

Effekten af passiv udspænding på forsinket muskelømhed og andre skadelige følger af excentrisk muskelarbejde

Fysioterapeut, ph.d. Hans Lund¹, M.Sc., ph.d. Peter Vestergaard-Poulsen², overlæge, dr.med Inge-Lis Kanstrup³ og lektor, dr.med. Per Sejrson⁴

Fra ¹ Fysioterapiafsnittet, Herlev Sygehus, Københavns Universitet, ² Dansk Videncenter for Magnetisk Resonans, Hvidovre Hospital, Københavns Universitet, ³ Klinisk Fysiologisk/Nuklearmedicinsk afdeling, Herlev Sygehus, Københavns Universitet, ⁴ Medicinsk Fysiologisk Institut, Panum Institutet, Københavns Universitet

BAGGRUND

Idrætsfolk og andre fysisk aktive anbefales at spænde ud efter et hårdt og uvant arbejde for at undgå den forsinkede muskelømhed (eng: delayed onset muscle soreness, DOMS) (1, 2). Det videnskabelige grundlag for dette er dog dårligt belyst (3). Flere studier har undersøgt effekten af udspænding på DOMS. De Vries (4-6) påviste et fald i muskelømhed efter udspænding, men senere studier har ikke kunnet reproducere en smertereduktion efter udspænding. Abraham (7) fandt en mindre smertereduktion, som kun varede 1-2 minutter, men McGlynn et al. (8) fandt ingen smertereduktion. To andre studier (9, 10), hvor man specielt så på udspændingens DOMS-forebyggende effekt, kunne ikke påvise nogen forskel på interventions- og kontrolgruppen. Rodenburg et al. (11) undersøgte fornylig en kombination af opvarmning før det excentriske arbejde, og udspænding og massage efter, men fandt kun ringe og inkonsistente resultater, hvorfor der ikke kunne drages nogen entydig konklusion.

Det antages, at DOMS opstår som følge af en mekanisk afbrydelse i muskelcellen på det cellulære niveau (12, 13). En reduktion af muskelstyrken, en forøget koncentration af plasma-kreatinkinase (CK) og et fald i PCr/Pi ratioen (målt med ³¹P-magnetisk resonans spektroskopi) synes at være et indirekte tegn på disse mekaniske forandringer i relation til DOMS (14-17). Studier, der undersøger effekten af udspænding på disse variabler, mangler fuldstændigt. Det var derfor formålet med dette studie at undersøge, om passiv udspænding af m. quadriceps ville påvirke DOMS, maksimal muskelstyrke, plasma-CK koncentrationen og PCr/Pi ratioen signifikant.

MATERIALE OG METODE

Eksperimentelt design

To identiske eksperimenter (exp. I & II) - bortset fra udspænding af m. quadriceps i det andet eksperiment (exp. II) blev gen-

nemført. For at undgå en træningseffekt af det første eksperiment blev eksperimenterne gennemført med et tidsinterval på 18 måneder (range: 13-23 måneder) (17). Der blev målt før (kontrol) og dagligt i 7 dage efter udførelsen af det excentriske muskelarbejde. Alle målinger blev udført bilateralt.

Forsøgspersonerne

Syv raske og frivillige kvinder, i alderen 28-46 år, deltog i projektet. Disse forsøgspersoner deltog også i metodestudiet (17). Tidsintervallet mellem metodestudiet og dette studie var fra 6 til 7 måneder. De havde alle en medium kondition med en $\text{VO}_{2\text{max}}$ mellem 33,6 og 46,4 ml(kg·min.)⁻¹, og et gennemsnitligt ugentlig aktivitetsni-

veau (gang, jogging, cykling) på 4 t. (2,1-7,6 t.).

Excentrisk muskelarbejde

Muskelskaden blev påført (dag 0) ved excentrisk muskelarbejde indtil udmattelse i højre m. quadriceps (undtagen forsøgsperson nr. 1) i et isokinetisk dynamometer (vinkelhastighed 60°·s⁻¹ Biodex, System 2). Muskelarbejdet blev udført ved 60% af maksimalt excentrisk drejningsmoment (peak torque) i hver kontraktion og med en pause på 1,4 s mellem hver (16). Forsøgspersonen blev defineret som udmattet, når hun ikke længere var i stand til at gennemføre 60% af sin maksimale excentriske styrke i fem på hinanden følgende kontraktioner. Bevægelseslaget var fra 20° til 90°

SUMMARY

Lund H, PT, PhD, Vestergaard-Poulsen P, MSc, PhD, Kanstrup IL, chief physician, MD, and Sejrson P, ass. professor

The effect of passive stretching on delayed onset muscle soreness, and other detrimental effects following eccentric exercise
Nyt om Forskning nr. (7)2: 9-13, 1998

