

2015•2016  
FACULTEIT GENEESKUNDE EN LEVENSWETENSCHAPPEN  
*master in de revalidatiewetenschappen en de  
kinesitherapie*

Masterproef  
Het effect van een concentrische fase op force enhancement

Promotor :  
dr. Pieter VAN NOTEN

Jens Vleugels  
*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de revalidatiewetenschappen  
en de kinesitherapie*

2015•2016  
FACULTEIT GENEESKUNDE EN  
LEVENSWETENSCHAPPEN  
*master in de revalidatiewetenschappen en de  
kinesitherapie*

## Masterproef

Het effect van een concentrische fase op force  
enhancement

Promotor :  
dr. Pieter VAN NOTEN

Jens Vleugels

*Scriptie ingediend tot het behalen van de graad van master in de revalidatiewetenschappen  
en de kinesitherapie*



# **Het effect van een concentrische fase op force enhancement**

Jens Vleugels

Promotor: dr. Pieter Van Noten



## **WOORD VOORAF**

Ik zou graag enkele mensen willen bedanken die het mogelijk hebben gemaakt om deze studie in het kader van de opleiding Master in de Revalidatiewetenschappen en Kinesitherapie uit te kunnen voeren.

Als eerste mijn dankbaarheid aan Dr. Pieter Van Noten voor de begeleiding doorheen het hele proces van deze studie en de verwerking van de ruwe data. Daarnaast zou ik ook mijn medestudenten Jens Adams, Yorben Hons, Ben Janssen, Wouter Robijns en Michael Van Grieken willen bedanken met wie ik de metingen samen heb uitgevoerd.

Tevens mijn dankbaarheid aan de participanten die aan deze studies hebben willen deelnemen waardoor het mogelijk was om de data te verzamelen en te analyseren.

Als laatste zou ik ook nog de Universiteit van Hasselt willen bedanken voor het beschikbaar stellen van hun apparatuur waardoor we correcte en adequate metingen konden uitvoeren.



## **SITUERING**

Deze masterproef situeert zich in de musculoskeletale tak van de kinesitherapie en revalidatiewetenschappen, waarin we specifiek kijken naar de biomechanica en fysiologie van de spierwerking van het menselijk lichaam. Deze masterproef leunt aan bij de literatuurstudie geschreven tijdens het eerste masterjaar van de opleiding.

Binnen de spierwerking van het menselijk lichaam is er een aspect waarover nog steeds zeer weinig onderzoek is gedaan en waarover nog zeer weinig geweten is, namelijk contractievoorgeschiedenis. Toch kan onderzoek naar dit onderdeel van spiercontracties een beter beeld geven van de werking van een spier en kan dit binnen de revalidatie van bepaalde patiëntenpopulaties een belangrijk aspect worden om het functioneren te verbeteren.

Deze studie werd onder begeleiding van Dr. Pieter Van Noten uitgevoerd, dewelke inzicht probeert te krijgen in de mechanismen achter dit fenomeen en de verschillende aspecten van de spiercontracties. De studie werd uitgevoerd in samenwerking met 5 andere medestudenten, die allen een ander aspect binnen contractievoorgeschiedenis onderzochten. Het bepalen van het onderzoeksdesign, de methode en de verschillende protocollen werd steeds in overleg gedaan tussen alle studenten en Dr. Van Noten. Hierna werden de participanten door alle studenten gerekruteerd.

Omwille van de verschillende deelaspecten van de verschillende studenten, voerden de participanten 2 metingen uit, namelijk een pre- en een postmeting. Tussen deze 2 metingen werd een trainingsprogramma uitgevoerd van 4 weken om het effect van training op force enhancement te achterhalen, welke werd bestudeerd door medestudenten. Tijdens de pre-meting werd er naast de quadriceps ook nog de triceps surae getest, welke door een andere student werd bestudeerd. Tijdens de postmetingen werd er ook een EMG-meting uitgevoerd in functie van de masterproef van een andere student. Voor mijn studie werden de resultaten van de postmetingen gebruikt om te analyseren en te beschrijven.

Het uitvoeren van de metingen gebeurde door alle studenten waarbij bij elke participant de verschillende metingen uitvoerde zodat deze voor alle studenten bruikbaar waren. De data van de metingen werden hierna door Dr. Van Noten verwerkt zodat de ruwe data tot



bruikbare data voor analyse werden omgevormd. De dataverwerking en het schrijfproces gebeurde door mezelf, mits feedback van Dr. Van Noten.

De metingen van deze studie gebeurden reeds in februari 2015. De oorspronkelijke indiening van deze masterproef was gepland in februari 2016, maar omwille van problemen met de timing en de ruwe data verwerking is de indiening verplaatst naar juni 2016.

## 1 Abstract

**Achtergrond:** Het fenomeen van contractievoorgeschiedenis, meer bepaald force enhancement en force depression, is reeds lange tijd bekend hoewel over de mechanismen hierachter nog steeds onduidelijkheid heerst. Evenzeer is het niet geweten of de verschillende mechanismen achter elk fenomeen een invloed hebben op elkaar. Tevens is er slechts beperkte 'in vivo' evidentie voor contractievoorgeschiedenis.

**Doelstellingen:** In deze studie willen we onderzoeken wat het effect van een voorgaande concentrische contractie is op force enhancement. Voorgaande studies gaven namelijk verschillende resultaten over het effect van deze bijgevoegde contractiefase. Afgaande op de resultaten van deze studie kunnen eventuele conclusies worden getrokken aangaande hypothesen die het fenomeen van force enhancement kunnen verklaren.

**Participanten:** Voor deze studie werden 18 mannelijke participanten tussen 18 en 30 jaar gerekruteerd. Participanten met een musculoskeletale aandoening aan hun niet-dominante been in de laatste 2 jaar of met cardiovasculaire problemen werden geëxcludeerd. Eén participant werd bij analyse van de resultaten geëxcludeerd omwille van slechte meetresultaten.

**Metingen:** Er werden 4 verschillende metingen, in steeds dezelfde volgorde, uitgevoerd, waarbij er steeds rust voorzien werd om vermoeidheid van de spieren te vermijden. De metingen gebeurden door middel van een isokinetische dynamometer die volledig kon worden ingesteld zodat we zoveel mogelijk meetfouten konden uitsluiten.

**Resultaten:** Uit de analyse van de resultaten bleek er geen sprake te zijn van force enhancement na een excentrische fase. Ook het toevoegen van een concentrische fase had geen effect op force enhancement. Er werden wel verschillen in kracht gevonden aan het einde van de excentrische fase en in het krachtsherstel na de excentrische fase.

**Conclusie:** Tijdens deze studie was er geen sprake van force enhancement. Het toevoegen van een extra concentrische fase had echter wel effect op de kracht die geleverd werd aan het einde van de excentrische fase. We kunnen echter geen besluit maken over de mogelijke mechanismen die verantwoordelijk zijn voor force enhancement.

