

Bachelorgradsoppgave

**Optimal oppvarmingsstimuli for forbedret
short term performance i benkpress**

**Optimal warm-up stimuli to enhance short
term acute bench press performance**

Steffen Musum

KIF350

Bachelorgradsoppgave i

kroppsøving



Avdelingsnavn for
lærerutdanning



SAMTYKKE TIL HØGSKOLENS BRUK AV BACHELOROPPGAVE

Forfatter: Steffen Musum

Norsk tittel: Optimal oppvarmingsstimuli for forbedret short term performance i benkpress

Engelsk tittel: Optimal Warm-up stimuli to enhance short term acute performance in bench press

Kryss av:

Jeg samtykker i at oppgaven gjøres tilgjengelig på høgskolens bibliotek og at den kan publiseres på internett i fulltekst via BIBSYS Brage, HiNTs åpne arkiv

**Min oppgave inneholder taushetsbelagte opplysninger og må derfor ikke gjøres tilgjengelig for andre
Kan frigis fra: _____**

Dato:

underskrift

Sammendrag

Denne Studien ble designet for å se om det var noen signifikant forskjell i hastighet (v_{max}), maksimal power (P_{max}) maksimal kraft (F_{max}), tid og distanse i et 1RM løft i benkpress etter to forskjellige oppvarmingsprotokoller. Oppvarmingsprotokoll 1 besto av to sett med to eksplosive repetisjoner med en belastning på 85 % av 1RM i benkpress. Oppvarmingsprotokoll 2 besto av to sett med fire eksplosive repetisjoner med en belastning på 50 % av 1RM. Det var 5 minutter hviletid etter oppvarmingsprotokollene. Det ble ikke funnet signifikante forskjeller mellom de to oppvarmingsprotokoller for hastighet (v_{max}), maksimal power (P_{max}), tid eller distanse. Det ble funnet en trend ($p=0.078$) for maksimal kraft (F_{max}) med en høyere maksimal kraft etter oppvarmingsprotokoll 2 (50 % av 1RM).

Nøkkelord: Postactivation potentiation, PAP, Benkpress, 1RM, Oppvarming, Oppvarmingsstimuli

Introduksjon

Den kontraktile responsen til en muskel avhenger til en viss grad av muskelens kontraktile historie. En kort periode med repetert stimulering fører til potensiering, mens fortsatt stimulering resulterer i tretthet, altså nedsatt eller svekket kontraktil respons (Rassier, 2000). Koeksistens av tretthet og potensiering er godt dokumentert (Ibid), og det er balansen mellom de to som er avgjørende for den muskulære kraftutfoldelsen (Kidluff et al., 2007). Flere studier har undersøkt optimal hviletid etter stimulering for å optimalisere balansen mellom potensiering og tretthet. Young et al. (1998) og Gullich (1996) konkluderte med at 5-7 minutter pause var optimalt etter stimulering, mens Kilduff (2007) konkluderte med at 12 minutter var optimalt. Fenomenet hvor tidligere aktivering fasiliterer etterfølgende muskelkontraksjon kalles postactivation potentiation (PAP). PAP defineres av Sale (2002) som en forbigående økning i muskelens potensielle kontraktile ytelse etter tidligere kontraktil aktivitet. Tidligere forskning har vist en økt power-output i både nedre og øvre kroppsdeler etter en maksimal eller nær maksimal frivillig kontraksjon (Gullich, 1996).

Det er flere foreslåtte mekanismer bak PAP. Den første er fosforylering av lette kjeder (regulatory light chains (RLC), noe som gjør at det skjer en forandring i myosinhodenes struktur, som igjen har en positiv effekt på påfølgende kontraksjon (Hodgson et al., 2005;

Rahimi, 2005). Fosforyleringen av RLC skjer under en muskelkontraksjon, hvor kalsium blir sluppet ut av sarkoplasmatiske retikulum (SR), og den økte kalsiumkonsentrasjonen fører til at kalsium-calmodulin, som er et kalsiumbindende budbærerprotein, binder seg til og aktiverer enzymet myosin light chain kinase som i sin tur fosforylerer regulatory light chains. Forandringen i myosinhodenes struktur medfører at myosin-aktin interaksjonen vil få økt sensitivitet til kalsium. Dette har blitt demonstrert i en rekke studier som har konkludert med at kraftforandringene som forekommer er et resultat av en økt frekvens av danning av tverrbroer. Dette støttes av både in vitro og in vivo eksperimenter (Rassier, 2000).

En annen foreslått mekanisme bak PAP omhandler det afferente nervesystemet, og at en større mengde eksitatoriske post-synaptiske potensialer (EPSP) vil bli sendt fra de eksitatoriske nervecellene til de motoriske nervecellene, så natriuminnholdet inne i nervecellen øker og fyringsterkel vil bli nådd tidligere. Dette kan føre til at depolarisering vil skje raskere og hyppigere som igjen fører til at aksjonspotensialene blir sendt ut raskere og at fyringsfrekvensen øker (Tillin & Bishop, 2009; Gossard et al., 1994; Luscher et al., 1983).

Selv om oppvarmingens effekt på prestasjon har vært studert siden 1930-tallet (Simonson, Teslenko & Gorkin, 1936), er det ifølge Bishop (2003), Fradkin et al. (2010) og Bourne (1992) svært lite god forskning som støtter effektiviteten av forskjellige oppvarmingsprosedyrer med tanke på belastning/intensitet. Mange av de tidligere studiene var dårlig kontrollerte og med få deltakere har det vært vanskelig å konkludere om oppvarming har noen effekt på prestasjon. Som et resultat av dette er oppvarmingsprosedyrer ofte basert på erfaring hos trener og utøver gjennom prøving og feiling (Bishop, 2003a; Fradkin et al. 2010).