The aim of this study was to measure if passive stretching would influence delayed onset muscle soreness (DOMS), dynamic muscle strength, plasma creatine kinase concentration (CK) and the ratio of phosphocreatine to inorganic phosphate (PCr/Pi) following eccentric exercise. Seven healthy untrained women, 28-46 years old, performed eccentric exercise with the right m. quadriceps in an isokinetic dynamometer (Biodex, angle velocity: 60°·s⁻¹) until exhaustion, in two different experiments, with an interval of 13-23 months. In both experiments the PCr/Pi ratio, dynamic muscle strength, CK and muscle pain were measured before the eccentric exercise (day 0) and the following 7 d. In the second experi-

ment daily passive stretching (3 times 30 s duration, with a pause of 30 s in between) of m. quadriceps was included in the protocol. The stretching was performed before and immediately after the eccentric exercise at day 0 and before measurements of the dependent variables daily for the following 7 d. The eccentric exercise alone led to significant decreases in PCr/Pi ratio ($p<0.001$) and muscle strength ($p<0.001$), and an increase in CK concentration ($p<0.01$). All subjects reported pain in the right m. quadriceps with a peak 48 h after exercise. There was no difference in the reported variables between experiments one and two. It is concluded that passive stretching did not have any significant influence on increased plasma CK, muscle pain, muscle strength and the PCr/Pi ratio, indicating that passive stretching after eccentric exercise cannot prevent secondary pathological alterations.

KEYWORDS

Physiotherapy, magnetic resonance, isokinetic exercise

Tabel 1. Tidsplan for passiv udspænding og de forskellige målinger i exp. II.

Tid	0 min	ca. 20 min	ca. 30 min	ca. 50 min	ca. 125 min	ca. 130 min	ca. 150 min
Intervention dag 0	Blodprøve	Muskelsmerte registrering	Muskelstyrke måling	MR skanning	Udspænding	Excentrisk arbejde	Udspænding
Gennemsnitlig tid (range)	0 min	14 (1-50) min	28 (15-57) min	43 (24-67) min	123 (95-154) min		
Interventioner dag 1-7	Udspænding	Blodprøve	Muskelsmerte registrering	Muskelstyrke måling	MR-skanning		

Tabel 2. Det excentriske arbejde, der medførte DOMS, gennemsnit (range)

Antal kontraktioner		Totalt arbejde (Nm)		Tid (s)		Top drejningsmoment (Nm)	
Exp. I	Exp. II	Exp. I	Exp. II	Exp. I	Exp. II	Exp. I	Exp. II
438	401	36.641	38.557	1211	1173	201	274
(361-641)	(282-641)	(24.305-47.164)	(26.199-49.655)	(701-1821)	(749-1853)	(180-225)	(212-364)

fleksion i knæet. Denne bevægelse kunne betyde en 25 % forlængelse af muskelfiberen (L_f : muskelfiberlængde) (17) og en kontraktionshastighed på 1,04 $L_f \cdot s^{-1}$ (18), idet det antages, at vastus lateralis' muskelfiberlængde er 65,7 mm (19), og radius for knæfleksionen er 65 mm. Excentrisk topdrejningsmoment, totalt arbejde, arbejdets varighed og antal repetitioner blev registreret.

Udspændingsproceduren

Forsøgspersonerne blev placeret fremliggende på en bæk. Højre knæ blev derefter passivt flekteret (af den samme forsøgsleder), indtil forsøgspersonen følte det ubehageligt og/eller spændt, eller forsøg-

slederen mødte modstand mod udspændingen. Denne position blev bibeholdt eller yderligere flekteret, så meget forsøgspersonen tillod, i 30 s (21). Udspændingen blev gentaget yderligere to gange med et tidsinterval på 30-50 s imellem hvert stræk (2). M. quadriceps blev således udspændt i alt 90 s i hver session. Tidsforløbet er præsenteret i tabel 1, hvoraf det fremgår, at udspændingen blev gennemført umiddelbart før og efter det excentriske arbejde på dag 0 og yderligere hver dag inden målingen af de afhængige variable.

Plasma-CK

Blodprøver blev taget som venepunktur fra fossa cubitalis regionen ind i en vacutainer

ved hvile og på det samme tidspunkt på dagen. Blodet fik lov til at størkne i 30 minutter, hvorefter det centrifugeredes. Det totale plasma kreatinkinase (CK), plasma lactdehydrogenase (LDH) og plasma aspartataminotransferase (ASAT) indhold blev målt spektrofotometrisk ved 340 nm og 37°C (IFCC metoden).

