



# Bachelorgradsoppgave

## Effekt av Post-Activation Potentiation på sparkeprestasjonen i et rundspark hos trente kampsportutøvere

Håkon Strand Aandahl

KIF350

Bachelorgradsoppgave i Kroppsøving og idrettsfag

Lærerutdanning

Høgskolen i Nord-Trøndelag - 2014



**HINT**

## SAMTYKKE TIL HØGSKOLENS BRUK AV KANDIDAT-, BACHELOR- OG MASTEROPPGAVER

Forfatter(e): Håkon Strand Aandahl

Norsk tittel: Effekt av Post-Activation Potentiation på sparkeprestasjonen i et  
rundspark hos trente kampsportutøvere

Engelsk tittel: Effect of Post-Activation Potentiation on kicking performance in a  
roundhouse kick with trained martial artists

Studieprogram: Kroppsøving og idrettsfag – faglærerutdanning

Emnekode og navn: KIF350

Vi/jeg samtykker i at oppgaven kan publiseres på internett i fulltekst i Brage, HiNTs åpne arkiv

Vår/min oppgave inneholder taushetsbelagte opplysninger må derfor ikke gjøres tilgjengelig for andre

Kan frigis fra: \_\_\_\_\_

Dato: 23.05.2014

Håkon Strand Aandahl

Underskrift



## Abstrakt

Sparking med elastisk motstand (EM) kan initiere Post-Activation Potentiation (PAP), og dermed øke prestasjonen i lignende påfølgende eksplosive bevegelser. Det har hittil ikke blitt funnet bevis for at sparking med EM initierer PAP. Derfor ble det i denne studien undersøkt om 10 rundspark med EM over tre serier med 90 sek pause hadde en positiv effekt på påfølgende spark hos trente kampsport utøvere. Det ble også målt muskelaktivitet med elektromyografi (EMG) for å undersøke om det forekom en effekt av PAP. Fem kvinner og elleve menn gjennomførte to oppvarminger og to tester i testlaboratoriet ved Høyskolen i Nord-Trøndelag. Den ene testen ble gjennomført uten sparking med EM som en del av oppvarmingen (kontroll), og den andre testen ble gjennomført med sparking med EM som en del av oppvarmingen. Etter endt oppvarming var det en 5-8 minutters pause før testing. Test-sparkene ble målt ved bruk av 3D analyse system og EMG. Hastigheten målt ved sparkets mest distale punkt (tå) viste en signifikant forbedring på 3.3% som følge av sparking med EM i oppvarmingen ( $p=0.009$ ). Det ble også observert 35.2% økning i muskelaktivitet ved m. vastus medialis ( $p=0.057$ ) og en 43.9% økning i aktivitet ved m. rectus femoris ( $p=0.045$ ). I denne studien synes det å være en positiv effekt på sparkeprestasjonen ved spark som følger en oppvarmingsstrategi som inkluderer sparking med EM, noe som kan være forårsaket av PAP.

**Nøkkelord:** Oppvarming, Eksplosive bevegelser, PAP, Elastisk Motstand

# 1 INTRODUKSJON

---

En oppvarmingsstrategi som tidligere har vist seg å påvirke prestasjonen positivt i flere eksplosive bevegelser er Post-Activation Potentiation (PAP) (Mitchell & Sale, 2011; Bergmann, et al., 2013; Miarka, et al., 2011; Miarka, et al., 2011). Muskelens evne til å utvikle kraft er avhengig av det som har skjedd tidligere i denne muskelen, og prestasjonsforbedringer som følger en submaksimal eller en maksimal kontraksjon blir referert til som PAP (Baudry & Duchateau, 2007). Det har blitt vist at type II fibre får en større effekt av PAP enn type I (Hamada, et al., 2003). Det har blitt funnet forskjeller i hvor stor effekt av PAP utøvere kan oppnå avhengig av hvor trente de er (Gourgoulis, et al., 2003). I denne studien vil det bli undersøkt om PAP kan benyttes for å påvirke sparkeprestasjonen i et rundspark hos trente kampsportutøvere med bakgrunn i TaeKwonDo (TKD) og Kickboksing. I sin video forklarer Kwonkicker (2009) et rundspark, og HowcastSportsFitness (2013) forklarer et annet rundspark. Disse teknikkene har fellestrekk i hofterotasjon, kneekstensjon, treffpunkt, og bevegelsesbane. Sparking med *elastisk motstand* (EM) kan føre til PAP, og kan dermed forbedre prestasjonen i påfølgende spark med lignende eksplosive bevegelser. Tidligere studier har ikke undersøkt om sparking med EM innlagt i en oppvarmingsstrategi kan føre til PAP og følgelig bedre sparkeprestasjon. Det har heller ikke blitt studert om det skjer endringer i muskelaktivitet under sparket som konsekvens av sparking etter en oppvarmingsstrategi som benytter sparking med EM.

Hittil er forskningen på PAP noe mangelfull. Tidligere studier presenterer inkonsistente funn av PAP på prestasjonsforbedringer. Noen studier har funnet prestasjonsforbedringer (Chiu, et al., 2003; Mitchell & Sale, 2011; Batista, et al., 2007; Rixon, et al., 2007) mens andre studier ikke har kunnet måle noen effekt av PAP (Behm, et al., 2004). Flere av øvelsene ble gjennomført med isometriske frivillige maksimale kontraksjoner (MVC) på overkropp og underekstremitet med det mål å initiere PAP (Behm, et al., 2004; Batista, et al., 2007). Selv om en kan finne effekt av PAP etter isometriske øvelser, er ikke dette en øvelse som er spesifikk for dynamiske idretter. Hittil har studiene som benytter dynamiske bevegelser for å teste effekten av PAP vært preget av styrketrenings øvelser med tung motstand >70% 1RM eller 1-5RM maks i knebøys øvelser (Chiu, et al., 2003; Mangus, et al., 2006; Rixon, et al., 2007; Mitchell & Sale, 2011). Ved å benytte styrketrening for å initiere PAP (ibid.) kan man kontrollere øvelsene med hvor mye motstand som blir benyttet og hvor mange repetisjoner som blir brukt. Likevel vil det for mange idretter ikke være spesifikt med generelle styrketreningsøvelser som oppvarmingsstrategi for en kortsiktig økning i prestasjon. Imidlertid har en studie vært mer spesifikk i valg av øvelse for å initiere PAP. Ved å bruke 40m sprint med lett

motstand (0-40% av kroppsvekt) testet de ut PAP effekten på sprintprestasjon (Smith, et al., 2014). Smith et. al. (2014) benyttet sprint med motstand i form av en slede tenkt til å initiere PAP, noe som er biomekanisk likt og spesifikt med hensyn til sprintøvelsen det konkurreres i. Selv om Smith et. al. (2014) ikke kunne forklare den prestasjonsforbedrende effekten med PAP, fikk de en prestasjonsforbedring som følge av å legge inn sprint med lett motstand (0-40% av egen kroppsvekt) i oppvarmingsprosedyren. Ved å inkludere sparking med lett motstand, som en del av oppvarmingsstrategien for å øke prestasjon i spark, vil en ivareta spesifisiteten ved at sparking med motstand skjer i samme bevegelsesbaner som konkurransespark. Det har ikke blitt funnet studier som benytter eksplosive øvelser med EM for å initiere PAP. Sparking med EM har blitt brukt i flere år som treningsstrategi for å øke hastigheten i rundspark hos TKD utøvere, og har tidligere vist seg å øke hastigheten i spark som følge av denne treningen (Jakubiak & Saunders, 2008). Likevel er det usikkert om den kroniske økningen i sparkehastighet er en konsekvens av effekten av PAP.

Hvorfor PAP kan gi prestasjonsforbedringer i eksplosive øvelser har blitt forklart med bakgrunn i tre ulike teorier; fysiologiske forbedringer (Paasuke, et al., 1996; Rassier & Macintosh, 2000; Sale, 2002; Hodgson, et al., 2005), Forbedringer ved pennation angle (Tillin & Bishop, 2009) og nevralt forbedring (Chiu, et al., 2003; Güllich & Schmidtbleicher, 1996; Aagard, 2003; Aagard, et al., 2002).