I en nyere metaanalyse av Fradkin, Zazryn og Smoliga (2010) fant de ut at 79 % av de beste studiene som hadde undersøkt oppvarming fant en positiv effekt på prestasjon. 3 % fant ingen forandring på prestasjon, og 17 % fant en negativ effekt på prestasjon. Studiene som ble analysert undersøkte long term (> 5 minutter), intermediate term (> 10 sekunder < 5 minutter) og short term performance (< 10 sekunder). Ved nærmere undersøkelse av resultatene fant de ut at flesteparten av studiene som fant negativ og ingen effekt var de som var dårligst kontrollert, hadde liten spesifisitet i oppvarmingen og brukte utrente/uerfarne forsøkspersoner. Det er godt dokumentert at uerfarne eller utrente

personer vil ha mindre utbytte av oppvarming enn erfarne / godt trente utøvere (Bishop, 2003b; Fradkin et al. 2007; Fradkin et al. 2003; Franks, 1983 i Siff & Verkhoshansky, 2009).

Til tross for overkroppens relevans i en rekke idretter og konkurranser er hovedvekten av forskning innen PAP relatert til nedre ekstremiteter. En rekke studier har sett på PAP's effekt på knebøy og spenst hopp (Rixon et al., 2007; Gullich and Schmidtbleicher, 1996; Young et al., 1998; Gourgoulis et al., 2003; Radcliffe & Radcliffe, 1996). Saez Saez de Villarreal et al. (2007) undersøkte optimal oppvarmingsstimuli for forbedret short term performance i spenst hopp og konkluderte med at 85-90 % av 1RM i knebøy var den optimale oppvarmingsstimulien. Når det kommer til overkroppen har et fåtall studier undersøkt PAP. Bevan et al. 2009 og Baker (2003) rapporterte signifikant økning i blandt annet peak power i benkpress og bench press throws. Andre studier har funnet ikke-signifikante eller ingen forskjeller (Brambenburg, 2005; Hrysonmallis & Kidgel, 2001). En mulig årsak til dette er forskjell i forsøkspersonenes treningsstatus, samt ulik hviletid etter kontraktil aktivitet.

På bakgrunn av Saez Saez de Villarreal et al.'s studie (2007) hvor de konkluderte med at 85 - 90 % av 1RM i knebøy var optimal stimuli før spenst hopp ville undertegnede med denne studien se om det samme gjelder for benkpress. Studien ble designet for å finne ut om det var signifikant forskjell på prestasjonsvariablene maksimal hastighet (v_{max}), maksimal kraft (F_{max}), maksimal power (P_{max}), tid og distanse med stimuli på 50 % av antatt 1RM i benkpress vs. 85 % av 1RM. Det ble hypotetisert at oppvarmingsstimuli med 50 % av 1RM ville ha den beste effekten på 1RM prestasjon i benkpress. Dette på bakgrunn av at overkroppen består av mindre muskelmasse enn beina og at det tidligere har blitt foreslått at nedre ekstremiteter eliminerer tretthet mer effektivt enn overkroppsmuskler grunnet hyppigere eksponering av stimulering og mer daglig belastning. Det er usikkert om dette også gjelder individer som trener styrketrening for overkroppen aktivt. I denne studien ble det brukt forsøkspersoner med god erfaring innen styrketrening.

Prestasjonsvariablene som ble brukt i 1RM løftet var maks hastighet, maks power, maks kraft, distanse og tid. EMG ble også brukt for å måle muskelaktivitet.dsds

Metode

Design

Studien ble designet for å se om det ble noen signifikant forskjell i hastighet (v_{\max}), maksimal power (P_{\max}) maksimal kraft (F_{\max}), tid og distanse i et 1RM løft i benkpress etter to forskjellige oppvarmingsprotokoller. Den ene oppvarmingsprotokollen brukte en oppvarmingsstimuli på 50 % av 1RM i benkpress, mens den andre brukte oppvarmingsstimuli på 85% av 1RM. Åtte friske menn deltok i studien. Det ble benyttet et balansert cross-over design med repeterte målinger på en faktor. Testprotokollene ble tilfeldig tildelt forsøkspersonene og alle forsøkspersonene ble testet med begge protokollene.

Forsøkspersoner

I studien ble åtte middels til godt trente (styrketrening) menn i aldersgruppen 19 – 41 år brukt. Forsøkspersonenes karakteristikk er gitt i tabell 1. Alle forsøkspersonene hadde minst ett års erfaring med styrketrening, og da spesielt benkpress. Deres treningsprogram besto av minst to styrketreningsøkter per uke. Alle forsøkspersonene signerte et informasjonsbrev før forsøket, hvor de ble informert om risikofaktorer og om deres rett til når som helst å trekke seg fra forsøket uten å oppgi noen grunn.

Tabell. 1 Karakteristikk av forsøkspersonene. Gjennomsnittsverdi \pm standardavvik er oppgitt.

Alder (År)	Høyde (cm)	Vekt (Kg)	1RM benkpress (kg)
24 \pm 6,9	176 \pm 4,3	72,1 \pm 7,0	88,75 \pm 15,5