Muskelsmerte

Forsøgspersonernes smerte blev registreret under hvile, ved gang og trappegang nedad på en Visuel Analog skala, 10 cm lang og uden markeringer på stregen. Forsøgspersonerne fik lov til at se, hvor de havde sat deres markering de foregående dage. De fik dog ikke lov til i exp. II at se, hvor de havde sat deres mærke i exp. I.

Muskelstyrke

Quadriceps muskelstyrken blev målt som et modificeret maksimalt drejningsmoment i et isokinetisk dynamometer (Biodex, System 2). Hver test bestod af både en koncentrisk og en excentrisk måling. Den højeste udad tre repetitioner ved 60°·s⁻¹ blev valgt som maksimum.

PCR/Pi ratioen

Alle målingerne blev foretaget i en 1,5 tesla helkropsskanner (Siemens medical Systems Inc., Erlangen Tyskland). En elliptisk 40×80 mm 'one-turn' overfladespole og en radiofrekvenspuls på 90° anvendtes, hvorved en halv-ellipsoid formet sensitivitetsvolumen på ca. 33 ml blev dannet (længde/bredde/dybde akse=80/40/20 mm) (21). Placeringen af overfladespolen var

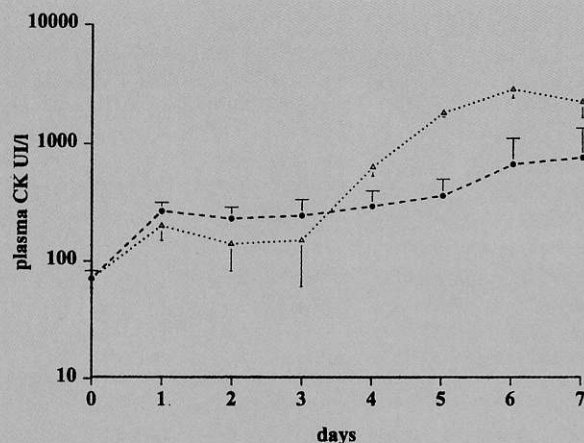


Fig. 1 Forandringer i plasmakreatinkinase (CK) før og efter excentrisk arbejde alene (exp. I ●) og excentrisk arbejde og udspænding kombineret (exp. II Δ). Værdier præsenteret som gennemsnit ($\pm$ SE). Alle forsøgspersoner viste en forøget CK koncentration fra dag 0 til dag 1 ($p<0,05$), men der var ingen signifikant forskel mellem exp. I og II ($p=0,48$). På grund af den store interindividuelle variation er værdierne for CK præsenteret på en logaritmisk skala.

styret af et 40×80 mm mærke på vastus lateralis. Centrum for mærket var placeret midt imellem den proximale kant på patella og spina iliaca anterior superior. Optimeringen af det statiske magnetiske felt blev udført vha. protonsignalet.

Alle NMR-spektrene beregnedes ud fra et gennemsnit af 64 optagelser med 7 s gentagelsestid, hvilket gav et spektrum med en høj signal-til-støj ratio. Alle NMR-spektrene blev evalueret med VARPRO tilpasningsrutinen (22).

DATAANALYSE

For at teste for systematisk effekt over tid anvendtes en to-vejs variansanalyse (ANOVA). Forskellen mellem de to eksperimenter blev analyseret ved at foretage en to-vejs variansanalyse på differencen mellem de to eksperimenter, idet der testedes for tidshomogenitet. Signifikansniveauet blev sat til $\alpha=0,05$.

RESULTATER

Forsøgspersonerne gennemførte i gennemsnit 340 excentriske kontraktioner (range: 244-641) i løbet af i gennemsnit 15,7 min. (range 11,7-30,4) i exp. I (tabel 2). Der var ingen forskel mellem exp. I og II i det udførte excentriske arbejde, når det gjaldt antal kontraktioner, totalt udført arbejde, power og tid. Der sås dog en signifikant stigning i excentrisk top drejningsmoment fra exp. I til exp. II fra $201 \pm 17,5$ Nm til $274 \pm 49,3$ Nm (gennemsnit $\pm$ SD) ($p=0,02$).

Der observeredes en forøget koncentration af CK efter det excentriske arbejde i både exp. I og II ($p<0,05$), men ingen signifikant forskel ($p=0,48$) (fig. 1).