De fysiologiske forbedringene omhandler fosforylering av de lette kjedene i myosinhodet (RLC). Under fosforylering blir myosinhodene katalysert av enzymet myosin light chain kinase og blir aktivert av en tilstrømming av  $Ca^{2+}$  molekyler fra sarkoplasmatiske retikulum under en muskelkontraksjon (Tillin & Bishop, 2009). Dette enzymet er ansvarlig for ATP tilførselen til aktin-myosin komplekset, og en økt aktivitet vil kunne føre til en økt tilstrømming av ATP; noe som vil føre til en økt hastighet av tverrbro syklusen mellom aktin og myosin (Hodgson, et al., 2005). Fosforylering kan føre til en endring av strukturen i myosinhodet, slik at hodet beveges ut fra myosin filamentet, og nærmere bindestedet på aktinet (Ibid.). Disse forbedringene kan føre til en økt hastighet på tverrbro-syklusen i aktin-myosin komplekset, og at distansen mellom myosinhodet og dets bindested på aktinfilamentet blir kortere og at sensitiviteten for  $Ca^{2+}$  blir økt. Dermed kan en maksimal eller en submaksimal aktiveringsstimuli kunne føre til en økning i muskelens poweroutput på grunn av en økt forkortningshastighet i musklene som kan bidra til prestasjonsforbedringen i en eksplosiv bevegelse (Ibid.).

En annen forklaringsmodell på prestasjonsforbedringer kan være endringer i muskelens struktur. Tillin et. al. (2009) mener øvelser som fører til PAP forårsaker endringer i vinkelen mellom muskelfibrene og muskelens lengdeakse (pennation angle), og at dette kan bidra til en PAP effekt. I en studie av Mahlfeld et. al. (2004) ble det funnet endringer i pennation angle tilsvarte en 0.9% økning i overføring av kraft fra fibrene til senene; noe som kan bidra til en PAP effekt (ibid.). Tillin et. al. (2009) nevner at de øvelsene som kan føre til PAP også kan være årsak til mindre strekkfasthet i bindevev og sener. Mindre strekkfasthet kan motvirke all økning i kraftoverføring skapt av en endringer i pennation angle (Kubo, et al., 2001). Det er derfor noe usikkert om endringer i pennation angle kan bidra til effekten av PAP.

Hvorfor PAP kan gi prestasjonsforbedring i eksplosive øvelser kan også forklares med nevralt forbedringer. De nevralt forbedringene som kan forekomme etter en maksimal eller sub-maksimal kontraksjon inkludert i en oppvarmingsstrategi omhandler en økt rekrutteringen av større og kraftigere motoriske enheter (higher order motor units) (Chiu, et al., 2003; Güllich & Schmidtbleicher, 1996). Den økte nerveaktiviteten kan også føre til bedre synkronisering av de motoriske enhetene og en forminskert pre-synaptisk inhibering (Aagard, et al., 2002; Aagard, 2003). På denne måten vil slike nevralt forbedringer kunne bidra positivt på prestasjonen ved en eksplosiv kontraksjon. For å kunne bekrefte en slik teori kan en måle muskelaktivitet i en bevegelses mest sentrale muskler etter en oppvarmingsstrategi som inkluderer PAP.

Hensikten med denne studien var å gjennomføre en oppvarmingsstrategi som inkluderer eksplosiv sparking med EM for å undersøke om det er mulig å oppnå en forbedret sparkeprestasjon som følge av submaksimal øvelse tenkt til å initiere PAP. *Det hypotetiseres at sparking med elastisk motstand på slutten av et oppvarmingsprogram vil forbedre sparkeprestasjon på rundspark hos trente kampsportutøvere. Det hypotetiseres videre at sparking med elastisk motstand på slutten av et oppvarmingsprogram vil øke muskelaktiviteten i sparkefotens knestrekke (h. m. Vastus medialis, h. m. Vastus lateralis og h. m. Rectus femoris.).*

## 2 METODE

---

### 2.1 EKSPERIMENTELL TILNÆRMING

Dette er en randomisert, kontrollert studie hvor det ble testet om det var noen forskjell i utøvernes prestasjon i et rundspark etter to forskjellige oppvarmingsprotokoller. En av oppvarmingsprotokollene inneholder sparking med EM som kan initiere PAP, og en mulig prestasjonsforbedring i påfølgende spark. Tre test-spark ble gjennomført 5-8 min etter de to oppvarmingsprotokollene. Sparkeprestasjonen ble målt som hastighet ved sparkefotens laterale tå. Prestasjonsrelaterte variabler ble målt som hastigheten ved høyre hoft, kne og ankel. Utøverne gjennomførte to oppvarmingsprotokoller; en med og en uten PAP. Testingen ble gjennomført på 0-2 dager.

### 2.2 FORSØKSPERSONER

Seksten kampsportutøvere deltok i studien (alder  $20.6 \pm 5.5$  år (SA), Høyde  $175.6 \pm 8.9$  cm, vekt  $75.5 \pm 13.5$ kg, BMI  $24.5 \pm 4.1$  kg/m<sup>2</sup>). Blant deltakerne var det fem kvinner og elleve menn. Utøverne trener til vanlig ved Røra TKD Klubb, Stjørdal TKD Klubb, Verdal Kampsportklubb, Kickboksing ved Skogn Folkehøyskole og Frosta TKD Klubb. Utøverne hadde  $3.8 \pm 2.5$  års erfaring i sine respektive kampsporter, og 11 av de 16 utøverne konkurrerte aktivt. Alle utøverne gav sin underskrift på en samtykkeerklæring og kunne trekke seg fra studiet når de ville uten å oppgi grunn.

### 2.3 FORSØKSOPPSETT

For å kunne teste forsøkspersonenes sparkeprestasjon ble det hengt opp en heavy-bag (tube formet, 1.4m høy, 30cm diameter, vekt: 28.5kg) i sentrum av 3D kamerasystemet Qualisys Track Manager (QTM, Qualysis, Sävedalen, Sverige, seks kameraer, 500Hz). Det ble benyttet seks kameraer for å måle 15 ( $\pm 1$ ) markører festet til forsøkspersonene (v. troch. major, h. troch. major., v. superioer iliac crest, h. superioer iliac crest, v. lateral kne, h. lateral kne, v. medial kne, h. medial kne, v. lateral malleolus, h. lateral malleolus, v. medial malleolus, h. medial malleolus, v. lateral metatarsal-phalangeal ledd, h. lateral metatarsal-phalangeal ledd og v. medial metatarsal-phalangeal ledd). Det ble også festet fire markører på heavy-baggen, to markører 5cm fra bunn med 16.5cm mellom seg, og to markører 18cm fra toppen med 16.5cm mellom seg. Det var 81cm mellom markørene festet



Figur 1. Forsøksoppsett. Heavy-bag i midten som testpersonene sparket sine testspark på. Baggen ble festet til fire punkter på hver sin side av vektløfting stativ for å unngå at baggen roterer rundt sin egen akse etter spark. Det ble lagt på 120kg ekstra på det ene vektløftingsstativet for å øke dets stabilitet. Rundt test-området står det seks 3D kameraer.

Vastus medialis og h. m. Vastus lateralis, samt midt mellom proximale og distale ende på h. m. Rectus femoris mens musklene var i maksimal kontraksjon. Disse elektrodene var festet til EMG sensorer som var synkronisert med MuscleLab (Ergotest Technology AS, Langesund, Norge). Det viste seg underveis i studiet at disse elektrodene noen ganger falt av i løpet av testing og/eller oppvarming. Det ble derfor markert rundt disse elektrodene slik at det kunne plasseres nye elektroder på samme sted dersom de skulle falle av. Ettersom all data som ble målt igjennom Muscelab systemet benytter samme tidsramme; ble linear encoder og EMG synkronisert i programvaren og data fra disse enhetene kunne sammenlignes uten videre behandling.