Testprosedyre

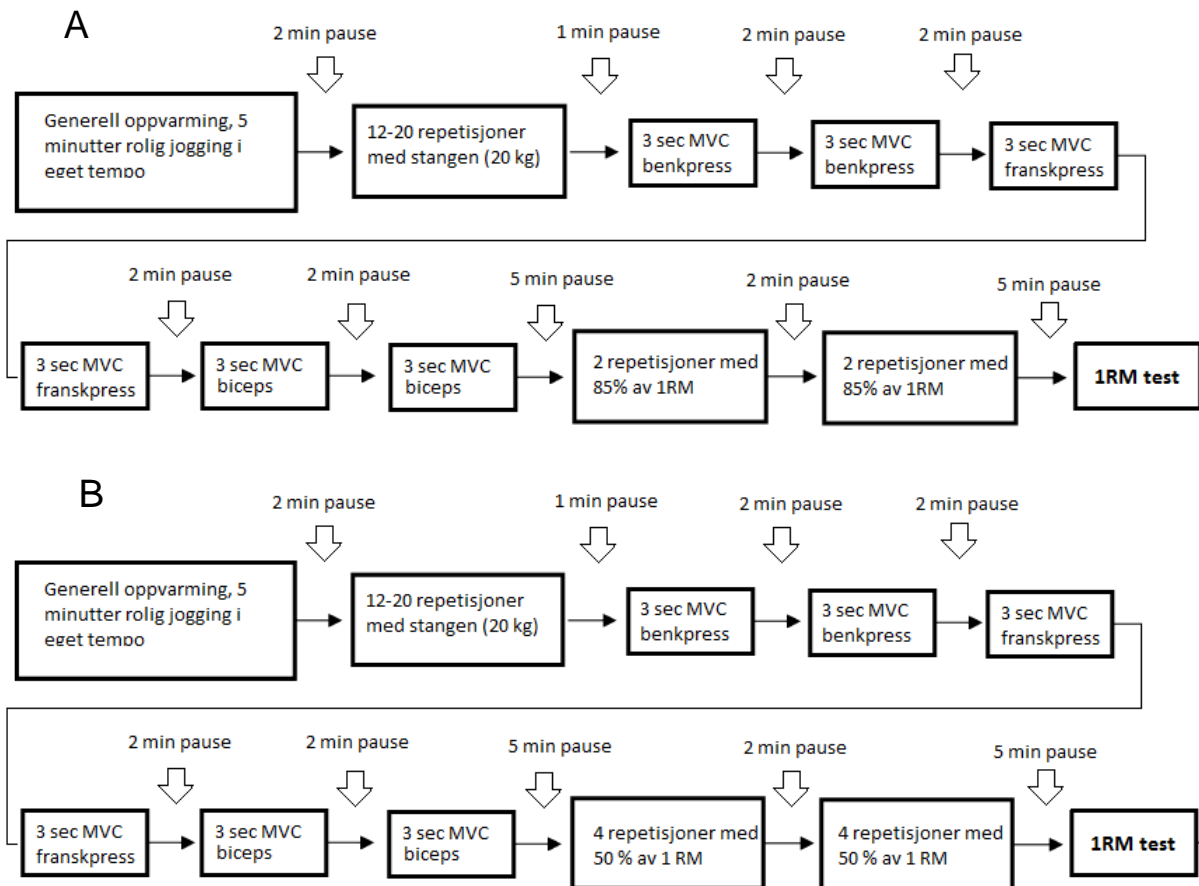
Det ble benyttet et balansert cross-over design med repeterte målinger på en faktor. De 8 forsøkspersonene ble tilfeldig delt opp i 2 grupper på 4, der den ene gruppen gjennomførte protokoll 1 (Fig. 1A) i uke 1, mens den andre gruppen gjennomførte protokoll 2 (Fig 1B.) i uke 1. I uke 2 ble det gjort motsatt. Dette ble gjort for sikre validiteten, og det reduserer påvirkningen av ukontrollerte variabler siden hver forsøksperson er sin egen kontroll. I tillegg

er cross-over design er veldig effektive med tanke på statistikk, slik at færre forsøkspersoner er nødvendig.

Før forsøket startet ble grepsbredden til forsøkspersonene målt slik at vi kunne kontrollere at de hadde samme bredde på grepet begge dagene. Gjennomsnittlig grepsbredde var $72,1 \pm 8,7$ cm. Begge protokollene startet likt, med 5 minutter jogging på mølle for å øke kroppstemperaturen. De løp i et selvvalgt tempo som varierte fra 6 – 10 km/t ($7,3 \pm 1,3$ km/t). Etter joggingen skulle forsøkspersonene ha 2 minutter pause etterfulgt av 12 – 20 repetisjoner med vektstangen (20 kg). De som var best trent valgte 20 repetisjoner, mens de som var dårligere trent tok færre.

Deretter ble maksimal muskelaktivitet for m. pectoralis major øvre og nedre, m. deltoideus midtre, m. triceps brachii lateralt hode, m. triceps brachii lange hode og m. biceps brachii målt. Dette ble gjort fordi forsøket ble gjentatt to ganger og dermed kan plasseringen av EMG padsene bli litt forskjellige som kan gi feil EMG målinger. Derfor ble muskelaktiviteten først målt ved en maximal voluntary contraction (MVC) og deretter ble muskelaktiviteten under prestasjon i 1RM regnet ut i prosent av muskelaktivitet målt ved MVC. For å måle maksimal muskelaktivitet i m. pectoralis major øvre og nedre samt m. deltoideus midtre gjennomførte forsøkspersonene først to sett med tre sekunder isometrisk MVC i benkpress med to minutter pause i mellom settene. Deretter tok de to sett med tre sekunder isometrisk MVC i franskpress for å måle maks muskelaktivitet i triceps. Til slutt tok de to sett med tre sekunder isometrisk MVC for å måle maks muskelaktivitet i biceps. De hadde to minutter pause mellom hvert av settene, og 5 minutter pause etter siste sett med biceps.

Etter 5 minutter hvile skulle de i protokoll 1 (Fig. 1A) ta to sett med to repetisjoner på 85 % av 1RM. Repetisjonene skulle utføres så eksplosivt som mulig. To minutter pause mellom settene, 5 minutter pause etter siste sett. Det samme ble gjort for protokoll 2 (Fig. 2A), men med 4 repetisjoner på 50 % av 1RM. Etter 5 minutters hviletid skulle de ta prestasjonstesten, en antatt 1RM test. Alle forsøkspersonene trente aktivt styrketrening, og visste circa hva deres 1RM var. Gjennomsnittlig 1RM med standardavvik er oppgitt i Tabell 1.