Forsøgspersonernes maksimale smerte var i begge eksperimenter på dag 2 (48 timer efter det excentriske arbejde), og alle forsøgspersonerne havde smerte i låret, på dag 3 (tre forsøgspersoner i exp. I og 4 i exp. II havde stadig lette smerter i låret, da målingerne ophørte) (fig. 2). Fire forsøgspersoner fortalte dog spontant, at de ople-

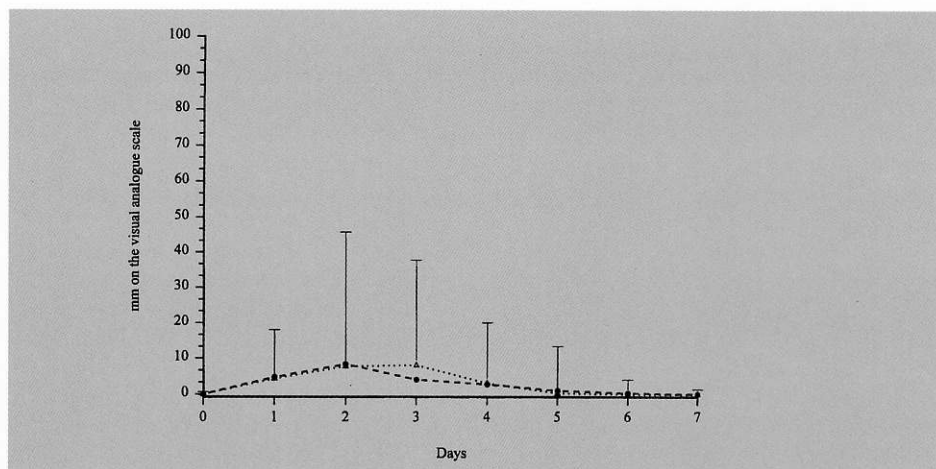


Fig. 2 Subjektiv muskelsmerte registreret på en visuel analog skala (VAS) (præsenteret i mm) før og efter excentrisk arbejde alene (exp. I ●) og excentrisk arbejde og udspænding kombineret (exp. II Δ). Værdier præsenteret som median (range) af den registrerede smerte under hvile, gang og gang ned ad trappe. Den maksimale smerte blev registreret 48 timer efter det excentriske arbejde, og alle forsøgspersoner rapporterede smerte på dag 3 i begge eksperimenter. Der blev ikke fundet nogen forskel i smerte mellem excentrisk arbejde alene (exp. I) og excentrisk arbejde og udspænding kombineret (exp. II).

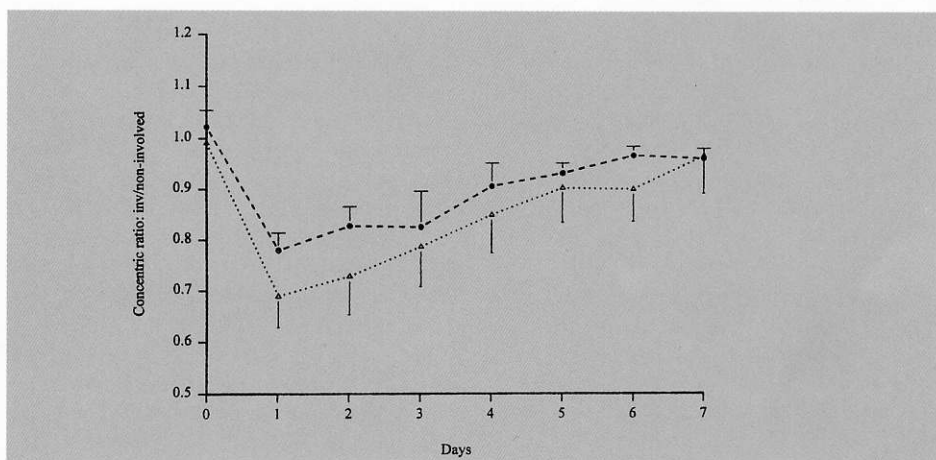
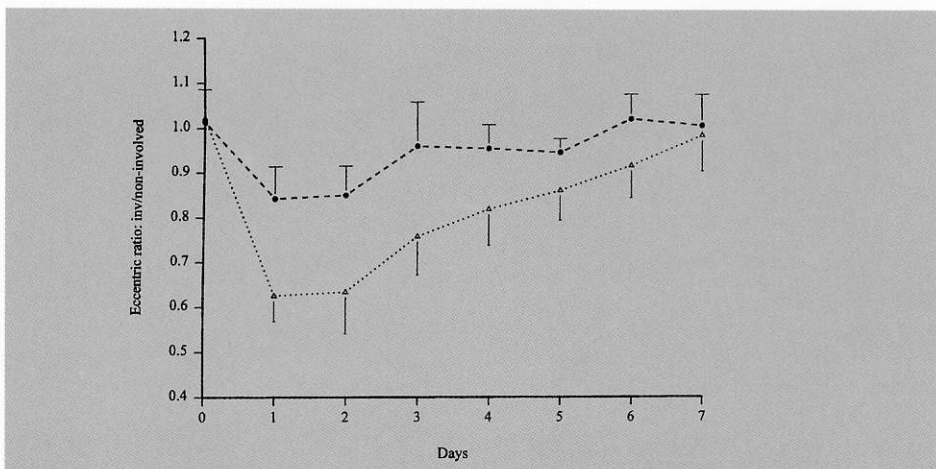