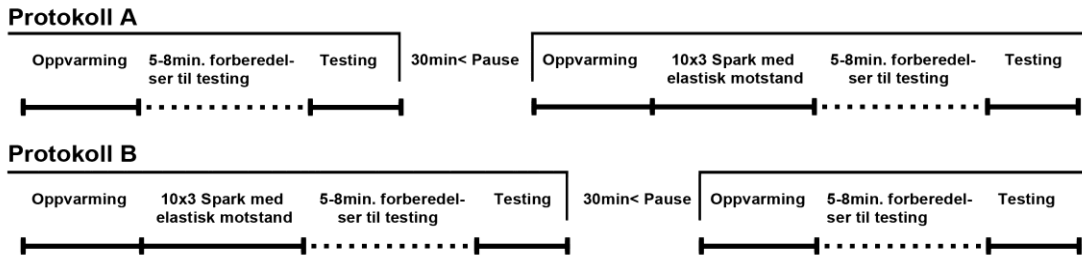
## 2.4 TESTPROTOKOLL

Forsøkspersonene gjennomførte to oppvarmingsprotokoller etterfulgt av testspark. De fleste (13 av 16 deltakere) gjennomførte begge tester på samme dag, mens de tre resterende deltakerne gjennomførte testingen innen to dager etter første test av organisatoriske årsaker. Utøvere ble delt opp i to randomiserte grupper hvor 7 utøvere gjennomførte protokoll A (Fig. 2) og 9 utøvere gjennomførte protokoll B. Effekten av PAP har en begrenset varighet, og utøvere som er i forskjellig fysisk tilstand oppnår maksimal effekt på forskjellige tider etter PAP-initierings øvelsen (Wilson, et al., 2013). Det synes å være en tidsperiode på fem til åtte minutter etter PAP-initieringsøvelsen hvor atleter, trente og utrente fremdeles har effekt av PAP (ibid.). Ettersom det i denne studien ikke ble testet hvor trente utøvere er, ble testingen gjennomført fem til åtte min etter endt oppvarming.

ved bagens øvre og nedre del. Markørene ble festet for å kunne måle baggens forflytning, og for å kunne registrere når utøverne treffer. QTM (Qualysis, Sävedalen, Sverige, seks kameraer, 500Hz) ble kalibrert til å måle avvik på markørene som er  $<0.7\text{mm}$  ved 500Hz.

På heavy-baggens underside var det festet en linear encoder som ble koblet til MuscleLab (Ergotest Technology AS, Langesund, Norge) for å registrere data om baggens forflytning fra utgangsposisjon. Da utøverne sparket sine testspark hadde de elektroder for EMG registreringer festet til distale del av h. m.





Figur 2. Testprotokoll. Protokoll A inneholder først en oppvarming uten EM, forberedelser til testing og testing, og deretter oppvarming med EM, forberedelser til testing og testing. I protokoll B gjennomføres oppvarming med EM øvelsen først med påfølgende forberedelser og testing, og deretter oppvarming uten EM før forberedelser og testing.

Ved starten av hver test-dag ble det gjennomført en sjekk av forsøksoppsettet for å undersøke om at alle måleinstrumenter og forsøksoppsettet fungerte og alle enhetene hadde tilstrekkelig med batterikapasitet. QTM (Qualysis, Sävedalen, Sverige, seks kameraer, 500Hz) ble også kalibrert hver dag det ble gjennomført testing. Kalibreringen av QTM (Qualysis, Sävedalen, Sverige, seks kameraer, 500Hz) ble gjennomført ved å legge en ramme med fire markører i synsfeltet til alle kameraene. Denne rammen var allerede lagt inn i QTM programvaren slik at systemet dermed visste målene mellom de fire markørene. Deretter ble det benyttet en kalibreringspinne formet som bokstaven T som også var lagt inn i QTM programvaren. Denne kalibrerings pinnen ble da beveget rundt i testingsområdet slik at systemet kalibreres. Kalibreringen ble godkjent dersom markørene ble målt med avvik <1mm. I denne studien ble gjennomført målinger av muskelaktivitet i under testsparkene. Utøverne barberte av hår på de overflatene hvor elektrodene skulle festes for å oppnå en optimal kontaktflate for å feste elektrodene på. Kontaktflaten ble også desinfisert med antibakterielt middel før testing for å rengjøre overflaten og fjerne døde hudceller. Det ble også påført en gel på elektrodene for å oppnå optimal kontakt. Med en gang utøveren var ferdig med en oppvarming ble markørene og elektrodene festet så fort som mulig for å bevare den potensielle PAP-effekten. Alle utøverne var klare til første testpark innen 5-8minutter etter at oppvarmingen var ferdig.

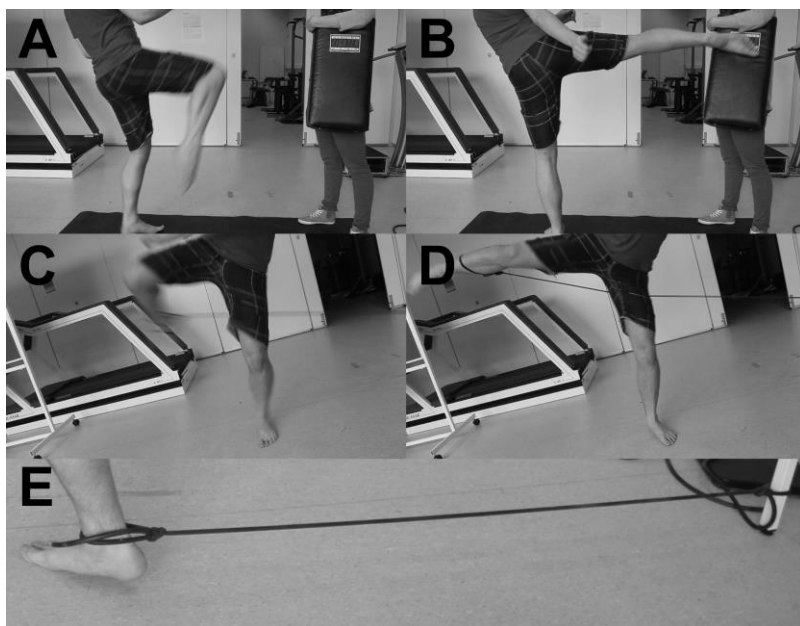


Figur 3. Korea step. Utføres som repeterte knebøy med et fraspark ved stamfoten når svingfoten nærmer seg maksimal høyde.

sparkene var lave spark med treffpunkt som om de skulle sparket en motstander foran slik at egen fot er bak motstanders hel. Den neste øvelsen som ble gjennomført i løpet av oppvarmingen kalles *korea step*. Korea step er en TKD spesifikk oppvarmingsøvelse som har flere nivåer. I denne oppvarmingen ble det brukt et enkelt korea step som ligner høye kneløft hvor det blir gjennomført ett fraspark med stand foten når svingfoten nærmer seg maksimal høyde i kneløftet (fig. 3). Denne øvelsen ble gjennomført kontinuerlig i likhet med vanlige høye kneløft i to minutter. Til sist ble det gjennomført to serier med 10 rundspark på hver fot på en stor sparkepute holdt i utøvernes magehøyde (fig.4, panel A og B). Disse sparkene ble gjennomført fra lav til moderat intensitet ved første serie, og fra moderat intensitet opp til maksimal intensitet på de tre siste sparkene i siste serie.