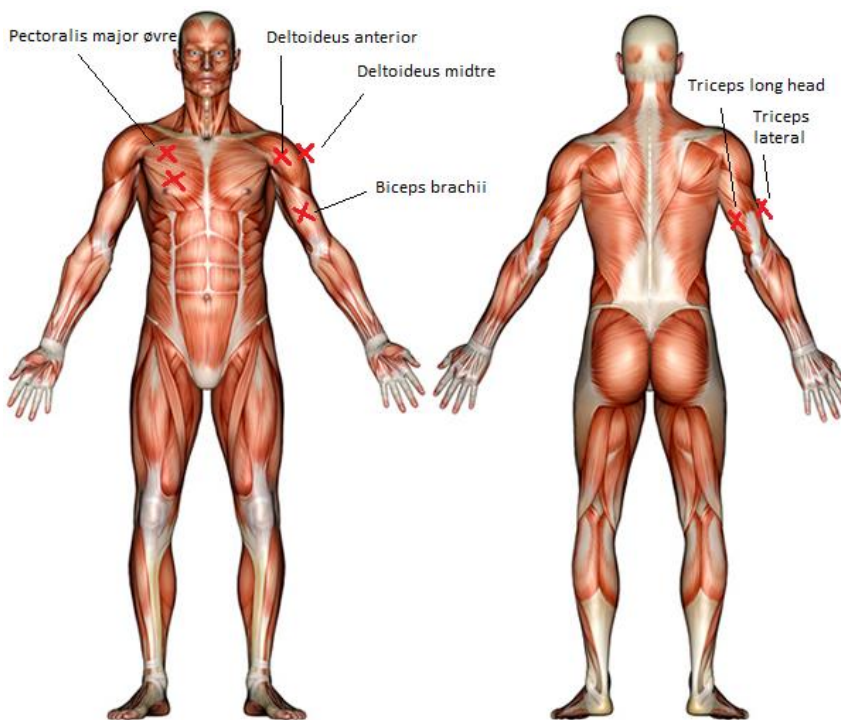
Figur 1. A) viser protokoll ved 85% av 1RM oppvarming og B) viser protokoll ved 50% av 1RM oppvarming.

Prestasjonsvariablene som ble målt var maksimal hastighet (v_{max}), maksimal power (P_{max}), maksimal kraft (F_{max}), distanse og tid. I tillegg ble muskelaktivitet målt.

Instrumenter og kalkuleringer

Programmet som ble brukt heter Muscle Lab (ML). Før forsøkspersonene skulle gjennomføre 1RM test ble ytre belastning (external load) skrevet inn i ML. Instrumentene som ble brukt var linear encoder, som målte maksimal hastighet (v_{max}), tid og distanse. Maksimal power (P_{max}) og maksimal kraft (F_{max}) ble regnet ut av Muscle Lab ut i fra ytre belastning. Deltakerne ble bedt om å finne en komfortabel grepsposisjon som ble målt, og som de skulle ha gjennom hele forsøket. EMG (Musclelab, Ergotest, Porsgrunn, Norge) ble brukt for å måle muskelaktiviteten i m. pectoralis major øvre og nedre, m. deltoideus midtre, m. triceps brachii laterale hode, m. triceps brachii lange hode og m. biceps brachii. Plassering av EMG

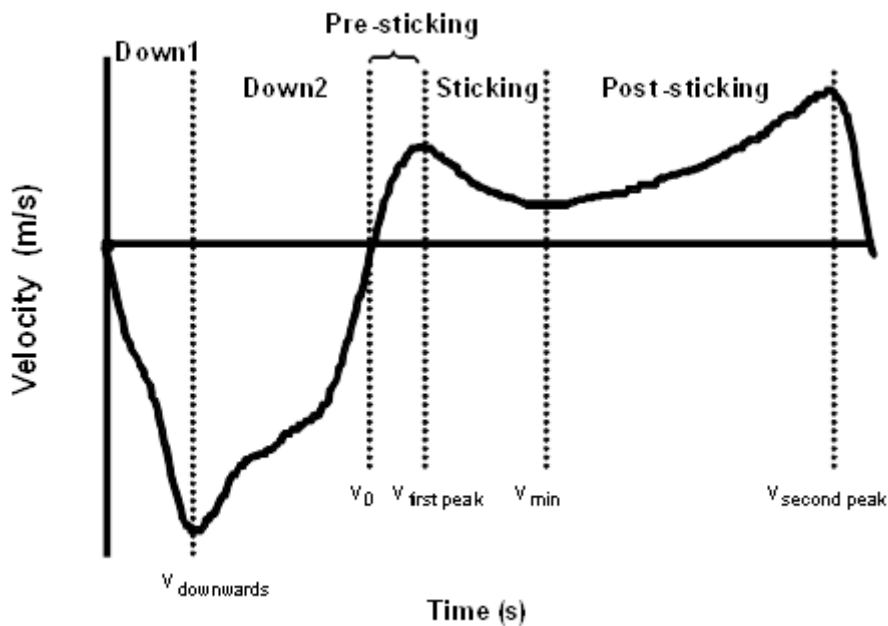
blir vist i fig. 2. Siden forsøket skulle gjentas to ganger på to forskjellige dager og EMG utstyret måtte tas av og på i mellom de to forsøkene ble maksimal muskelaktivitet for de forskjellige musklene målt. Dette ble gjort ved å gjennomføre en maksimal isometrisk kontraksjon (MVC) i øvelsene benkpress, franskpress og biceps curls. Deretter ble muskelaktiviteten under prestasjon i 1RM regnet ut i prosent av muskelaktivitet målt ved MVC.



Figur 2. Viser plassering av EMG padsene.

I tillegg til linear encoder og EMG ble også 3D kameraer analyse brukt. Det ble plassert reflekser på alle leddene i overkroppen samt hoftekammen. Resultatene fra dette skal brukes i en annen studie.

Målingene for alle prestasjonsvariablene ble delt opp i 5 faser. Fase 1 var startsposisjon og ned til minimal hastighet (Down1). Fase 2 gikk fra minimal hastighet til hastighet = 0 (Down2). Fase 3 ble kalt pre-sticking region og gikk fra hastigheten = 0 til maksimal hastighet i før sticking region. Fase 4 ble kalt sticking og gikk fra maksimal hastighet før sticking region til minimal hastighet i sticking region. Den 5. og siste fasen ble kalt post-sticking, og gikk fra minimal hastighet i sticking region til maksimal hastighet etter sticking region (Fig. 3).