Fig. 3 Forandringer i koncentrisk maksimal muskelstyrke før og efter excentrisk arbejde alene (exp. I ●) og excentrisk arbejde og udspænding kombineret (exp. II Δ). Værdier er givet som ratioen mellem koncentrisk maksimal styrke i det involverede ben og det ikke-involverede ben og præsenteret som gennemsnittet ($\pm$ SE). Alle forsøgspersoner i exp. I og II viste et fald i koncentrisk muskelstyrke med en systematisk effekt over tid ($p<0,001$), men der var en signifikant forskel mellem exp. I og II ($p<0,01$) visende et større fald i maksimal muskelstyrke i exp. II (det studie med udspænding).

Fig. 4 Forandringer i excentrisk maksimal muskelstyrke før og efter excentrisk arbejde alene (exp. I ●) og excentrisk arbejde og udspænding kombineret (exp. II Δ). Værdier er givet som ratioen mellem excentrisk maksimal styrke i det involverede ben og det ikke-involverede ben og præsenteret som gennemsnittet ($\pm$ SE). Alle forsøgspersoner i exp. I og II viste et fald i excentrisk muskelstyrke med en systematisk effekt over tid ($p<0,001$), men der var en signifikant forskel mellem exp. I og II ($p<0,01$) visende et større fald i maksimal muskelstyrke i exp. II (det studie med udspænding).



vede en mindre smerte lige efter udspændingen, men det varede kun nogle få minutter. Når muskelsmerten registreredes i gennemsnit 28 min. efter udspændingen, kunne man ikke finde nogen forskel mellem exp. I og II.

Både koncentrisk og excentrisk maksimal muskelstyrke faldt fra dag 0 til dag 1 og viste en systematisk effekt over tid ($p < 0,001$). Der var en signifikant forskel mellem exp. I og II ($p < 0,01$) (fig. 3 og 4), idet der var et større fald i muskelstyrke i exp. II (eksperimentet med udspænding). PCr/Pi ratioen faldt fra dag 0 til dag 1 og viste en systematisk effekt over tid for både exp. I og II ($p < 0,001$), men der var ingen signifikant forskel mellem exp. I og II (fig. 5).

DISKUSSION

Dette studie kunne ikke påvise nogen forskel på plasma-CK svar, muskelsmerte eller PCr/Pi ratio efter enten et eksperiment med excentrisk arbejde alene eller et eksperiment, hvor excentrisk arbejde var kombineret med udspænding. Der var dog signifikant forskel på muskelstyrkefaldet uden udspænding og med udspænding, idet udspændingen tilsyneladende medførte et større muskelstyrketab. Det er fornylig vist (17), at to forskellige omgange excentrisk arbejde adskilt af et tidsinterval på 7-16 måneder og medførende muskelsmerte, fører til den samme muskelsmerte, muskelstyrke, plasma-CK koncentration og PCr/Pi ratio. Hvis udspænding havde nogen effekt på disse fire variable, måtte man formode, at vi ville have kunnet observere det i dette forsøg.

Efter det excentriske arbejde, som fører til DOMS, ses ofte en udtværing af Z-båndene umiddelbart efter arbejdet, som forværres i de følgende 2 til 3 dage (24, 25). Det er fornylig foreslået, at DOMS initieres af en afbrydelse af nogle af de intermediære filament (fx titin og desmin) efter det excentriske arbejde (13, 26). Titin fungerer sandsynligvis som en 'proteinadministrator', der finjusterer mødet mellem actin og myosin, og som en parallelelastiske komponent (27). Det er placeret mellem M-linjen og Z-båndet. Hvis en passiv muskel strækkes vil Z-båndet således blive påvirket, analogt til hvad der sker under excentrisk arbejde. Man kan derfor sige, at både excentrisk arbejde medførende DOMS og udspænding påvirker muskelvævet på samme måde. Det synes derfor irrelevant at udspænde for at undgå DOMS. På den anden side er excentrisk arbejde en del af det daglige liv, og det er derfor et spørgsmål, hvorvidt man skal se på det som noget skadeligt for musklen. Det har været foreslået, at excentrisk arbejde og de ultrastrukturelle forandringer i relation til DOMS måske er en vigtig initiator af myofibrillogenese (28). Hvis udspænding påvirker den samme del af muskelstrukturen som excentrisk arbejde, kunne man forestille sig at udspænding har den samme effekt på muskelvævet som excentrisk arbejde. Dette understøttes af, at forsøgspersonerne viste et større fald i muskelstyrke efter både excentrisk arbejde og udspænding (exp. II).