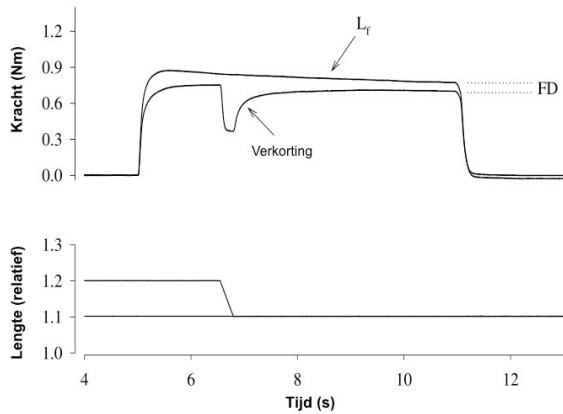


## 2 Inleiding

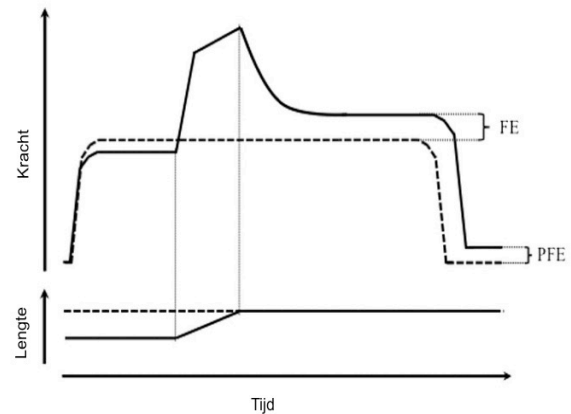
Het is algemeen geweten dat de productie van spierkracht afhankelijk is van de graad van vermoeidheid, het spiervezeltype, de contractiesnelheid, de activatiegraad, maar ook de minder gekende contractievoorgeschiedenis. Hoewel het effect van contractievoorgeschiedenis reeds jaren gekend is (Abbott and Aubert, 1952), is er nog maar weinig wetenschappelijke studie rond gedaan en zijn de mechanismen achter dit fenomeen slechts beperkt gekend.

Krachtproductie van een spier is onderhevig aan contractievoorgeschiedenis na een actieve dynamische fase. Deze actieve dynamische fase kan uit zowel excentrisch (verlengend) als concentrisch (verkortend) spierwerk bestaan, welke beide een verschillend effect hebben op de krachtproductie na een dynamische fase. Zoals voorspeld door de kracht-snelheidsrelatie, verandert de spierkracht tijdens een dynamische fase. Wanneer de dynamische fase stopt en voortzet in een isometrische fase, recupereert de spierkracht tot een stabiele krachtsproductie, ook wel steady-state genoemd. Deze stabiele krachtsproductie is echter verschillend van de spierkracht tijdens een pure isometrische contractie (die geen voorgeschiedenis heeft doorgemaakt) van eenzelfde duur. Concreet is na een concentrische fase de stabiele kracht gedaald ten opzichte van een pure isometrische contractie, wat force depression (FD) wordt genoemd (fig. 1) en na een excentrische fase gestegen, wat force enhancement (FE) wordt genoemd (fig. 2). (Herzog, 2001)

Force enhancement bestaat echter niet enkel uit een actieve component, maar ook uit een passieve component. De totale force enhancement is dus een combinatie van actieve force enhancement en passieve force enhancement (PFE). Deze passieve force enhancement blijft echter nog aanwezig na de relaxatie van de spier, zoals geïllustreerd in figuur 2.



**Fig. 1 – Force Depression (Rassier and Herzog, 2004)** Weergave van de spierlengte en krachtproductie in functie van tijd. FD treedt op na een concentrische fase (verkorting, relatieve spierlengte van 1,2 naar 1,1) ten opzichte van de isometrische referentiecontractie met een constante relatieve spierlengte van 1,1. Tijdens de concentrische fase zelf is er een duidelijke daling van kracht waar te nemen.

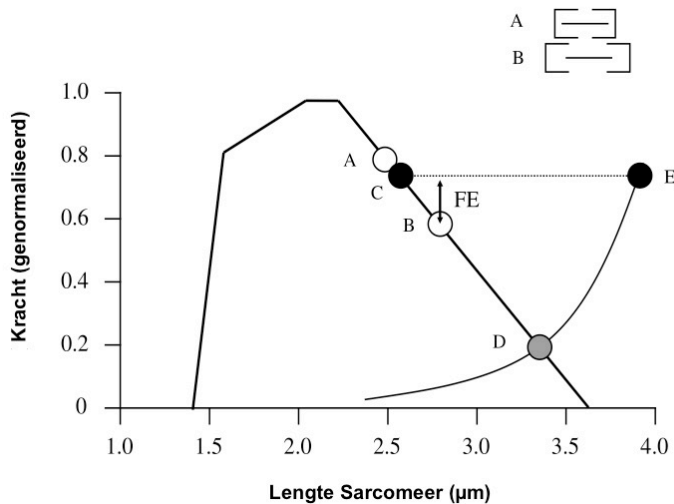


**Fig. 2 – Force Enhancement (Minozzo and De Lira, 2013)** Weergave van spierlengte en krachtproductie in functie van tijd. FE treedt op na een excentrische fase (volle lijn) ten opzichte van isometrische referentiecontractie (stippellijn) met een constante spierlengte. Tijdens de excentrische fase zelf is er een duidelijke stijging van kracht. Bij het stoppen van de krachtsproductie blijft er nog een passieve force enhancement (PFE) aanwezig (>25s).

De oorzaak voor dit krachtsverschil is tot op heden nog onduidelijk. Voor zowel force enhancement als force depression zijn er echter verschillende hypothesen mogelijk. Voor deze studie gaan we ons enkel focussen op force enhancement en de mechanismen die hiervoor mogelijks de oorzaak zijn. Rassier and Herzog (2004) beschreven 3 mogelijke mechanismen die het effect van force enhancement kunnen verklaren.

Een eerste mogelijke mechanisme dat wordt beschreven is de 'sarcomer niet-uniforme lengte en instabiliteit hypothese' (fig. 3). Julian and Morgan (1979) ontdekte dat de sarcomeren binnen een spiervezel tijdens een excentrische fase verschillende lengteveranderingen ondergaan. Sarcomeren die zich centraal in de spiervezels bevinden, ondergaan een grotere verlenging, in tegenstelling tot de sarcomeren die zich aan de uiteinden van de vezels bevinden, die een kleinere verlenging ondergaan. Na de verlenging produceren centrale sarcomeren, omwille van hun kracht-lengte verhouding, een grotere passieve kracht in vergelijking met de buitenste sarcomeren. Omwille van de kleinere verlenging zouden sarcomeren aan het uiteinde van de vezels meer cross-bridges kunnen vormen waardoor ze ook meer actieve kracht kunnen produceren. De combinatie van deze niet homogeen verlengende sarcomeren in de excentrische fase zorgt voor het ontstaan van

force enhancement (Morgan, 1994). Deze hypothese zou echter enkel van toepassing zijn wanneer de spier sterk verlengd is en voorbij zijn optimale sarcomeerlengte ( $2,0\mu\text{m} - 2,2\mu\text{m}$ ) is. De hypothese geldt dus enkel op het dalende been ( $> 2,2\mu\text{m}$ ) van de kracht-lengte relatie en niet op het stijgende been ( $< 2,0\mu\text{m}$ ), waar de spier nog maar een kleine verlenging heeft ondergaan (Herzog, 2001).