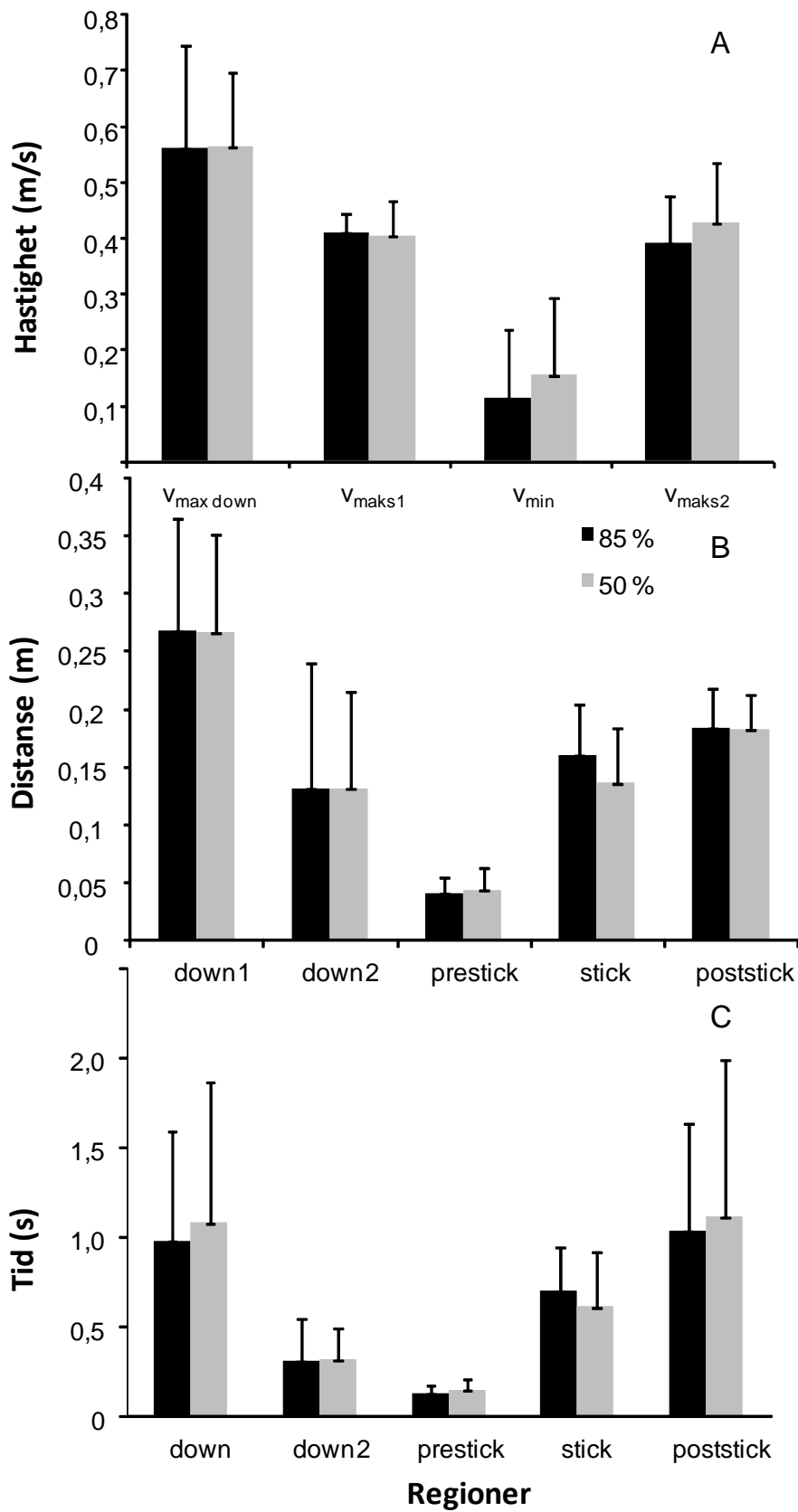
Figur 3. Definerings av de forskjellige regioner i hele benk press løftet.

Statistikk

For å sammenligne effekten av oppvarmingsløftene (50% vs. 85% av 1RM) ble det brukt en paret t-test på hastighet, posisjon, kraft, power og tid. For å se på muskelaktivering i løften over de forskjellige faser og mellom de to 1RM forsøkene er det brukt en 2 (50 vs. 85%)*5 (forskjellige faser) design med repeterte målinger (repeated measures). Post hoc sammenligning med Bonferroni korreksjon er brukt for å finne ut hvor eventuelle forskjeller er i muskelaktivering for hver muskel. Analysene er gjort i SPSS 19 og tallene er vist i gjennomsnitt med standardavvik.

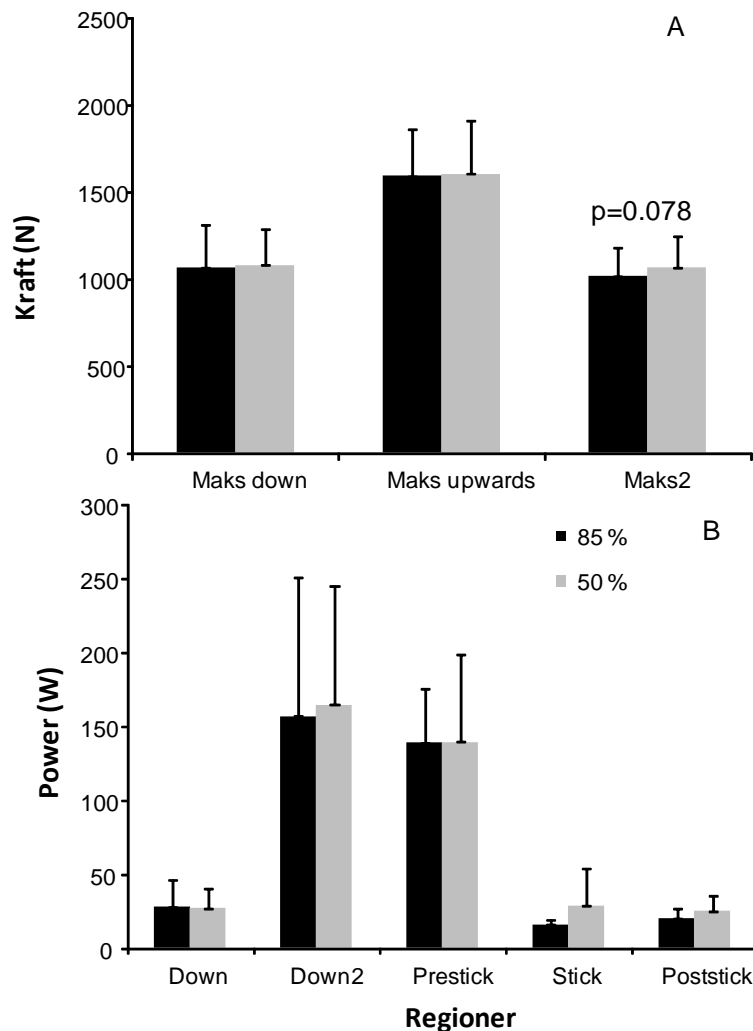
Resultat

Det er ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom 50% og 85% av 1RM oppvarmings protokoller på 1RM prestasjonen målt i hastighetene ($v_{\text{max down}}$, v_{max1} , v_{min} , v_{max2} , $p \geq 0.37$ fig. 4A), distanser over de 5 regioner ($p \geq 0.15$, Fig. 4B) og intervaller ved de regioner ($p \geq 0.22$, Fig. 4C).