Nogle af forsøgspersonerne gav spontant udtryk for en smertelettelse umiddelbart efter udspændingen, som dog kun varede nogle få minutter. Dette kunne forkla-

re, hvorfor mange hævder, at udspænding reducerer muskelsmerten. En mulig forklaring kunne være, at det ødem, der opstår i den ømme muskel under DOMS perioden (29, 30), presses ud som følge af udspændingen og dermed mindsker smerten. Denne hypotese støttes af fund i andre studier, der indikerer en tæt relation mellem DOMS, inflammation og ødem i musklen (31-34). På den anden side, når DOMS forværres ved tryk eller muskelkontraktion, synes det usandsynligt, at udspænding, som formindsker rummet i musklen, skulle medføre mindre smerte. Alle forsøgspersoner oplevede dog i dette forsøg svær smerte under udspændingen, og i en tredjedel af alle udspændingssessionerne var der en forøgelse i bevægelsesudslag (ROM) på mere end 10° fra den første udspænding til den anden eller tredje. Dette kunne måske indikere, at der blev presset væske ud af musklen. Det, at smerten vendte tilbage efter få minutter, og at Abraham (7) også observerede en smertelindring 1-2 min. efter udspændingen, synes at understøtte 'ødemmodellen'.

Det excentriske arbejde, der blev udført for at fremkalde DOMS, viste et signifikant højere topdrejningsmoment i exp. II sammenlignet med exp. I. Det synes dog at være af mindre betydning, eftersom et tidligere studie viste den samme forskel mellem to eksperimenter og dog alligevel gav den samme respons. Derudover er belastningen af mindre betydning sammenlignet med deformationen i forsøget på at fremkalde DOMS (12). Deformation var i dette forsøg det samme i begge eksperimenter (fra 20° til 90° knæfleksion).

Efter udspændingen viste nogle af forsøgspersonernes CK-respons en forskubelse af toppunktet fra dag 3-4 eller senere til dag 1. Dette kunne indikere, at udspænding formindsker nogle af de patologiske forandringer i forbindelse med det uvante og hårde excentriske arbejde. Men som allerede nævnt kunne vi ikke finde nogen effekt af udspænding på muskelstyrke, PCr/Pi ratio eller muskelsmerte. En forøget plasma-CK koncentration antages at indikere en afbrydelse af sarcolemma (15), men eftersom CK er et meget stort molekyle (80.000 Da), antager man, at det ikke kan trænge ind i blodbanen direkte, da porerne i kapillærerne antages at være for små (40-70 Å). I stedet mener man, at CK kommer ind i blodbanen via lymfen. Dette kunne forklare det forsinkede CK-topunkt efter excentrisk arbejde. Paaske og Sejrsen har imidlertid påvist en langt større porestørrelse på mellem 145-160 Å, hvilket kunne tillade CK at trænge ind i blodbanen direkte fra det interstitielle rum. Eftersom man kunne forvente, at frigørelsen af

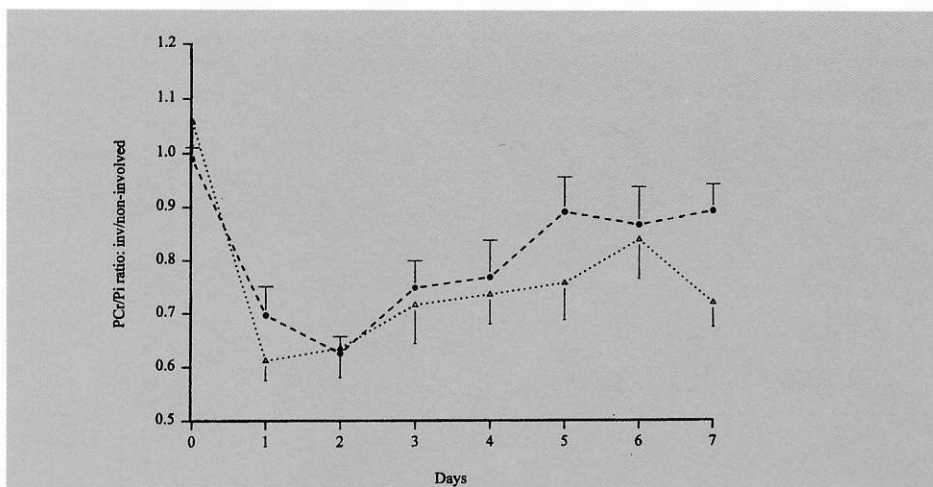


Fig. 5. Forandringer i ratioen mellem kreatinfosfat og frit fosfat (PCr/Pi) målt med en ^{31}P -NMR spektroskopi, før og efter excentrisk arbejde alene (exp. I ●) og excentrisk arbejde og udspænding kombineret (exp. II Δ). Værdier er givet som ratioen mellem mellem PCr/Pi ratioen i det involverede ben og det ikke-involverede ben og præsenteret som gennemsnittet ($\pm$ SE). Alle forsøgspersoner i exp. I og II viste et fald i PCr/Pi ratioen med en systematisk effekt over tid ($p < 0,001$), men ingen forskel mellem exp. I og II.