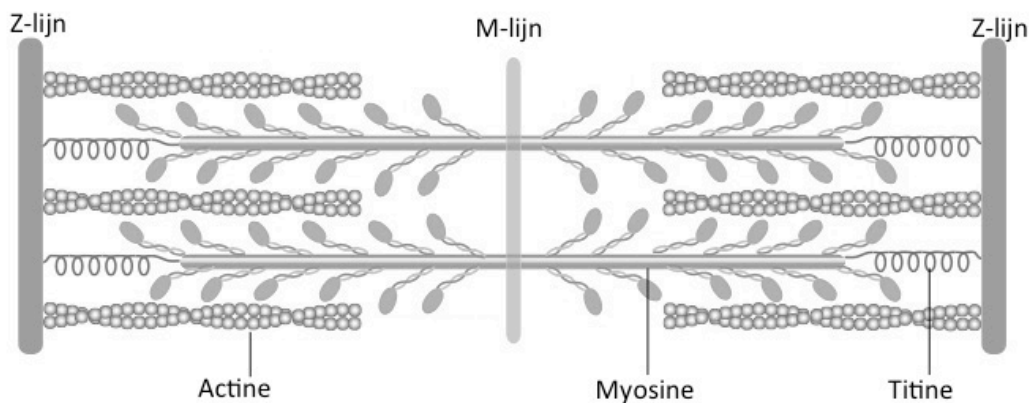


*Fig. 3 – Sarcomeer niet-uniforme lengte en instabiliteit hypothese FE (Rassier and Herzog (2004); Morgan (1994))* Een spier wordt verlengd waarbij theoretisch de gemiddelde sarcomeerlengte van A naar B verandert. Volgens de hypothese verlengen de sarcomeren aan de uiteinden van de vezel minder (C) en de centraal in de vezel gelegen sarcomeren meer (D) dan de gemiddelde verplaatsing (van A tot B). De centrale sarcomeer zal uiteindelijk enkel passieve kracht leveren wanneer deze sterk is verlengd (E). De combinatie tussen de verhoogde actieve (C) en passieve (E) kracht zullen resulteren in force enhancement ten opzichte van de theoretisch voorspelde kracht (B).

De tweede hypothese, ‘verhoging in het aantal aangehechte cross-bridges hypothese’, beschrijft dat force enhancement verklaard kan worden door het verhoogd aantal cross-bridges die binden na een excentrische contractie of stretch. Dit verhoogd aantal cross-bridges zou veroorzaakt worden door een verkleining van de interfilamentruimte waardoor de kans op binding groter wordt. De verkleining van de ruimte tussen de filamenten kan veroorzaakt worden door 2 mechanismen. De eerste mogelijke oorzaak zou te maken hebben met een heroriëntatie van de dunne filamenten waardoor deze dichter bij de dikke filamenten liggen. Een andere mogelijke verklaring ligt bij de fosforylering van de myosine-lichte-ketens. Hierdoor zou de myosine dichter bij de actine komen waardoor de ruimte tussen de filamenten verkleint. Door de verkleining van de ruimte tussen de filamenten, en dus het verhoogd aantal cross-bridges tijdens de excentrische contractie, zal deze verhoogde

kracht dan ook behouden blijven tijdens de isometrische fase wanneer de contractie niet onderbroken wordt. (Rassier and Herzog, 2004)

Een derde en laatste hypothese om force enhancement te kunnen verklaren, betreft de bijdrage van een 'passieve veer' die de krachtswinst tijdens de force enhancement kan verklaren, namelijk het eiwit titine. Dit eiwit zorgt voor de verbinding tussen de myosine en de Z-lijn van een sarcomeer (fig. 4). Tijdens een stretch of excentrische contractie ontvouwt het proteïne zich. Hierbij draagt titine bij tot het beperken van de ROM van een sarcomeer waardoor deze zorgt voor een passieve stijfheid van de spier. Deze ontvouwde toestand van titine blijft behouden zolang de contractie behouden blijft. Wanneer de excentrische fase overgaat in een isometrische fase draagt deze passieve stijfheid dus ook nog bij tot de krachtsproductie wat mogelijk de force enhancement kan verklaren.



*Fig. 4 – Opbouw van één sarcomeer (Günther and Kruse, 2007)* Opbouw van één sarcomeer waarin titine te zien is als een verbinding tussen de myosine en de Z-lijn. Op myosine zijn de kopjes te zien die cross-bridges aangaan met actine en zo voor contractie van een spier zorgen.

Zoals eerder aangehaald, bestaat er naast force enhancement ook force depression, waarbij er een concentrische fase voorafgaat aan de isometrische fase. Zowel force enhancement als force depression zijn, zoals eerder vermeld, al in verschillende studies bewezen en aangetoond. Er is echter nog niet zoveel studie gedaan naar het effect van de dynamische contracties op elkaar. Concreet bedoelen we het effect van een concentrische contractie op force enhancement en van een excentrische contractie op force depression. Tijdens deze studie hebben we besloten om het effect van een concentrische contractie op force enhancement te bekijken. Concreet wil dit zeggen dat er voorafgaand aan de excentrische en isometrische fase een concentrische fase plaatsvindt.

Uit voorgaande studies is gebleken dat deze extra contractiefase uiteenlopende effecten heeft op de force enhancement. Edman, Elzinga et al. (1982) onderzochten reeds het effect van een concentrische fase op force enhancement, waaruit bleek dat dit geen effect had op force enhancement. Herzog and Leonard (2000) concludeerden uit hun studie echter dat er wél een effect was van deze concentrische fase, maar dat deze afhankelijk was van de amplitude van de contracties. Indien de amplitude van de concentrische en excentrische fase gelijk waren, trad er geen force enhancement op. Indien de excentrische fase groter was trad er force enhancement op en wanneer de concentrische fase groter was, trad er force depression op. De meest aanwezige fase bepaalde dus de mate van krachtswinst of verlies. Deze studies gebeurden echter op spiervezels van dieren die in gecontroleerde situaties aan de hand van een externe prikkel contraheerden.

Enkele studies toonden ook een daling in passieve en totale force enhancement bij een voorafgaande concentrische contractie, wat mogelijk veroorzaakt wordt door een vermindering in spanning op de elastische structuren. (Herzog and Leonard (2000); Lee, Herzog et al. (2001); Herzog and Leonard (2002); Herzog, Schachar et al. (2003) Minozzo and De Lira (2013))

Tijdens deze studie willen we nagaan of er, bij een volledige vrijwillige contractie van een spiergroep bij mensen, gelijkaardige resultaten te vinden zijn als bij de vorige 'in vitro' studies. De meeste spiercontracties die we in het dagelijkse leven maken bestaan echter zelden uit puur geïsoleerde contracties, maar zijn cyclische contracties die steeds herhaald worden, zoals wandelen of fietsen. Voor dit onderzoek gaan we na of een concentrische fase voor een excentrische fase een invloed heeft op de krachtproductie. Hierbij gaan we niet enkel kijken naar het effect op de force enhancement, maar ook naar het effect op de maximaal geproduceerde kracht.