Øvelsen med hensikt å initiere PAP ble gjennomført med samme type rundspark som forrige øvelse, men denne gangen har utøverne en elastisk tube (X-ERFIT FITNESS TUBE, hard styrke, sort farge) rundt ankelen på sparkefoten (fig. 4, panel C, D og E). Tuben var festet bak i en benk som ikke flyttet seg i løpet av øvelsen. Ettersom utøvernes erfaring med sparking med EM varierte; fikk den enkelte utøver to til tre testspark med elastikken før øvelsen startet. Dette ble gjort slik at utøverne kunne blant annet finne ut hvor hardt og raskt de måtte sparke med strikket for å treffe sparkeputen, og likevel bevare teknikken så godt de kunne. Under sparking med EM ble den nedre stroppen på en leggbeskytter benyttet for å holde tuben festet til ankelen, noe som ikke ble brukt for å illustrere øvelsen på bildet (fig.4). For å få mest effekt av øvelsen som skulle føre til PAP, ble øvelsen gjennomført med ti repetisjoner og tre serier ettersom potenseringen synes å være mer optimal med flere serier (Wilson, et al., 2013). Øvelsen besto av 10 maksspark med 0-3 sek mellomrom i tre

Oppvarmingen startet med fem minutter lett jogging. Deretter ble det gjennomført ballistiske øvelser rundt hoftepartiet (utover- og innoverføring av lår, høye kneløft og spark bak). Disse øvelsene ble gjennomført kontinuerlig fram og tilbake på oppvarmingsområdet i ett minutt per øvelse. Øvelsene ble gjennomført fra lav intensitet til moderat intensitet. Deretter ble det gjennomført kontinuerlige spark med lav intensitet, på samme strekning som de tidligere oppvarmingsøvelsene, i to minutter. Disse



Figur 4. Bildene i denne figuren er illustrative. Panel A og B viser ett rundspark uten EM. Standfoten ved panel A ble ikke pivotert for å unngå å utvikle for mye kraft da personen som holder puten ikke er trent til å ta imot spark med full kraft. Panel C og D viser rundspark med EM. På panel E ser vi at den elastiske tuben er satt i spenn (1.6-1.7m), men ikke strukket noe videre før sparking.

utøveren begynte å sparke saktere eller yte mindre under øvelsen med EM ble dette kommentert for å motivere til maksimal innsats under den resterende delen av øvelsen.

serier med 90 sek pause mellom seriene. Selv om øvelsen gjennomføres med høy intensitet og maksimal innsats; var 90 sek pause tilstrekkelig for å kunne yte maksimal innsats igjennom alle tre seriene med sparking i pilotstudien. Pausetiden gir også samsvar med teorien om gjenvinning av kraft etter en 30 sek sprint på sykkel (Michalsik & Bangsbo, 2002). Øvelsen i ble kontrollert ved subjektiv persepsjon av utøverens innsats under øvelsen. Dersom

Forberedelsene til testingen startet med en gang utøveren var ferdig med å varme opp. Som tidligere nevnt ble overflater der det skulle bli festet elektroder rensert med antibakterielt middel. Overflater der det skulle festes markører ble tørket for svette. Ettersom spark gjennomføres med svært høy hastighet ble det i pilotstudien konkludert at markørene måtte limes på for at de skulle sitte fast under hele sparket. Det viste seg imidlertid at markørene kunne falle av, og de måtte dermed limes på igjen før neste testspark. Det ble også brukt dobbeltsidig teip for å feste noen markører på den ikke sparkende foten og hoften da de igjennom et spark har mye lavere hastighet enn deler av den sparkende fot. Det ble festet elektroder på utøveren for EMG måling. Før det ble gjennomført testing fikk utøveren stille seg klar der han/hun skulle sparke og gjennomføre ett til tre testspark for å finne riktig avstand, og for å sikre at markører og elektroder satt fast.

Testgjennomføringen besto av tre påfølgende spark (5-20 sek). Data ble samlet inn på to datamaskiner som ble klargjort før testsparkene. Utøverne fikk informasjon om at de skulle sparke det hardeste og raskeste som de kunne. Årsaken til at det ble gjennomført tre spark i testingen var at utøverne kunne hente seg inn dersom det ble et veldig dårlig spark, eller i tilfelle noen markører

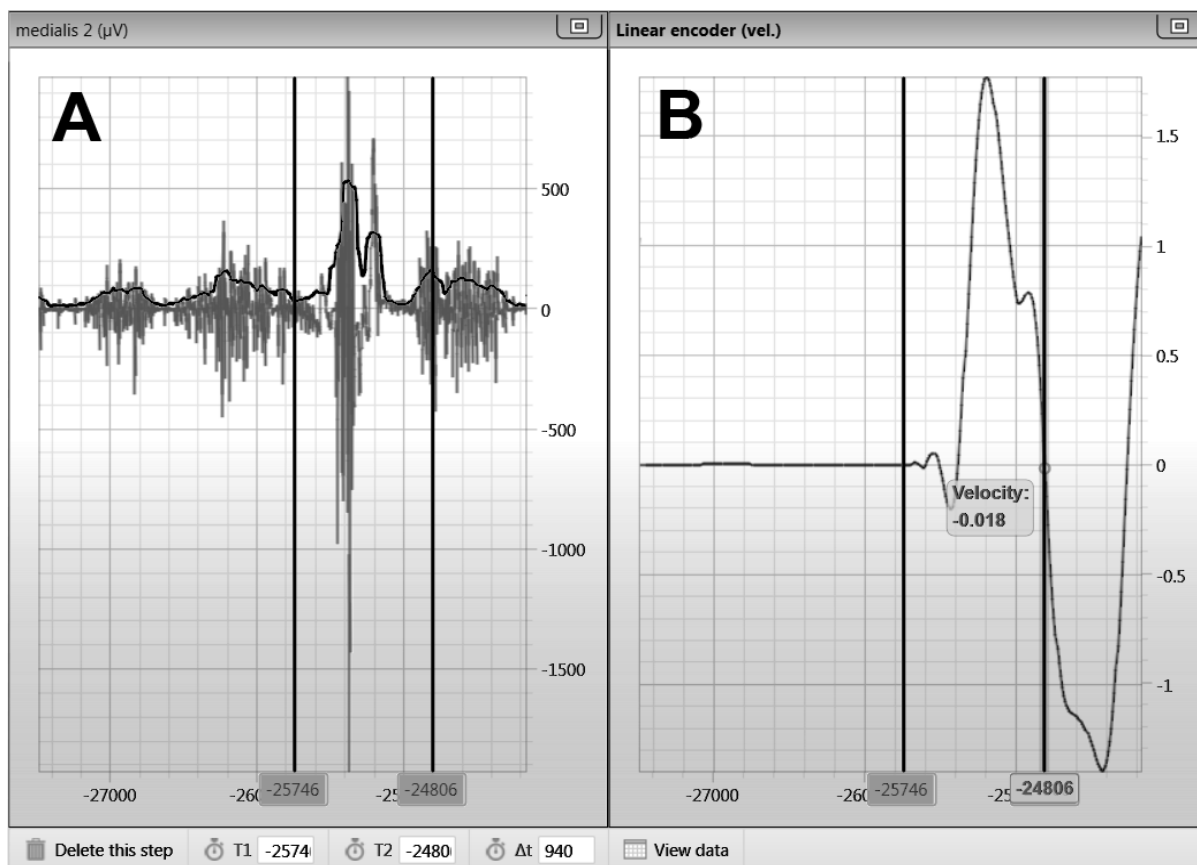
skulle falle av under et spark. Etter endt testing ble all data lagret, og utøveren fikk en pause på 30-60 minutter før han/hun skulle varme opp på nytt i henhold til neste oppvarmingsprotokoll.

## 2.5 BEARBEIDING AV DATA

Studiens hensikt var å undersøke forskjeller i sparkeprestasjon mellom to oppvarmingsstrategier og å undersøke muskelaktivitet i de mest aktive musklene under sparket. Hos hver deltaker ble det beste av tre testspark på hver testing tatt med videre i analyseringsarbeidet. Den enkelte utøvers bestespark ble definert som det av de gjennomførte testsparkene med eller uten EM som hadde høyeste maksimale hastighet ved h. lateral metatarsal-phalangeal ledd (tå). Ettersom det i denne studien kun ble undersøkt forskjeller i prestasjon ved sparkene, ble det kun undersøkt absolutte tall når det kommer til hastigheter. EMG data ble analysert i forskjeller mellom gjennomsnitts M-RMS.