CK fra muskelcellen er et engangsfænomen (under og lige efter det excentriske arbejde), kunne man forestille sig, at udspænding hjælper med til at fjerne CK fra det interstitielle rum tæt på de ødelagte muskelfibre.

Vi valgte passiv statisk udspænding i dette studie, fordi vi ønskede, at udspændingen skulle være så tæt på klinisk praksis som muligt, og fordi vi ønskede at være sikre på, at musklen virkelig havde nået grænsen for sin bevægeevne. Man kan argumentere for, at 30 s udspænding tre gange i 8 dage (to gange dag 0, altså i alt 810 s total udspænding) var for kort udspændingstid til, at man kunne se nogen forskel. På den anden side fandt Bandy & Irion (21) ingen forskel på 900 s og 1800 s total udspændingstid i forsøget på at opnå større ROM. Gajdosik (37) anvendte 3150 s og opnåede den samme gevinst i ROM som Bandy & Irion.

Resultaterne af dette studie indikerer, at udspænding ikke er så gavnlige efter et hårdt og uvant excentrisk arbejde, som de almindelige anbefalinger synes at pege på. Der er behov for yderligere studier af den fysiologiske baggrund for udspænding, specielt med hensyn til 'ødem-modellen', ligesom der mangler klinisk kontrollerede studier.

Konklusion: Passiv udspænding har ikke nogen indflydelse på forøget plasma-CK, muskelsmerte, fald i muskelstyrke og fald i PCr/Pi ratioen efter et uvant excentrisk arbejde, hvilket indikerer, at udspænding, som den blev anvendt i dette studie, ikke kunne forebygge sekundære patologiske forandringer.

TAK

Vi takker fysioterapeut Inge Mortensen og stud. med. Jesper Revsholm for værdifuld hjælp i forbindelse med dette studie. Vi takker Klinisk Kemisk Afdeling, Herlev Sygehus for analyser af blodprøver. Studiet var støttet af 'Team Danmark', 'Idrættens Forskningsråd', 'Danske Fysioterapeuters Jubilæumsfond' og 'Fonden til lægevidenskabens fremme'.

Denne artikel er trykt med tilladelse fra 'Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports' og forfatteren, og har tidligere været publiceret i *Scand J Med Sci Sports*, 8:216-221, 1998.