### **3 Methode**

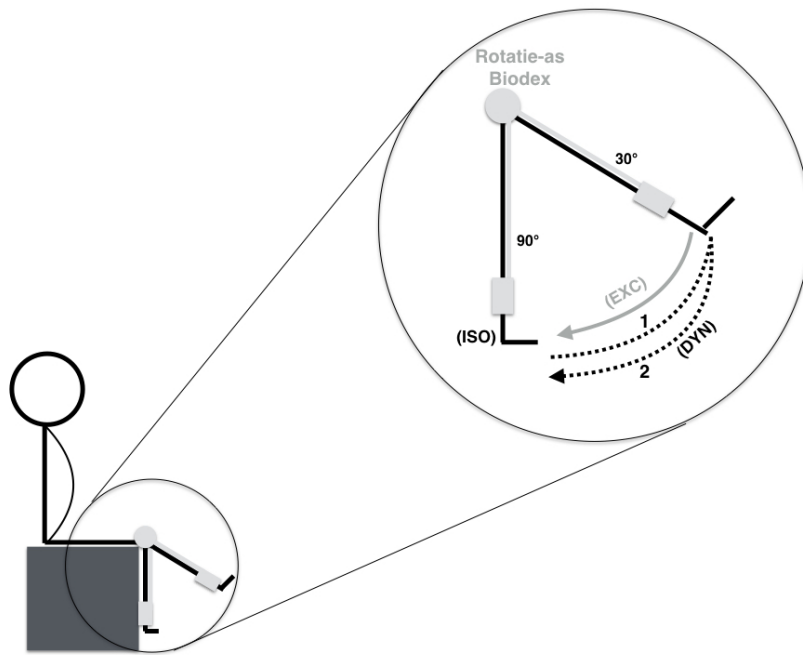
#### **3.1 *Participanten***

Alle proefpersonen waren Belgische mannen tussen 18 en 30 jaar oud. Vrouwelijke proefpersonen, proefpersonen met musculoskeletale aandoeningen aan hun niet dominante been in de laatste twee jaar en proefpersonen met cardiovasculaire problemen werden geëxcludeerd uit de studie. Na selectie werden er 18 proefpersonen eenmaal getest, waarbij alle protocollen achter elkaar werden afgenomen. De ethische commissies van de Universiteit Hasselt en Universitaire Ziekenhuizen KULeuven keurden de experimentele procedures goed.

#### **3.2 *Experimentele setup***

Alle testen werden op de Universiteit Hasselt uitgevoerd aan de hand van een isokinetische dynamometer (Biodex, System 3, Enraf nonius). De knie-extensoren van het niet-dominante been werden gebruikt om alle metingen uit te voeren. Elke proefpersoon moest in het totaal 4 verschillende metingen ondergaan.

Het niet-dominante bovenbeen en de romp van de proefpersoon werden gefixeerd in de stoel van de dynamometer en de momentarm van de dynamometer werd gefixeerd boven de enkel aan de tibia. De rotatie-as van de Biodex werd zo ingesteld dat deze overeenkwam met de rotatie-as van de te meten knie, gelegen ter hoogte van de mediale en laterale epicondyl van de femur. Om compensatie met armen en handen tijdens de metingen te vermijden, werd de proefpersonen gevraagd om hun armen voor hun borstkas te kruisen zodat ze deze niet konden gebruiken om kracht te produceren. Alle metingen werden binnen de 30° en 90° knieflexie uitgevoerd (fig. 5).



*Fig. 5 – Experimentele setup* Isometrische contractie (ISO); Excentrische voorcontractie (EXC); Dynamische voorcontractie (DYN) met concentrische fase (1) en excentrische fase (2)

### 3.3 Protocol

Ieder proefpersoon voerde 4 verschillende protocollen uit (fig. 6), allen in dezelfde volgorde. Voorafgaand aan de metingen werd een opwarming op de loopband uitgevoerd aan een intensiteit tussen de 55%-75% van de maximale hartslag, gevolgd door stretching van flexoren en extensoren van de knie. Na de opwarming voerde ieder proefpersoon 4 testen uit in onderstaande volgorde:

**Test 1:** Geïsoleerde isometrische contractie (ISOPre): de knie start in een hoek van 90° waar 3 isometrische contracties van ongeveer 8 seconden plaatsvinden, met telkens 90 seconden rust tussen elke contractie.

**Test 2:** Excentrisch-isometrische contractie (EXC): De knie start in 30° knieflexie waar een maximale contractie wordt gevraagd die de excentrische fase initieert. Hierin brengt de momentarm van de dynamometer de knie naar 90° knieflexie. Tijdens dit protocol wordt deze excentrische fase aan twee hoeksnelheden uitgevoerd. Allereerst worden 3 metingen aan een hoeksnelheid van 30°/s uitgevoerd (EXC30), waarna 3 metingen aan een hoeksnelheid van 60°/s (EXC60) worden uitgevoerd. Na de elke excentrische fase moet er

nog een maximale isometrische contractie worden aangehouden in 90° knieflexie gedurende 6 seconden. Tussen elke meting wordt er telkens 90 seconden gerust.

**Test 3:** Concentrisch-excentrisch-isometrische contractie (DYN): De knie start in een knieflexie van 90° waar de proefpersoon een maximale contractie uitvoert die de concentrische fase van de contractie initieert en waarbij de knie aan een snelheid van 60°/s naar een knieflexie van 30° wordt gebracht. Deze concentrische fase wordt meteen gevolgd door een excentrische fase waarbij de knie tevens aan een snelheid van 60°/s opnieuw naar 90° knieflexie wordt gebracht. Deze excentrische fase wordt opnieuw gevolgd door een maximale isometrische fase die gedurende 6 seconden aangehouden wordt. Tussen elke contractie wordt opnieuw 90 seconden gerust.

**Test 4:** Geïsoleerde isometrische contractie (ISOpost): Deze meting volgt hetzelfde protocol als test 1 waarbij hoofdzakelijk geëvalueerd wordt of er vermoeidheid is opgetreden na de verschillende testen.