Bearbeiding av 3D data. Ved bruk av 3D analyse system kan en få eksakte posisjoner av bevegelser i tid og rom. Dette forutsetter at data som blir registrert er god nok. Den enkelte markør må bli sett av minimum tre kameraer i systemet for å finne dens eksakte posisjon i tid og rom. I studier hvor en undersøker bevegelser er det ofte at noen markører kommer bort da lemmer eller annet kan komme mellom markøren og et tilstrekkelig antall kameraer. Men dersom markøren er bort i svært kort tid, og er godt synlig på begge sider av denne glippen; er det mulig å gjennomføre en *Gap-fill*. Gap-fill er en funksjon i QTM programvaren som regner ut den manglende banen til markøren slik at den likevel kan fullbyrdes og benyttes i analyseringsarbeidet. Når alle markørene fra et spark var synlige kunne informasjonen om deres posisjon og forflytning eksporteres og legges inn i Matlab. Ved bruk av Matlab ble det hentet maksimal hastighet fra markørene på høyre hofte, kne, ankel og laterale tå. Dermed er 3D data et direkte mål på sparkeprestasjonen. Ettersom det ikke var mulig å benytte filtrering av data materiell for å utelukke feilmålinger i Matlab; kunne vi ikke benytte en automatisk data innsamlingsprosess da den kunne være sterkt preget av feil. Dermed ble denne data hentet ut manuelt for hvert enkelt spark. Analysen sammenlignet kun utøvernes beste spark med og uten EM i analysen av data.

Bearbeiding av Musclelab data. For å kunne benytte data som ble samlet inn gjennom MuscleLab (Ergotest Technology AS, Langesund, Norge) må data eksporteres. Som figuren viser ble det eksportert data ved alle spark mellom det seneste punktet linear encoder hastighet fremdeles var 0.0 m/s og til det første punktet etter at hastigheten har gått under 0.0 m/s (fig. 4).



Figur 5. Eksportering av data fra MuscleLab (Ergotest Technology AS, Langesund, Norge) registrert under ett testspark. Panel A viser EMG målingen ( $\mu\text{V}$ ) og en M-RMS linje (Svart). Panel B viser hastighet målt av linear encoder i m/s. Data mellom de to vertikale linjene ble eksportert på all data registrert igjennom MuscleLab (Ergotest Technology AS, Langesund, Norge).

## 2.6 STATISTIKK

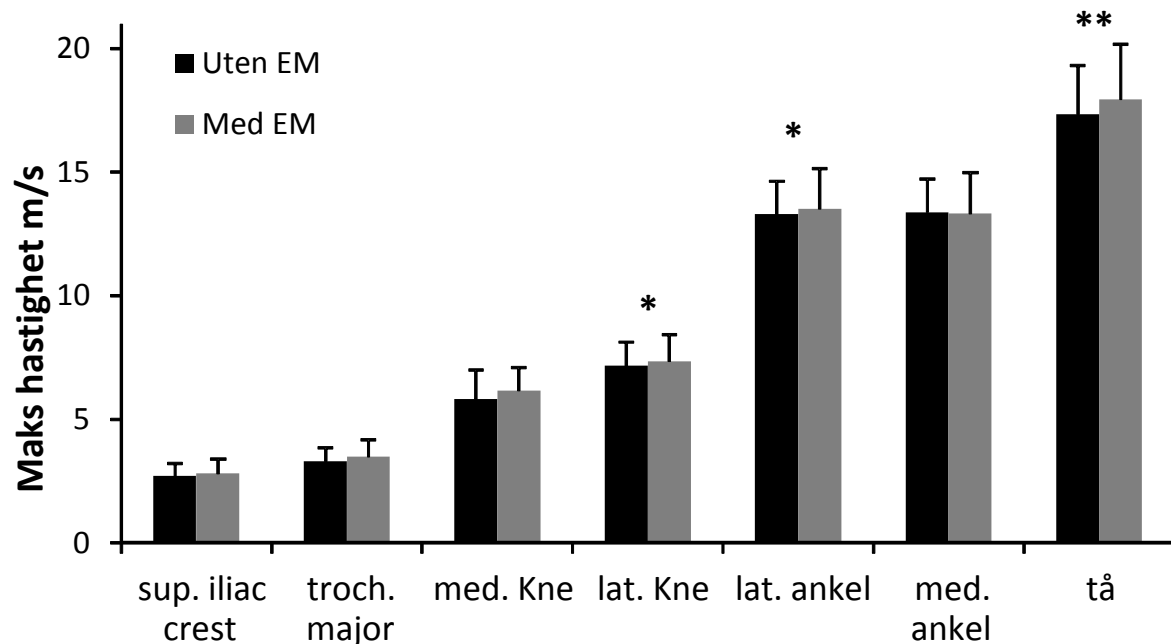
Det ble benyttet en paret T. Test for å undersøke forskjellen mellom oppvarmingsprotokoll med og uten EM. Signifikansnivået er satt til  $p < 0.05$ . Det ble også gjennomført en *mixed modell 2* (med og uten elastikk repetert målinger) x2 (rekkefølge mellom utøvere) test som viste at det ikke var noen effekt av rekkefølgen.

## 3 RESULTATER

Det ble funnet en signifikant økning i hastigheten ved tå med 3.3% basert på utøvernes gjennomsnittstall ved begge testene (uten EM:  $17.35 \pm 1.97$  m/s, med EM:  $17.93 \pm 2.26$ ,  $p = 0.009$ ) mellom spark med og uten EM (fig. 6, fig. 7). Det ble også funnet en signifikant økning i hastighet ved lateralt kne (uten EM:  $7.16 \pm 0.96$  m/s, med EM  $7.34 \pm 1.07$ ,  $p = 0.02$ ). Ved medial ankel ble det ikke funnet noen signifikant forskjell i hastighet ( $p = 0.48$ ), noe som også gjelder medialt kne ( $p = 0.13$ ). Derimot ble det funnet trender til en økt hastighet med bruk av EM under testspaket ved lateral

ankel (uten EM:  $13.29 \pm 1.33$ , med EM  $13.51 \pm 1.63$ ,  $p=0.09$ ), troch. major (uten EM:  $3.29 \pm 0.55$ , med EM:  $3.47 \pm 0.69$ ,  $p=0.059$ ) og superior iliac crest (uten EM:  $2.70 \pm 0.49$ , med EM:  $2.80 \pm 0.59$ ,  $p=0.09$ ).

Blant de utøverne ( $n=7$ ) som gjennomførte EM først i sin testprotokoll (Protokoll B; Fig.2) ble det funnet en signifikant økning i hastigheten ved tå under testsparket (uten EM:  $17.27 \pm 1.51$  m/s, med EM:  $17.88 \pm 1.52$ ,  $p=0.0009$ ). Det ble derimot ikke funnet noen signifikante forskjeller mellom hastighetene ved medial ankel ( $p=0.39$ ), lateral ankel ( $p=0.26$ ), lateralt kne ( $p=0.14$ ), medialt kne