Figur 4. A) minimale og maksimale hastigheter ved de 5 regioner, B) total forflytning av vektstanga i denne regionen og C) total tid i hver region ved 1RM etter 50 og 80% av 1RM benk press.

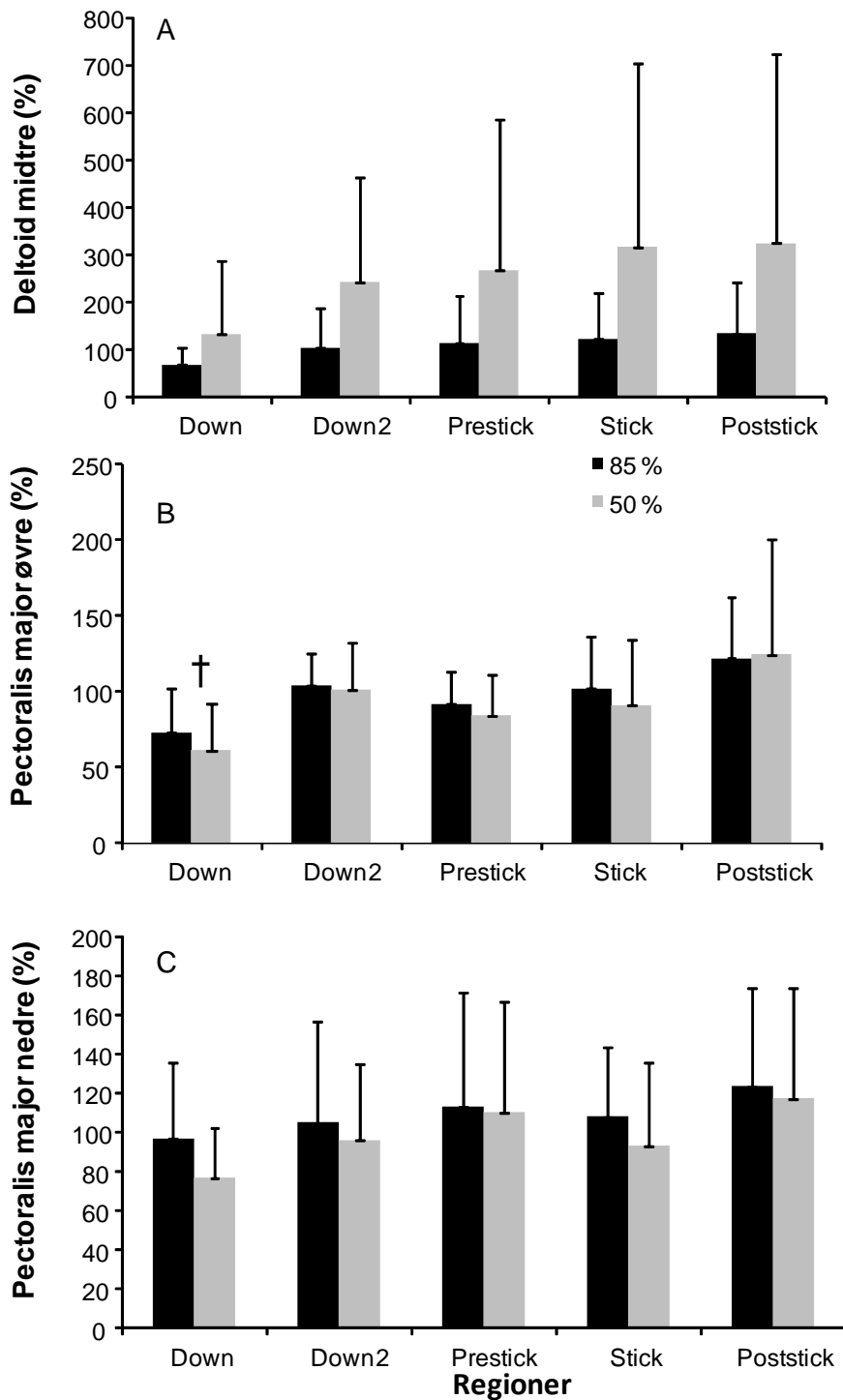
Det er heller ikke funnet noen signifikante forskjeller i kraft og power utviklingen ved de to situasjoner, men ved post sticking region var maksimal kraft (F_{max}) signifikansnivået mellom de 2 situasjoner på ($p=0.078$) med en høyere maksimal kraft etter oppvarmingsprotokoll 2 (med 50 %) (Fig. 5A).



Figur 5. A) Maksimal kraft ved 3 regioner, B) Maksimal power i de 5 regioner.