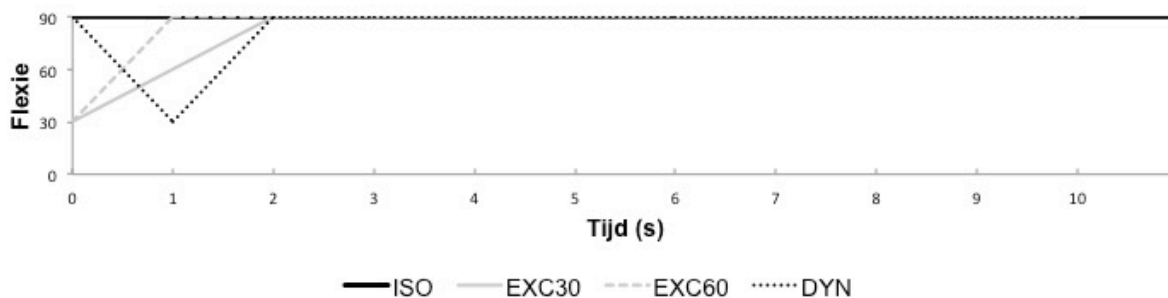


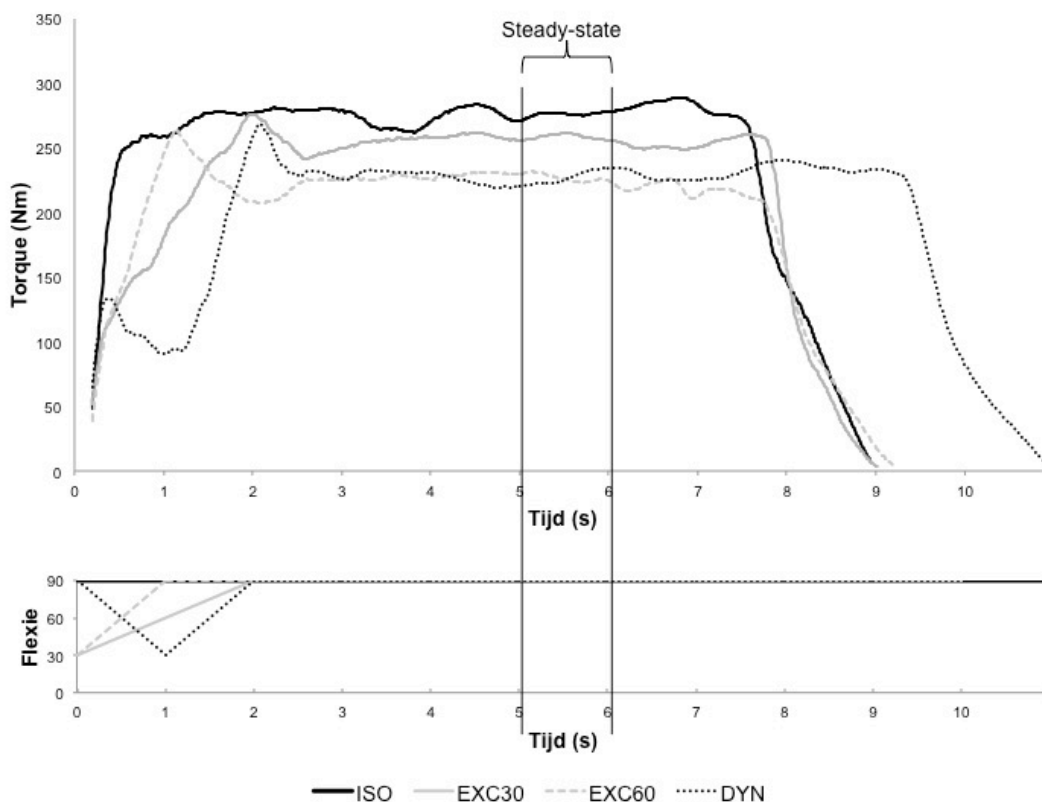
Fig. 6 – Testprotocol Positie van de knie doorheen de volledige contractie

### 3.4 Analyse

Alle metingen werden, zoals eerder vermeld, uitgevoerd met de Biodex waarbij elke 10ms een moment-waarde werd opgemeten, uitgedrukt in Newtonmeter (Nm). Uit al deze data werden verschillende waarden geëxtraheerd die gebruikt konden worden om de verschillende effecten van de contracties te kunnen vergelijken. Voor de steady-state fase werd de gemiddelde torque tussen seconden 5 en 6 seconden berekend (fig. 7), waardoor deze waarden bij de verschillende metingen eenvoudig vergeleken konden worden. Tevens werden er verschillende maxima op verschillende moment binnen een contractie geëxtraheerd.

Per testprotocol werden steeds 3 metingen uitgevoerd waarvan het gemiddelde werd gebruikt. Hierbij werd ook gekeken naar de standaarddeviatie zodat alle metingen dezelfde invloed hadden. Eén proefpersoon werd tijdens de data-analyse geëxcludeerd omwille van incorrecte data voor alle metingen.

De verwerkte data werden vervolgens geanalyseerd in SPSS Statistics via niet-parametrische testen gezien het aantal proefpersonen. Door middel van een Wilcoxon-Signed-Ranks test werden de verschillende waarden met elkaar vergeleken. Significante verschillen werden bereikt bij een p-waarde kleiner dan 0,05. Hiernaast werden door middel van Microsoft Excel grafieken opgesteld die de resultaten van de data grafisch uitdrukken.



*Fig. 7 – Voorbeeld van ruwe data per testprotocol* Voor de data tijdens de steady-state fase wordt de gemiddeld geproduceerde kracht genomen tussen seconden 5 en 6.

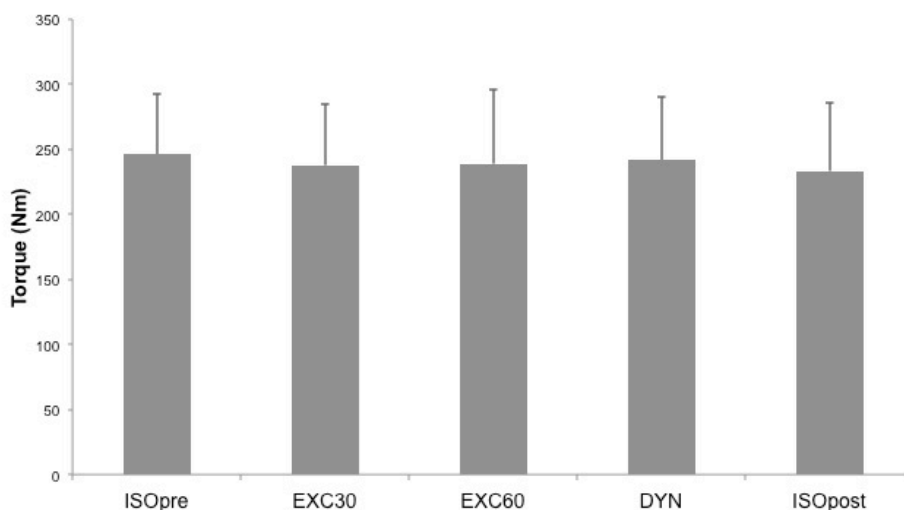
## 4 Resultaten

### 4.1 Vermoeidheid

Om na te gaan of de resultaten van de verschillende metingen niet werden beïnvloed door vermoeidheid, werd zowel aan het begin als aan het einde van het protocol een isometrische meting uitgevoerd (ISOpre, ISOpost). Bij de analyse van deze metingen bleek er geen significant verschil te zijn tussen de pre- en de postmeting waaruit we kunnen besluiten dat er voldoende rust en recuperatie was tussen de verschillende metingen. Vermoeidheid speelt dus geen rol in de uitkomst van de metingen.

### 4.2 Kracht tijdens steady-state fase

Om na te gaan of er sprake is van force enhancement zijn we eerst nagegaan of er een significant verschil was in kracht tijdens de steady-state fase van de contracties. Hiervoor hebben we de gemiddeld geproduceerde kracht tussen 5 en 6 seconden genomen zoals te zien op figuur 7. De gemiddeld geproduceerde kracht lag voor de verschillende contracties tussen de 233Nm en 246Nm. Om te bepalen of er al dan niet sprake was van force enhancement, werden de waarden van de dynamische contracties tijdens de steady-state vergeleken met deze van de isometrische contracties. Hieruit bleek geen significant verschil te zijn tussen de verschillende metingen, waaruit we concluderen dat er geen sprake is van force enhancement (fig. 8).