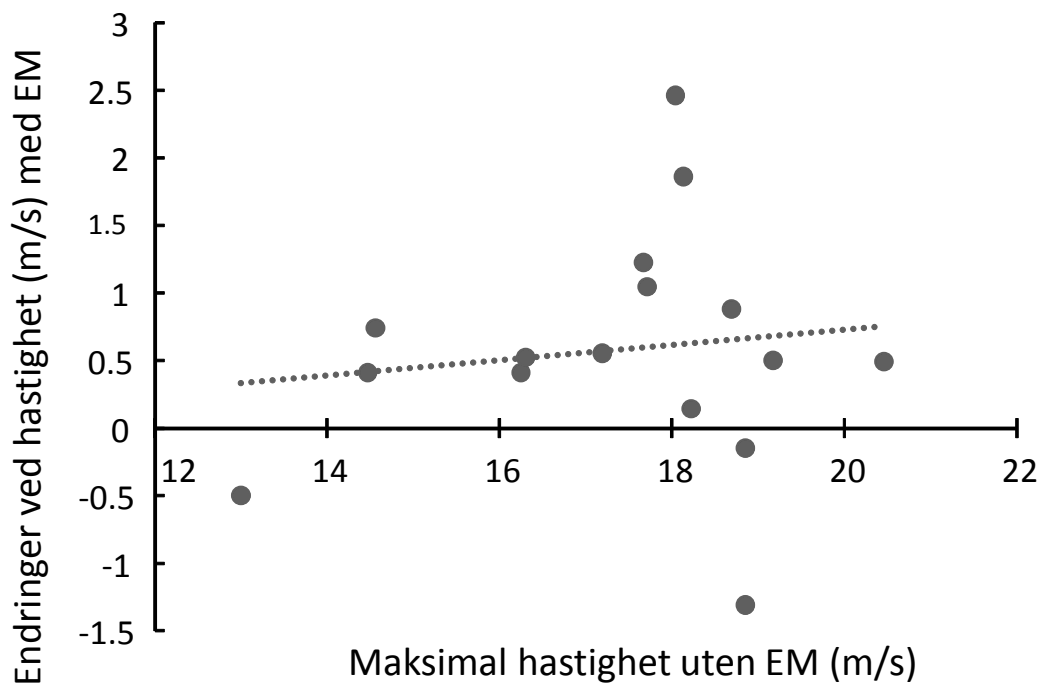


Figur 6. Maksimal hastighet under testspark (Gjennomsnitt  $\pm$  SD) for begge gruppene. (\*\*) indikerer en signifikant økning i hastighet under testspark ( $p<0.01$ ). (\*) indikerer en signifikant økning i hastighet under testspark ( $p<0.05$ ).

( $p=0.22$ ), troch. major ( $p=0.10$ ) og superior iliac crest ( $p=0.26$ ).

Det ble funnet en trend i form av økning i hastighet ved tå (uten EM:  $17.41 \pm 2.17$ , med EM:  $17.97 \pm 2.59$ ,  $p=0.09$  hos de utøverne ( $n=9$ ) som gjennomførte EM i den siste del av sin testprotokoll (Protokoll A; fig. 2). Blant disse utøverne ble det funnet en signifikant økning i hastigheten ved h. laterale kne (uten EM:  $6.91 \pm 7.07$  m/s, med EM:  $7.07 \pm 1.05$ ,  $p=0.02$ ). Det ble ikke funnet noen andre signifikante endringer i hastighet hos denne gruppen: medial ankel ( $p=0.36$ ), lateral ankel ( $p=0.11$ ), medialt kne ( $p=0.17$ ), troch. Major ( $p=0.15$ ) og superior iliac crest ( $p=0.15$ ).

Tre av studiens deltakere gjennomførte testingen på 0-2 dager av organisatoriske årsaker. Data registrert kan dermed være påvirket av ulik dagsform, sykdom, eller andre uforutsette endringer hos individene. Dermed ble det også analysert gruppe data uten data fra disse tre utøverne. I det data settet uten disse utøverne ( $n=13$ ) viste det seg en signifikant økning i hastighet ved tå under testsparkene (uten EM:  $17.79 \pm 1.49$  m/s, med EM  $18.61 \pm 1.63$ ,  $p=0.0006$ ). Det ble også funnet en signifikant økning i hastighet ved lateralt kne (uten EM:  $7.42 \pm 0.59$  m/s, med EM  $7.63 \pm 0.78$ ,  $p=0.04$ ).



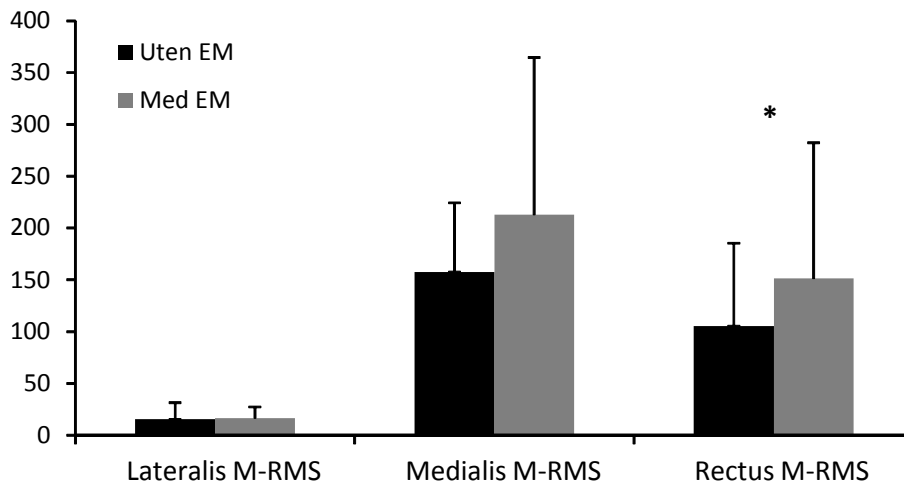
Figur 7. Effekt av spark med elastisk motstand på sparkeprestasjon ved tå i rundspark hos studiens deltakere. X-akse viser maksimal hastighet (m/s) ved tå målt under testspark etter oppvarming uten EM. Y-akse viser hvor mye den maksimale hastigheten (m/s) målt ved tå endret seg fra testspark etter oppvarming uten EM til testspark etter oppvarming med EM.

En trend ble funnet i form av økt hastighet med bruk av EM ved lateral ankel (uten EM:  $13.58 \pm 1.04$  m/s, med EM  $13.87 \pm 1.33$ ,  $p=0.06$ ). Det ble ikke funnet noen signifikant forskjell i hastighet ved medial ankel ( $p=0.48$ ), noe som også gjelder medialt kne ( $p=0.12$ ), troch. Major ( $p=0.2$ ) og superior iliac crest ( $p=0.2$ ).

Disse tre utøverne tilhørte den gruppen ( $n=9$ ) som gjennomførte protokoll A (Fig. 2). Data fra disse tre utøverne ble også tatt ut av analysearbeidet for denne gruppen. Dermed ble det funnet en signifikant økning i hastighet ved tå (uten EM:  $18.39 \pm 1.05$  m/s, med EM  $19.46 \pm 1.11$ ,  $p=0.02$ ). Det ble også funnet en trend i form av økning i hastighet ved laterale kne (uten EM:  $7.36 \pm 0.47$  m/s,

med EM  $7.54 \pm 0.49$ ,  $p=0.06$ ). Det ble også funnet en signifikant økning i hastighet ved lateral ankel (uten EM:  $13.92 \pm 0.91$  m/s, med EM  $14.32 \pm 0.85$ ,  $p=0.04$ ). Det ble ikke funnet noen andre signifikante forskjeller eller trender ved endringer i hastighet: Medial ankel ( $p=0.34$ ), medialt kne ( $p=0.17$ ), troch. major ( $p=0.44$ ) og superior iliac crest ( $p=0.36$ ).

Når det gjelder EMG data ble det funnet en signifikant økning i muskelaktivitet (uten EM:  $104.96 \pm 80.13$  M-RMS, med EM:  $151.11 \pm 131.26$ ,  $p=0.04$ ) ved m. rectus femoris under testspark (fig.8). Det ble også funnet en trend til økt muskelaktivitet ved m. vastus medialis (uten EM:  $157.23 \pm 66.76$  M-RMS, med EM:  $212.64 \pm 151.59$ ,  $p=0.05$ ) under testspark, men det ble ikke funnet noen signifikant forskjell ved m. vastus lateralis ( $p=0.36$ ).



Figur 8. Gjennomsnitt M-RMS målt hos utøverne under testspark (Gjennomsnitt  $\pm$  SD) for begge gruppene. (\*) indikerer en signifikant økning i hastighet under testspark ( $p<0.05$ ).