Angående muskelaktivering er det ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom aktivering etter 50 og 85% av 1RM oppvarmingsprotokoller ($F \leq 1.86$, $p \geq 0.21$, figur 6 og 7). Det er funnet signifikante forskjeller i muskelaktivering mellom regionene for Triceps musklene, øvre pectoralis og biceps ($p < 0.05$), mens det var ikke noen signifikante forskjeller ved nedre pectoralis og midtre deltoid muskel ($p \geq 0.085$, Fig. 5A og 5C). Triceps lateral viser en signifikant økning av aktivitet fra down region til oppgående regionene (Fig. 6B). Øvre pectoralis muskelen viser en signifikant lavere aktivering ved region down1 i forhold til alle andre regioner ($p < 0.05$, 5B). Biceps muskelen viser signifikant høyere aktivering ved region

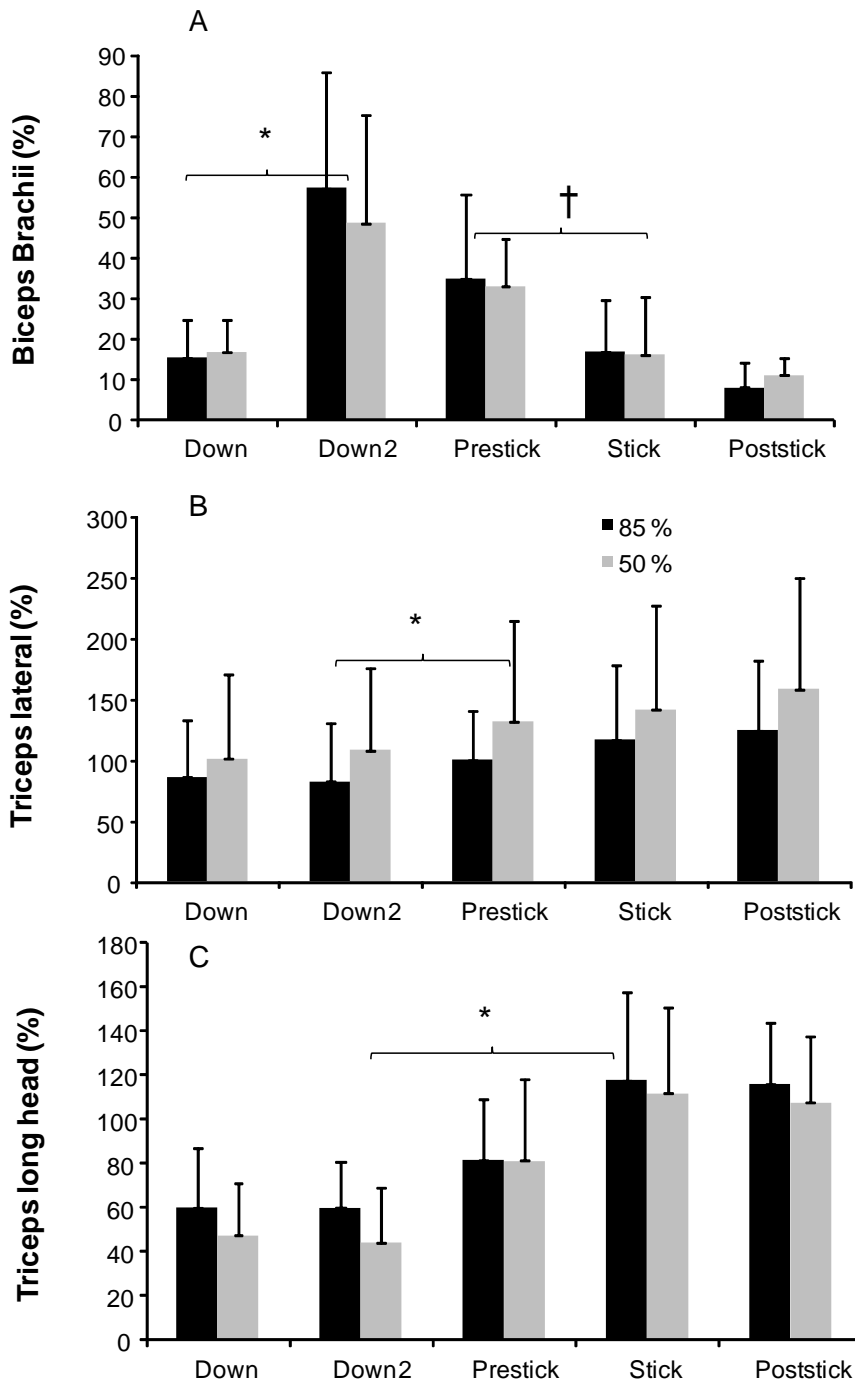
down2 og pre-sticking region i forhold til de andre regioner ($p < 0.05$, fig. 6A). Triceps lange hode aktivitet viser en signifikant økning fra down2 til sticking region ($p < 0.05$, fig 6C).



Figur 6. Muskelaktivering ved de 5 forskjellige regioner ro **A)** m. Deltoideus midtre, **B)** m. Pectoralis major øvre og **C)** m. Pectoralis major nedre

* Indikerer en signifikant forskjell i muskelaktivering mellom med de to regioner

† indikerer signifikant forskjell i muskelaktivering med alle andre regioner



Figur 7. Muskelaktivering ved de 5 forskjellige regioner ro **A)** m. Biceps brachii, **B)** m. Triceps brachii lateralt hode og **C)** m. Triceps brachii lange hode

* Indikerer en signifikant økning i muskelaktiveringer fra denne regionen til den neste.

† indikerer signifikant minking i muskelaktiveringer fra denne regionen til den neste.

Diskusjon

Hensikten med denne studien var å finne ut om det var signifikant forskjell på prestasjonsvariablene maksimal hastighet (v_{max}), maksimal kraft (F_{max}), maksimal power (P_{max}), tid og distanse med stimuli på 50 % av antatt 1RM i benkpress vs. 85 % av 1RM. Det ble hypotetisert at oppvarmingsstimuli med 50 % av 1RM ville ha den beste effekten på 1RM prestasjon i benkpress.

Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom oppvarmingsstimuli på 50 og 85% av 1RM i 1RM prestasjon målt i hastighetene (v_{max} , v_{max1} , v_{min} , v_{max2}), distanser over de 5 regioner eller intervaller ved de ulike regionene. Heller ikke i power ble det funnet signifikant økning i effekt. Signifikansnivået ved post-sticking region for maksimal kraft (F_{max}) var ($p=0.078$), noe som kategoriseres som en signifikant tendens i favør oppvarmingsprotokoll 2 med 50 % oppvarmingsstimuli. Angående muskelaktivering er det heller ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom aktiveringen etter 50 og 85% av 1RM oppvarmingsprotokoller. Det er funnet signifikante forskjeller i muskelaktivering mellom regionene for Triceps musklene, øvre pectoralis og biceps, mens det var ikke noen signifikante forskjeller ved nedre pectoralis og midtre deltoid muskel.