*Fig. 8 – Gemiddelde kracht tijdens steady-state fase* Gemiddelde kracht van ISOpre (isometrische pre-meting), EXC30 (excentrische voorcontractie aan 30°/s), EXC60 (excentrische voorcontractie aan 60°/s), DYN (Concentrische en excentrische voorcontractie aan 60°/s) en ISOpost (isometrische post-meting). Geen significant verschil tussen de verschillende contracties.

### 4.3 Maximale kracht

Voor de verschillende dynamische contracties werd er een analyse gedaan van de maximale kracht die tijdens deze meting werd geproduceerd. We zouden verwachten dat deze maximale kracht op het einde van de excentrische fase geproduceerd wordt, maar dit blijkt niet het geval. De kracht op het einde van de excentrische fase blijkt lager dan de maximale kracht geleverd doorheen de gehele contractie. Hiernaast zagen we ook een significant verschil in de kracht geproduceerd op het einde van de excentrische fase. Deze was voor EXC30 hoger dan EXC60 en DYN. (fig. 9)

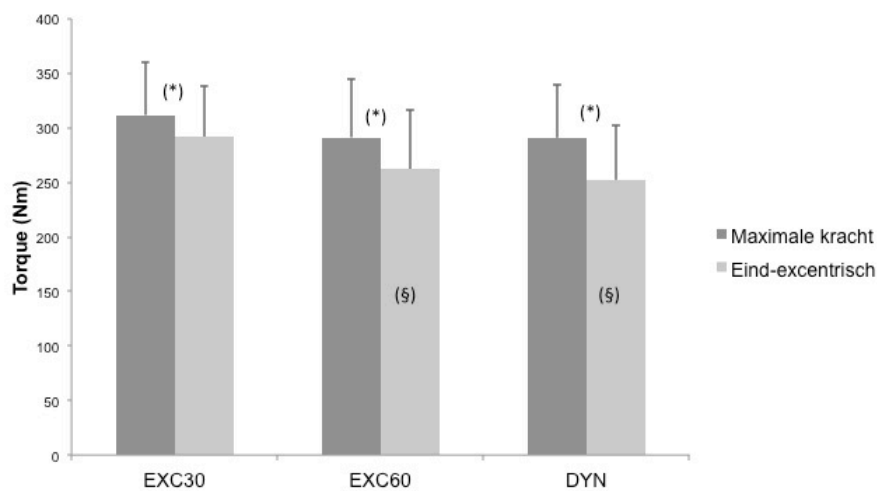


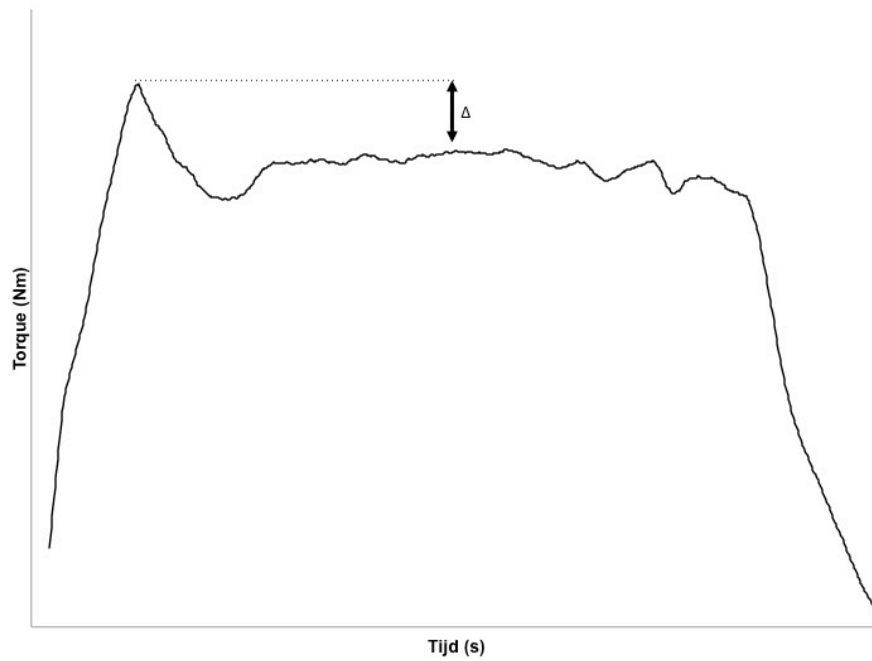
Fig. 9 – Vergelijking van de maximale kracht tijdens de contractie met kracht op het einde van excentrische fase (\*)Significant verschil tussen de maximaal geproduceerde kracht (donker grijs) en de kracht op het einde van de excentrische fase (licht grijs); (\$) Significant verschil binnen Eind-excentrische kracht (licht grijs) met EXC30

### 4.4 Krachtsherstel na excentrische fase

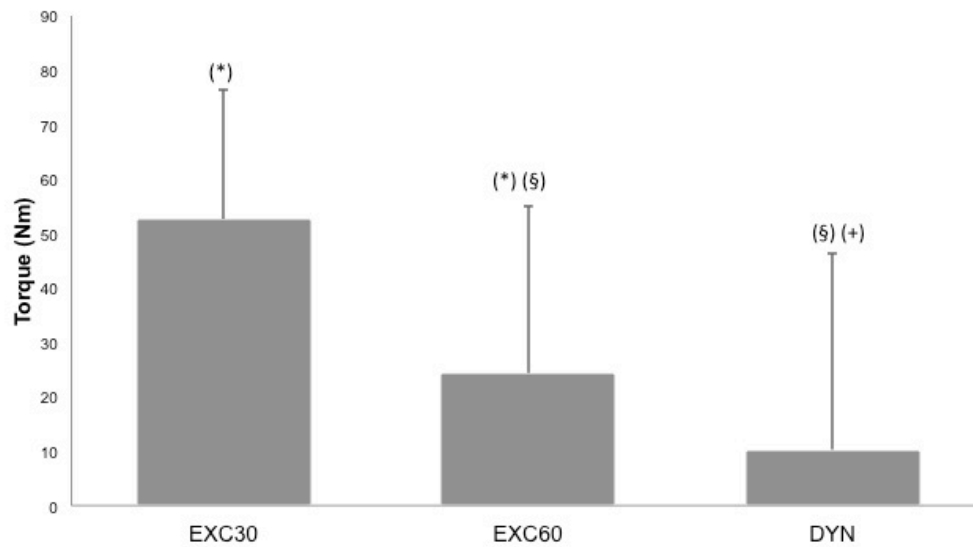
Om het krachtsherstel te analyseren na de excentrische fase, werd het verschil berekend tussen de kracht op het einde van de excentrische fase en tijdens de steady-state (fig. 10a). Dit verschil werd dan vergeleken met 0, wat overeenkomt met de pure isometrische metingen.

Hieruit bleek een significant krachtsherstel bij EXC30 en EXC60, maar niet voor DYN. Het krachtsherstel tussen EXC30 en EXC60 enerzijds, en DYN anderzijds bleek ook te verschillen, net als het krachtsherstel tussen EXC30 en EXC60 (fig. 10b).