Blant de deltakerne som gjennomførte protokoll B (fig. 2) ble det observert trender til økt muskelaktivering i m. rectus femoris under testsparket uten (EM:  $149.06 \pm 74.55$  M-RMS, med EM:  $236.82 \pm 150.18$ ,  $p=0.07$ ) og m. vastus medialis (uten EM:  $185.52 \pm 43.77$  M-RMS, med EM:  $174.87 \pm 279.74$ ,  $p=0.09$ ). Det ble ikke funnet noen signifikante endringer ved m. vastus lateralis ( $p=0.29$ ).

Det ble ikke funnet noen signifikante endringer i muskelaktivitet ved den gruppen ( $n=9$ ) som gjennomførte protokoll A (fig. 2): m. rectus femoris ( $p=0.21$ ), m. vastus medialis( $p=0.22$ ), m. vastus lateralis ( $p=0.32$ ).



Ved ekskludering av EMG data registrert fra de tre utøverne som gjennomførte testingen på 0-2 dager fra studiens resultater; ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller. Det ble funnet trender for økt muskelaktivitet i m. rectus femoris (uten EM:  $151.84 \pm 73.56$  M-RMS, med EM:  $167.03 \pm 141.57$ ,  $p=0.09$ ) og m. vastus medialis (uten EM:  $175.03 \pm 50.39$  M-RMS, med EM:  $230.20 \pm 159.63$ ,  $p=0.07$ ) under testspark. Det ble ikke funnet noen signifikant økning i muskelaktivitet ved m. vastus lateralis ( $p=0.42$ ) under testspark.

Dersom EMG registrert fra de tre utøvere som gjennomførte testing på 0-2 dager blir ekskludert fra den gruppen de tilhørte (protokoll A, fig. 2) ble det ikke funnet noen signifikante forskjeller: m. rectus femoris ( $p=0.49$ ), m. vastus medialis ( $p=0.35$ ), m. vastus lateralis ( $p=0.21$ ).

## 4 DISKUSJON

---

Hensikten med denne studien var å undersøke om vi kunne forårsake PAP som følge av sparking med elastisk motstand (EM), og hvilken effekt det ville ha på sparkeprestasjonen i et rundspark hos kampsportutøvere.

Resultatene i denne studien viste en signifikant forbedring i sparkehastigheten ved tå, laterale ankel og laterale kne hos utøverne ved bruk av EM som en del av oppvarmingsstrategien. Forbedringen i sparkehastighet gir samsvar med teorien om nevralt forbedringer. En økt rekruttering av større og kraftigere motoriske enheter (Chiu, et al., 2003; Güllich & Schmidtbleicher, 1996), en bedre synkronisering av de motoriske enhetene og en forminskert pre-synaptisk inhibering (Aagard, et al., 2002; Aagard, 2003) vil kunne føre til en hurtigere gjennomføring av et spark slik det ble funnet i denne studien. Den økte hastigheten som ble funnet i denne studien viser også samsvar med de fysiologiske teoriene bak PAP. De fysiologiske teoriene bak PAP innebærer en kortere arbeidsvei for myosinhodet (Tillin & Bishop, 2009), økt tilgang på ATP (Hodgson, et al., 2005), økt sensitivitet for  $Ca^{2+}$  (Szczena, et al., 2002), og dermed en raskere tverrbro syklus og økt forkortningshastighet i musklene som bidrar til bevegelsen. En økt forkortningshastighet ved knestrekkerne kan forklare den økte sparkehastigheten målt ved tå og laterale ankel under testspark. Hvorvidt disse fysiologiske forbedringene har funnet sted i denne studien kan ikke garanteres ettersom det ikke har blitt gjennomført noen direkte målinger på noen av disse fysiologiske forbedringene. Endringer i pennation angle kan også være en effekt som bidrar til økt hastighet målt under testspark. Endringer i pennation angle kan føre til en økt kraftoverføring fra knestrekkerne og til deres feste (Tillin & Bishop, 2009). Endringer i pennation angle kan bidra til den økningen i hastighet vi kan observere

ved tå og lateral ankel under testsparkene i denne studien. Men ettersom oppvarmingen også kan ha ført til en mindre strekkfasthet i bindevev og sener er det ikke sikkert at denne økte kraftoverføringen bidrar til den økte hastigheten registrert under testspark (Kubo, et al., 2001).

Den økte muskelaktiviteten målt ved m. rectus femoris ( $p=0.04$ ) og m. vastus lateralis ( $p=0.05$ ) kan være en indikator på at det var en effekt av PAP under testspark etter oppvarmingsstrategi inkludert sparking med EM. Den økte muskelaktiviteten kan ha forårsaket en økt rekruttering av større og kraftigere motoriske enheter i knestrekkerne under sparket. Økt rekruttering av motoriske enheter i knestrekkerne kan bidra til en økt sparkehastighet ved tå og lateral ankel under testspark.

Resultatene synes å være påvirket av at tre utøvere gjennomførte testingen på 0-2 dager. Sparkehastigheten uten disse tre utøverne var i gjennomsnitt høyere på tå under testspark (uten EM:  $18.39 \pm 1.05$  m/s, med EM  $19.46 \pm 1.11$ ,  $p=0.02$ ), enn med de tre i datasettet (uten EM:  $17.35 \pm 1.97$  m/s, med EM:  $17.93 \pm 2.26$ ,  $p=0.009$ ). De tre utøvernes påvirkning på gjennomsnittshastighetene kan være ett resultat av endringer i deres fysiske tilstand, ernæringstilstand eller endringer i motivasjon. Likevel ser det ut til at disse tre utøverne har bidratt til at det ble registrert en signifikant økning i muskelaktivitet i m. rectus femoris under testspark ( $p=0.04$  med de tre utøverne,  $p=0.09$  uten med de tre utøverne). Det ikke ble funnet noen signifikant økning i muskelaktivitet registrert under testspark uten disse tre utøverne i datasettet. Likevel ble det funnet to trender til økning i muskelaktivitet ved m. rectus femoris ( $p=0.09$ ) og m. vastus medialis ( $p=0.07$ ) under testspark etter å benytte sparking med EM som del av oppvarmingsstrategien. Disse trendene kan likevel være indikatorer på at det har forekommet nevralt forbedringer i samsvar med teorien (Aagard, et al., 2002; Aagard, 2003).

Resultatene i denne studien viser at en oppvarmingsstrategi inkludert sparking med EM er tilstrekkelig til å initiere PAP, og forbedrer sparkeprestasjonen i rundspark hos trente kampsportutøvere. Disse resultatene ligner funnet i en studie av Smith et. al. (2014) hvor en oppvarmingsstrategi inkludert sprint med lett motstand førte til en økning i sprintprestasjon på påfølgende sprinter. I en studie av Mitchell og Sale (2011) ble det funnet en 2.9% økning i prestasjon i ett fallhopp (counter movement jump, CMJ) som følge av en oppvarmingsstrategi inkludert 5-RM knebøy. Denne prestasjonsforbedringen på 2.9% i CMJ minner om den 3.3% økningen på sparkehastigheten ved tå som er ett resultat i denne studien. Mitchell og Sale (2011) målte også

muskelaktivitet ved m. vastus medialis i sin studie uten å finne noen signifikant økning i muskelaktivitet. Likevel diskuteres det at økningen i prestasjon ved CMJ kan være en konsekvens av PAP (ibid.). Sparking med EM er mer biomekanisk likt sparking uten EM enn likhetene mellom 5-RM knebøy og CMJ. Spesifisiteten ved sparking med EM og sparking, sprint med motstand (slede) og sprint i studien av Smith et. al. (2014) er svært høy sammenlignet med andre studier (Chiu, et al., 2003; Mangus, et al., 2006; Rixon, et al., 2007; Mitchell & Sale, 2011). Prestasjonsforbedringene funnet i denne studien, studien av Smith et. al. (2014) og Mitchell og Sale (2011) kan synes å omhandle en effekt av PAP som følge av en høy mobilisering av muskulatur. Eksplosive bevegelser med høy hastighet og bevegelser hvor det utvinnes mye kraft mobiliserer mye muskulatur. En slik mobilisering kan kanskje være årsaken til at PAP forekommer ved disse øvelsene. Videre studier bør se på sammenhengen mellom PAP og mobilisering av muskulatur. Fremtidige studier bør også se på sammenhengen mellom PAP, og om øvelser tenkt til å initiere PAP, gjennomføres så hurtig som mulig.

