pressure* (Manuscript).

RAPPORT

Detta är ett delprojekt i en större fortlöpande undersökning rörande effekter av lyfteknik, balansstörningar, träning och trötthet på bälmuskulaturen och ryggradens belastningsförhållanden. Aktuell delrapportering sker genom denna sammanfattning. De i sammanfattningen behandlade delstudierna ingår i en akademisk avhandling om ca 75 sidor, som kommer att presenteras under 1993. Avhandlingen kan beställas från Institutionen för fysiologi III, Karolinska institutet, Box 5626, 114 86 Stockholm, tel 08-23 37 23, fax 08-723 13 93 (Britt Arvidsson eller Patricia Blake). Pris: 150 kronor.

1562

För innehållet i sammanfattningen svarar
Andrew G. Cresswell och Alf Thorstensson
Institutionen för fysiologi III, Karolinska institutet och Institutionen för idrotts- och
hälsovetenskap, Idrottshögskolan, Box 5626, 114 86 Stockholm, tel 08-23 37 23.

Pnr 82-0184 Arbetsställning, arbetsbelastning (40) Mars 1993

Arbetsmiljöfonden

BESÖKSADRESS Olof Palmes Gata 31
POSTADRESS Box 1122 111 81 STOCKHOLM
TELEFON 08-791 03 00 TELEFAX 08-791 85 90