(A)



(B)



**Fig. 10 – Krachtsherstel na excentrische fase** (A) Verschil van kracht tussen het einde van de excentrische fase en de steady-state fase van een contractie ( $\Delta$ ). De berekening gebeurde voor zowel EXC30, EXC60 en DYN hetzelfde. (B) Gemiddelde waarden van verschillen. (\*) significant verschil met 0; (\$) significant verschil met EXC30; (+) significant verschil met EXC60





## 5 Discussie

### 5.1 Force enhancement

Voorgaande studies naar force enhancement gebeurden voornamelijk in een gecontroleerde laboratoriumsetting, waarbij een spiervezel of spier door middel van een elektrische prikkel gestimuleerd werd waardoor een constante kracht werd geproduceerd. Uit deze 'in vitro' studies bleek steeds dat er een force enhancement aanwezig was na een excentrische voorcontractie.

'In vivo' studies spreken elkaar tot op heden echter tegen. Een studie onderzocht de aanwezigheid van force enhancement bij vrijwillige contracties van de adductor pollicis. Resultaten uit deze studie bewezen dat er wel degelijk een force enhancement aanwezig was (Lee and Herzog, 2002). Studies op grotere spiergroepen, zoals de quadriceps femoris, spraken elkaar echter tegen. Seiberl, Hahn et al. (2010) concludeerden dat er wel degelijk een force enhancement aanwezig was van 5%-10%. Hierbij werd dezelfde hoeksnelheid gebruikt als tijdens onze studie, namelijk 60°/s. De amplitude van de excentrische fase was echter verschillend met de onze, namelijk 80°-100°. Hahn, Seiberl et al. (2007) deden echter een gelijkaardige studie waarin er geen force enhancement werd gevonden. Ook hierbij werd de hoeksnelheid van 60°/s gebruikt, maar werden er verschillende amplitudes gebruikt, namelijk 15°, 25° en 30° waarbij de isometrische fase steeds plaatsvond in een knieflexie van 95°. In beide studies werd er ook een verhoogde passieve force enhancement gevonden. Deze is bij onze studie echter niet gemeten.

De uiteenlopende resultaten van deze studies kunnen aan verschillende factoren te wijten zijn. Ten eerste is het verschil tussen in vivo en in vitro zeker en vast afhankelijk van de contractie die wordt uitgevoerd. Bij een elektrische stimulatie wordt een maximale kracht bereikt die we bij een vrijwillige contractie nooit kunnen bereiken. Hiernaast is een vrijwillige contractie ook afhankelijk van verschillende externe factoren. Tijdens de besproken in vivo studies werd een gelijkaardige hoeksnelheid gebruikt als tijdens onze studie, maar andere amplitudes en hoeken waarin de isometrische contractie plaatsvond. Dit kan een effect hebben op de kracht die geproduceerd wordt tijdens de isometrische fase.

Bij de vrijwillige contractie speelt de motivatie van de proefpersoon ook een grote rol in de productie van maximale kracht. In onze studie kunnen we niet controleren of de proefpersoon tijdens het uitvoeren wel degelijk maximale kracht heeft geproduceerd.

Door middel van een isometrische contractie aan het begin en einde van het experiment, hebben we de factor vermoeidheid kunnen evalueren. Hoewel er doorheen het experiment geen vermoeidheid optrad, kunnen we het effect van vermoeidheid binnen de duur van één contractie niet uitsluiten.

### **5.2 *Kracht op het einde van excentrische fase***

De kracht op het einde van de excentrische fase is voor EXC30 hoger dan EXC60. Dit spreekt echter krachtsnelheidsrelatie tegen, waarbij een contractie aan een snelheid van 60°/s meer kracht zou moeten leveren worden dan deze aan een snelheid van 30°/s. Ook andere 'in vivo' studies bevestigen deze krachtsnelheidsrelatie (Lee, Herzog et al., 2001).

Binnen deze studie zijn de omstandigheden van elke contractie hetzelfde. De amplitude van de verschillende dynamische contracties zijn allemaal dezelfde, namelijk 60°. Hiernaast is ook de eindlengte van de spier tijdens de isometrische contractie overal gelijk. De enige parameter die verschillend is tussen de verschillende contracties is de hoeksnelheid waarmee de excentrische en concentrische contractie wordt uitgevoerd wat ook resulteert in een verschil in duur van de dynamische contractie. EXC30 en DYN duren 2 seconden vooraleer de isometrische fase begint, terwijl EXC60 reeds na 1 seconde begint aan de isometrische fase.

Vermits de kracht-lengte relatie bij alle contracties dezelfde is, en de observaties de krachtsnelheidsrelatie tegenspreken, dewelke in vorige studies al is bewezen, zou het mogelijk kunnen zijn dat de hoeveelheid geproduceerde kracht op het einde van de excentrische fase bepaald wordt door de duur van de excentrische contractie.

### **5.3 *Krachtsherstel na excentrische fase***

Omdat er geen zuivere force enhancement gevonden werd, is er ook gekeken naar het krachtsherstel na de excentrische fase. In figuur 10 zien we dat er een significant verschil aanwezig is voor het krachtsherstel tussen EXC30 en EXC60. Vermits er geen verschil is tussen de steady-state kracht van EXC30 en EXC60 (fig. 8), is het krachtsherstel voornamelijk afkomstig van de eind-excentrische kracht (fig. 9).

Uit voorgaande studies zouden we ook kunnen verwachten dat de kracht aan het einde van de excentrische fase de maximaal geproduceerde kracht is tijdens de contractie. Dit blijkt echter niet zo te zijn. Voor elke contractie is de maximaal geleverde kracht steeds groter dan de kracht op het einde van de excentrische fase (fig. 9). Wanneer we het moment van de maximale krachtproductie voor de contracties bekeken, waren deze zeer uiteenlopend. Enkele lagen rond het tijdstip van het einde van de excentrische fase, andere lagen dan weer na enkele seconden, waar men de steady-state fase zou verwachten. Zoals eerder aangehaald is de kracht van een vrijwillige contractie niet zo stabiel als die van een elektrisch gestimuleerde spiervezel.

#### **5.4 Effect van een voorafgaande concentrische fase**

##### Force enhancement

Om het effect van de voorafgaande concentrische fase te bestuderen moeten we een vergelijking maken tussen de verschillende contracties. Als eerste gingen we het effect van deze extra fase op force enhancement na. Uit deze studie valt echter niet te besluiten of de extra fase een effect heeft op force enhancement, vermits er bij de andere contracties ook geen force enhancement optrad tijdens de steady-state fase.

##### Kracht op het einde van de excentrische fase

Aan het einde van de excentrische fase was de geproduceerde kracht van EXC30 hoger dan deze van DYN. Tussen EXC60 en DYN was echter geen verschil aanwezig. Deze laatste 2 contracties werden beide aan dezelfde hoeksnelheid uitgevoerd, namelijk 60°/s. Beide waren echter wel lager dan EXC30, waardoor het mogelijk zou kunnen zijn dat de hoeksnelheid waarmee de contracties worden uitgevoerd, bepalend kan zijn voor de kracht die wordt geproduceerd.

Dit verschil zou ook bepaald kunnen worden door de duur van de contractie alvorens deze de isometrische fase bereikt. Bij EXC30 en DYN wordt er pas na 2 seconden een isometrische contractie bereikt, terwijl dit bij EXC60 slechts na 1 seconde is. De duur van de excentrische contractie is dan echter weer gelijk bij EXC60 en DYN, namelijk 1 seconde, terwijl deze bij EXC30 2 seconden bedraagt. Hieruit kunnen we vermoeden dat de duur van de excentrische fase bepalend kan zijn voor de geproduceerde kracht op het einde van deze fase. We kunnen uit de resultaten van deze studie dus niet besluiten dat de voorgaande

concentrische fase een effect heeft op de krachtproductie aan het einde van de excentrische fase.