En fordel med å inkludere sparking med EM som del av en oppvarmingsstrategi for å oppnå en kortsiktig prestasjonsforbedring; kan potensielt være og midlertidige forbedrede forutsetninger og egenskaper i en konkurransesituasjon. Elastiske motstandstuber er veldig lette og dermed enkle å ta med seg og benytte under konkurranser. Imidlertid har det ikke i denne studien blitt undersøkt hvordan effekten av PAP påvirker repeterte spark som kan forekomme i en konkurransesituasjon. Det kan tenkes at en økt rekruttering av større motoriske enheter kan medføre en hurtigere dannelse av melkesyre, og kan dermed påvirke negativt i en konkurranse hvor det gjennomføres mange spark. Fremtidige studier bør undersøke sammenhengen mellom en oppvarmingsstrategi inkludert sparking med EM og tretthet hos utøverne ved repeterte spark. Denne sammenhengen bør undersøkes før denne oppvarmingsstrategien kan benyttes i en konkurransesammenheng.

I denne studien kan det være noen feilkilder som påvirker de resultatene som er funnet i EMG data. Feilkildene kan innebære dårlig kontakt mellom elektroder og musklene som ble målt, mulige feilplasseringer av elektroder og defekter ved utstyret. Hastighets data registrert i denne studien kan være preget av mangel på filtreringsmuligheter i analysearbeidet. Det ble ikke gjennomført noen tester før studien med hensikt å undersøke deltakernes fysiske tilstand, noe som kan påvirke hvor stor effekt av PAP en utøver kan oppnå, og hvor lang tid denne effekten vedvarer (Hamada, et al., 2003; Gourgoulis, et al., 2003).

## 5 REFERANSER

---

Agard, P., 2003. Training induced changes in neural function. *Exerc. Sport Sci. Rev.*, 2(31), pp. 61-67.

Aagard, P. et al., 2002. Neural adaptations to resistance training: Evoked V-wave and H-reflex responses. *J. Appl. Physiol.*, Issue 92, pp. 2309-2318.

Batista, M. A., Ugrinowitsch, C., H., R. & al., e., 2007. Intermittent exercise as a conditioning activity to induce postactivation potentiation. *J Strength Cond Res*, pp. 837-840.

Baudry, S. & Duchateau, J., 2007. Postactivation Potentiation in a human muscle: effect on the rate of torque development of tetanic and voluntary isometric contraction. *J Appl Physiol*.

Behm, D. G. et al., 2004. Conflicting effects of fatigue and potentiation on voluntary force. *J Strength Cond Res*, pp. 365-72.

Bergmann, J., Kramer, A. & Gruber, M., 2013. Repetitive hops induce postactivation potentiation in triceps surae as well as an increase in the jump height of subsequent maximal drop jumps. *PLoS One*.

Chiu, L. Z. et al., 2003. Postactivation potentiation responses in athletic and recreationally trained individuals. *J. Strength Cond. Res.*, 4(17), pp. 671-677.

Gourgoulis, V. et al., 2003. Effect of a submaximal half-squats warm-up program on vertical jumping ability. *J Strength Cond Res*, 2(17), pp. 342-344.

Güllich, A. & Schmidtbleicher, D., 1996. MCV-induced short-term potentiation of explosive force. *Güllich, A.; Schmidtbleicher, D.*, 4(11), pp. 67-81.

Hamada, T., Sale, D. G., MacDougall, J. D. & Tarnopolsky, M. A., 2003. Interaction of fibre type, potentiation and fatigue in human knee extensor muscles. *Acta physiol scand*, 2(178), pp. 165-173.

Hodgson, M., Docherty, D. & Robbins, D., 2005. Post activation potentiation: underlying physiology and implication for motor performance. *Sports Medicin.*, 7(35), pp. 585-595..

HowcastSportsFitness, 2013. *How to Do a Roundhouse Kick | Kickboxing Lessons*, <https://www.youtube.com/watch?v=R0WcFxtKFj8>: www.Youtube.com.

Jakubiak, N. & Saunders, D. H., 2008. The Feasibility and Efficacy of Elastic Resistance Training For Improving the Velocity of the Olympic Taekwondo Turning Kick. *Journal of Strength and Conditioning Research*, Jul, pp. 1194-1197.

Kubo, K., Kanehisa, H., Kawakami, Y. & Fukunaga, T., 2001. Effects of repeated muscle contractions on the tendon structures in humans. *Eur J. appl. Physiol.*, Volum 84, pp. 162-166.

Kwonkicker, 2009. *Taekwondo Round Kick Tutorial (Kwonkicker)*, <https://www.youtube.com/watch?v=yIawbHsotgl>: www.Youtube.com.

Mahlfeld, K., Franke, J. & Awiszus, F., 2004. Postcontraction changes of muscle architecture in human quadriceps muscle. *Muscle Nerve*, 4(29), pp. 597-600.

Mangus, B. C., Takahashi, M., Mercer, J. A. & al., e., 2006. Investigation of vertical jump performance after completing heavy squat exercises. *J Strenght Cond Res*, pp. 497-600.

Miarka, B., Del Vecchio, F. B. & Franchini, E., 2011. Acute effects and postactivation potentiation in the Special Judo Fitness Test. *J Strength Cond Res*, 2(25), pp. 427-431.

- Michalsik, L. & Bangsbo, J., 2002. *Aerob og anaerob træning*. 1 red. Brøndby: Danmarks Idræts-Forbund.
- Mitchell, C. J. & Sale, D. G., 2011. Enhancement of jump performance after a 5-RM squat is associated with postactivation potentiation. *J Appl Physiol*, Issue 111, pp. 1957-1963.
- Paasuke, M., Ereline, J. & Gapeyeva, H., 1996. Twitch potentiation capacity of plantar-flexor muscles in endurance and power athletes. *Biol. Sport.*, pp. 15(3):171-178.
- Rassier, D. E. & Macintosh, B. R., 2000. Coexistence of potentiation and fatigue in skeletal muscle. *Braz. J. Med. Biol. Res.*, 5(33), pp. 499-508.
- Rixon, K. P., Lamong, H. S. & Bemben, M. G., 2007. Influence of type of muscle contraction, gender, and lifting experience on postactivation potentiation performance.. *J. Strength Cond Res*, pp. 500-505.
- Sale, D. G., 2002. Postactivation Potentiation: Role in human performance. *Exerc Sport Sci Rev*, 3(30), pp. 138-143.
- Smith, C. E. et al., 2014. THE EFFECTS OF POSTACTIVATION POTENTIATION WARM-UP ON SUBSEQUENT SPRINT PERFORMANCE. *Human Movement*, pp. 36-44.
- Szczesna, D. et al., 2002. Phosphorylation of the regulatory light chains of myosin affects Ca<sup>2+</sup> sensitivity of skeletal muscle contraction. *J. Appl. Physiol.*, 4(92), pp. 1661-1670.
- Tillin, N. A. & Bishop, D., 2009. Factors Modulating Post-Activation Potentiation and its Effect on Performance of Subsequent Explosive Activities. *Sports Med.*, 2(39), pp. 147-166.
- Wilson, J. M. et al., 2013. Meta-Analysis of Postactivation Potentiation and Power: Effects of Conditioning Activity, Volume, Gender, Rest Periods, and Training Status. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 3(27), pp. 854-859.