Som tidligere nevnt konkluderte Saez Saez de Villarreal et al. (2007) med at 85 – 90 % av 1RM i knebøy var den optimale oppvarmingsstimulien for forbedret short term performance i spensthepp. Rixon et al., (2007), Gullich and Schmidtbleicher (1996), Young et al. (1998), Gourgoulis et al. (2003) og Radcliffe & Radcliffe (1996) konkluderte også med at belastning > 80 % av 1RM i knebøy var optimalt med tanke på prestasjon i spensthepp. Dette ser ikke ut til å være tilfellet i 1RM benkpress prestasjon. Resultatene fra denne studien viser en tendens til økt kraftutvikling i oppvarmingsprotokollen med 50 % av 1RM. Dette kan være et resultat av at overkroppen består av mindre muskelmasse enn underkroppen og at for høy belastning i oppvarmingen vil føre til en negativ balanse mellom potensiering og tretthet. Underkroppen utsettes for belastning mye hyppigere enn overkroppen, og kan være mer effektiv i eliminering av tretthet. Derfor kan resultatene ha blitt annerledes hvis det hadde blitt brukt toptrente styrkeløfter utøvere og / eller blitt brukt lengre hviletid etter oppvarmingsstimulien. Det ble brukt bare åtte forsøkspersoner i denne studien som gjør det vanskelig å trekke noen konklusjoner. Det trengs helt klart videre forskning for å finne optimal oppvarmingsstimuli for benkpress.

Når det gjelder muskelaktivitet støtter funnene i denne studien tidligere funn når det kommer til muskelaktivering mellom de ulike regionene. Det er funnet signifikante forskjeller i muskelaktiveringen mellom regionene for Triceps musklene, øvre pectoralis og biceps. Disse forskjellene stemmer overens med blandt annet Van den Tillaar & Ettema (2010)'s funn.

Referanser:

- Baker, D. Acute effect of alternating heavy and light resistances on power output during upper-body complex power training. *J Strength Cond Res* 17: 493–497, 2003.
- Bevan, RH, Owen, NJ, Cunningham, DJ, Kingsley, MIC, and Kilduff, LP. Complex training in professional rugby players: Influence of recovery time on upper-body power output. *J Strength Cond Res* 23: 1780–1785, 2009.
- Bishop, D. Warm up I: potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Med* 33: 439–454, 2003.
- Bishop, D. Warm-up II. Performance changes following active warm-up and how to structure the warm-up. *Sports Med* 33: 483–498, 2003.
- Bourne, G. The physiological basis of the warm-up. *Mod Athlete Coach* 30: 36–38, 1992.
- Brambenburg, JP. The acute effects of prior dynamic resistance exercise using different loads on subsequent upper-body explosive performance in resistance-trained men. *J Strength Cond Res* 19: 427–432, 2005.
- Fradkin, AJ, Cameron, PA, and Gabbe, BJ. Is there an association between self-reported warm-up behaviour and golf related injury in female golfers. *J Sci Med Sport* 10: 66–71, 2007.
- Fradkin, AJ, Finch, CF, and Sherman, CA. Warm-up attitudes and behaviours of amateur golfers. *J Sci Med Sport* 6: 210–215, 2003.
- Fradkin, AJ., Zazryn, T. R., Smoliga, J. M. Effects of warming-up on physical performance: A systematic review with meta-analysis. *J Strength Cond Res* 24(1): 140–148, 2010.
- Franks, B. D.: Physical warm-up. In M. H. Williams (ed.), *Ergogenic Aids in Sport*. Champaign, IL: Human Kinetics, 340–375 (1983).

Gossard JP, Floeter MK, Kawai Y, et al. Fluctuations of excitability in the monosynaptic reflex pathway to lumbar motoneurons in the cat. *J Neurophysiol* 1994 Sep; 72 (3): 1227-39

Gourgoulis V, Aggeloussis N, Kasimatis P, Mavromatis G, Garas A (2003) Effect of submaximal half-squat warm-up program on vertical jumping ability. *J Strength Cond Res* 17(2):342–344

Gullich A, Schmidtbleicher D (1996) MVC-induced short-term potentiation of explosive force. *N Stud Athlete* 11:67–81

Hrysomallis, C, and Kidgel, D. Effect of heavy dynamic resistive exercise on acute upper body power. *J Strength Cond Res* 15: 426 – 430, 2001.

Kilduff, LP, Bevan, HR, Kingsley, MI, Owen, NJ, Bennett, MA, Bunce, PJ, Hore, AM, Maw, JR, and Cunningham, DJ. Postactivation potentiation in professional rugby players: Optimal recovery. *J Strength Cond Res* 21: 1134–1138, 2007.

Luscher HR, Ruenzel P, Henneman E. Composite EPSPs in motoneurons of different sizes before and during PTP: implications for transmission failure and its relief in Ia projections. *J Neurophysiol*. 1983 Jan; 49 (1): 269-89

Radcliffe JC, Radcliffe L (1996) Effects of different warm-up protocols on peak power output during a single response jump task. *Med Sci Sports Exerc* 28(5):189 (Abstract)

Rassier DE, Macintosh BR., Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle.2000. *Braz J Med Biol Res*. 2000 May;33(5):499-508.

Rixon, KP, Lamont, HS, and Bembien, MG. Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance. *J Strength Cond Res* 21: 500–505, 2007

Saez Saez de Villarreal E, González-Badillo JJ, et al. (2007). Optimal warm-up stimuli of muscle activation to enhance short and long-term acute jumping performance. *Eur. J. Appl. Physiol*. 100 (4): 393-401.

Siff, M. C., Verkhoshansky, Y. *Supertraining*. Lightning Publishing Limited, 2009. 6th edition.

Simonson, E, Teslenko, N, and Gorkin, M. Influence of warm-up on 100m run time. *J Physiol* 9: 152, 1936.

Tillin, N. A., & Bishop, D. (2009). Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Medicine*, 39(2), 147-166.

Young WB, Jenner A, Griffiths K. Acute enhancement of power performance from heavy load squats. *J Strength Cond Res* 1998; 12: 82-4