LITTERATUR

- Noakes TD, Granger S. *Running injuries*. Cape Town: Oxford University Press, 1990;1-144
- Taylor DC, Dalton JD, Jr., Seaber AV, Garrett WE, Jr. Viscoelastic properties of muscle-tendon units. The biomechanical effects of stretching. *Am J Sports Med* 1990;18:300-309.
- Armstrong RB. Mechanisms of exercise-induced delayed onset muscular soreness: a brief review. [Review]. *Med Sci Sports Exerc* 1984;16:529-538.
- de Vries HA. Prevention of muscular distress after exercise. *Res Quart* 1961;32:177-185.
- de Vries HA. Electromyographic Observations of the Effects of Static Stretching upon Muscular Distress. *Res Quart* 1960;32:468-479.
- de Vries HA. Quantitative electromyographic investigation of the spasm theory of muscle pain. *Am J Phys Med* 1966;45:119-135.
- Abraham WM. Factors in delayed muscle soreness. *Med Sci Sports* 1977;9:11-20.
- McGlynn GH, Laughlin NT, Rowe V. Effect of Electromyographic Feedback and Static Stretching on Artificially Induced Muscle Soreness. *Am J Phys Med* 1979;58:139-148.
- High DM, Howley ET, Franks BD. The effects of static stretching and warm-up on prevention of delayed-onset muscle soreness. *Research Quarterly for Exercise & Sport* 1989;60 (4):357-361.
- Buroker KC, Schwane JA. Does postexercise static stretching alleviate delayed muscle soreness? *The physician and sportsmedicine* 1989;17(6):65-83.
- Rodenburg JB, Steenbeek D, Schiereck P, Bär PR. Warm-up, stretching and massage diminish harmful effects of eccentric exercise. *Int J Sports Med* 1994;15(7):414-419.
- Lieber RL, Fridén J. Muscle damage is not a function of muscle force but active muscle strain. *J Appl Physiol* 1993;74:520-526.
- Lieber RL, Thornell LE, Fridén J. Muscle cytoskeletal disruption occurs within the first 15 min of cyclic eccentric contraction. *J Appl Physiol* 1996;80:278-284.
- Faulkner JA, Brooks SV, Opiteck JA. Injury to skeletal muscle fibers during contractions: conditions of occurrence and prevention. [Review]. *Phys Ther* 1993;73:911-921.
- Hortobagyi T, Denahan T. Variability in creatine kinase: methodological, exercise and clinically related factors. *Int J Sports Med* 1989;10:69-80.
- Clarkson PM, Newham DJ. Associations between muscle soreness, damage, and fatigue. In: Gandevia SC, ed. *Fatigue*. New York: Plenum Press, 1995;457-469.
- Lund H, Vestergaard-Poulsen P, Kanstrup I-L, Sejrsen P. Isokinetic eccentric exercise as a model to induce and reproduce pathological alterations related to delayed onset muscle soreness. *Scand J Med Sci Sports* 1998;208-215.
- Hough T. Ergographic studies in muscular soreness. *Am J Physiol* 1902;7:76-92.
- McCully KK, Faulkner JA. Characteristics of lengthening contractions associated with injury to skeletal muscle fibers. *J Appl Physiol* 1986;61(1):293-299.
- Lieber RL. *Skeletal Muscle Structure and Function*. Baltimore: Williams & Wilkins, 428 East Preston Street, Baltimore, Maryland 21202, USA, 1992;1-303
- Bandy WD, Irion JM. The Effect of Time on Static Stretch on the Flexibility of the Hamstring Muscles. *Phys Ther* 1994;74(9):845-852.
- Vestergaard-Poulsen P, Thomsen C, Sinkjaer T, Henriksen O. Simultaneous 31 P NMR spectroscopy and EMG in exercising and recovering human skeletal muscle: technical aspects. *Magn Reson Med* 1994;31:93-102.
- Van der Veen JWC, de Beer R, Luyten PR, van Ormondt D. Accurate quantification of in vivo 31P NMR signals using the variable projection method and prior knowledge. *Magn Reson Med* 1988;6:92-98.
- Fridén J, Sjöström M, Ekblom B. Myofibrillar

damage following intense eccentric exercise in man. *Int J Sports Med* 1983;4:170-176.

- Newham DJ, McPhail G, Mills KR, Edwards RHT. Ultrastructural changes after concentric and eccentric contractions of human muscle. *J Neurol Sci* 1983;61:109-122.
- Fridén J, Lieber RL. Ultrastructural evidence of loss of calcium in exercised skeletal muscle. *Acta Physiol Scand* 1996;158:381-382.
- Trinick J. Titin and nebulin: protein rulers in muscle? [Review]. *Trends in Biochemical Sciences* 1994;19:405-409.
- Fridén J. Changes in human skeletal muscle induced by long-term eccentric exercise. *Cell Tissue Res* 1984;236:365-372.
- Fridén J, Sfakianos PN, Hargens AR. Muscle soreness and intramuscular fluid pressure: comparison between eccentric and concentric load. *J Appl Physiol* 1986;61:2175-2179.
- Howell JN, Chleboun G, Conatser R. Muscle stiffness, strength loss, swelling and soreness following exercise-induced injury in humans. *J Physiol (London)* 1993;464:183-196.
- Smith LL, McCammon M, Smith S, Channess M, Israel RG, O'Brien KF. White blood cell response to uphill walking and downhill jogging at similar metabolic loads. *Eur J Appl Physiol* 1989;58:833-837.
- Smith L. Acute inflammation; the underlying mechanism in delayed onset muscle soreness? *Med Sci Sports Exerc* 1991;23(5):542-551.
- Smith LL, Herbert WG, Hinkle DE. Neutrophilia: A potential sign of inflammation associated with delayed muscle soreness (DMS). *Med Sci Sports Exerc (suppl)* 1986;18(2):s43 (Abstract).
- Smith LL, Wells JM, Houmard JA, Smith ST, Israel RG, Chenier TC. Increases in plasma prostaglandin E2 after eccentric exercise. A preliminary report. *Hormone & Metabolic Research* 1993;25:451-452.
- Vander AJ, Sherman JH, Luciano DS. *Human physiology - the mechanisms of body function*. NY: McGraw-Hill Inc, 1994;
- Paaske W, Sejrsen P. Permeability of continuous capillaries. *Dan Med Bull* 1989;36(6):570-590.
- Gajdosik RL. Effects of static stretching on the maximal length and resistance to passive stretch of short hamstring muscles. *JOSPT* 1991;14:250-255.

KORRESPONDANCE

Fysioterapeut, Ph.D. Hans Lund
Parker Institut
Reumatologisk Klinik
Frederiksberg Hospital
2000 Frederiksberg
Tlf. 38 16 41 71