#### Krachtsherstel na excentrische fase

Een opvallend en belangrijk resultaat bij het toevoegen van een concentrische fase is dat er geen krachtsherstel is na de excentrische fase ten opzichte van de steady-state (fig. 10b). Concreet wil dit zeggen dat de kracht die op het einde van de excentrische fase bij DYN geleverd wordt, gelijk is aan de geleverde kracht tijdens de steady-state. Bij het bekijken van de individuele resultaten viel het op dat er bij 7 proefpersonen zelfs een stijging van kracht plaatsvond tussen het einde van de excentrische fase en de steady-state. Bij de contracties waarbij geen concentrische fase werd toegevoegd, namelijk EXC30 en EXC60, werd er echter wel een krachtsherstel vastgesteld, wat wil zeggen dat hier wel een verschil is tussen de eind-excentrische kracht en steady-state. De concentrische fase heeft dus een invloed op de kracht die geproduceerd kan worden op het einde van de excentrische fase, maar de manier waarop valt uit deze studie niet te besluiten. Hiervoor is verder onderzoek noodzakelijk waarbij de spierwerking wordt geanalyseerd tijdens de verschillende contracties.

#### **5.5 Conclusies aangaande mogelijke verklaringsmechanismen force enhancement**

Naast het effect van de concentrische fase te onderzoeken, wilden we bij deze studie ook bestuderen of er bepaalde mechanismen of hypothesen voor force enhancement als aannemelijk konden worden beschouwd, of volledig uitgesloten konden worden.

Over het eerste mogelijke mechanisme, namelijk 'sarcomeer niet-uniforme lengte en instabiliteit', valt aan de hand van deze studie moeilijk een besluit te trekken. Ten eerste omdat we bij deze studies geen specifiek onderzoek naar de sarcomeer-lengte hebben gedaan, maar ten tweede ook omdat er geen force enhancement optrad bij deze studie. Op basis van deze hypothese zouden we echter wel verwacht hebben dat hier force enhancement zou optreden. Vermits deze hypothese van toepassing is op het dalende been van de kracht-lengte curve (fig. 3) en de isometrische fase bij de alle contracties steeds in een hoek van 90° werd uitgevoerd, zouden we volgens de hypothese een force enhancement moeten gevonden hebben. Vermits we de sarcomeer-lengte niet hebben bestudeerd kunnen we over deze hypothese geen uitspraak doen.

De tweede hypothese die mogelijks force enhancement kan verklaren gaat over het aantal cross-bridges dat verhoogd is. Door een excentrische contractie zouden er meer cross-bridges gevormd kunnen worden. Om force depression te verklaren is er een gelijkaardige hypothese die stelt dat er na een concentrische fase een verminderde cross-bridge activiteit is, waardoor er minder kracht geleverd kan worden (Rassier and Herzog, 2004). Tijdens deze studie werd er bij een toevoeging van een concentrische fase geen piek gevonden na de excentrische fase. De kracht op het einde van de excentrische fase was hier gelijk aan de kracht tijdens de steady-state (fig. 10), terwijl bij de andere dynamische contracties, waarbij enkel een excentrische fase voorafging aan de isometrische fase, er wel een krachtsherstel werd gevonden na de excentrische fase. Indien we de hypothesen van force enhancement en force depression met betrekking tot de cross-bridges samen bekijken, zou dit mogelijk kunnen verklaren waarom er bij DYN geen krachtsherstel te vinden was. Mogelijks heft de concentrische fase het effect van de excentrische fase op, waardoor er geen piek werd waargenomen op het einde van de excentrische fase.

Volgens de derde en laatste hypothese zou titine verantwoordelijk zijn voor de verhoging van kracht tijdens de steady-state fase. Door de excentrische fase zou dit eiwit ontvouwen en zorgen voor een passieve kracht die, zolang de spier contraheert, ook na de excentrische fase aangehouden blijft (Herzog, Schachar et al., 2003). Vermits er geen force enhancement plaatsvindt, kunnen we aangaande titine geen uitspraak doen. Titine wordt echter reeds tijdens de excentrische fase opgebouwd, waardoor het enzym eventueel wel verantwoordelijk kan zijn voor de verhoging van kracht na de excentrische fase. Vermits de passieve kracht behouden blijft zolang de spier contraheert, zouden we ook in de steady-state fase dit verschil moeten zien. Indien dus enkel de passieve kracht verantwoordelijk zou zijn voor dit verschil eind-excentrisch, zou het krachtsherstel tussen EXC30 en EXC60 gelijk moeten zijn, wat tijdens deze studie niet het geval is. Het krachtsherstel zal dus zowel afkomstig zijn van de passieve als actieve component van de contractie. Dit valt echter tijdens deze studie niet te bewijzen en zal verder onderzocht moeten worden.

Aan de hand van deze studie kunnen we dus geen conclusies maken aangaande de verklaringsmechanismen voor force enhancement. Er zijn echter wel enkele opvallende resultaten waardoor we bepaalde mechanismen kunnen vermoeden. Om een definitief uitsluitsel te krijgen over de mogelijke mechanismen gaan er echter verdere studies moeten

gebeuren waarbij er dieper wordt ingegaan op de spierwerking tijdens de verschillende contractiefases aan de hand van specifieke metingen. Het effect van de concentrische fase op force enhancement valt tijdens deze studie niet te bepalen, vermits er nergens force enhancement optreedt tijdens deze studie.

## **5.6 Bemerkingen**

### Factoren tijdens de metingen

Deze studie werd uitgevoerd aan de hand van een isokinetische dynamometer, namelijk een Biodex. Ondanks we probeerden om elke metingen zo gestandaardiseerd mogelijk te laten verlopen, zaten er steeds kleine variaties op de metingen. Ten eerste moest de dynamometer na elke meting handmatig worden gekalibreerd om zo de goede meethoeken te bekomen. Hier zit echter altijd een kleine foutenmarge op, die we zoveel mogelijk hebben proberen te beperken. Daarnaast zagen we ook dat, ondanks dit ingesteld was via de computer, het toestel soms de hoekgroottes niet volledig behield waardoor de verplaatsing niet altijd exact 60° was. Tevens moesten we voor het derde protocol, bij de toevoeging van de concentrische fase, het toestel handmatig blokkeren om na de excentrische fase over te gaan naar de isometrische fase, waardoor hier ook steeds een foutenmarge optrad.

Naast de technische kant van de metingen zijn er nog enkele factoren die kunnen meespelen tijdens de metingen. De metingen werden in het totaal door 6 studenten uitgevoerd. Hoewel iedere student wist hoe de verschillende metingen verliepen, kunnen hier nog steeds meetfouten insluipen. Hierbij denken we bijvoorbeeld aan de positionering van de proefpersonen in het meettoestel die wat kan variëren. Ook de motivatie van de proefpersonen en de aanmoedigingen van de onderzoekers kunnen een invloed hebben op de uiteindelijke resultaten.

### Bemerkingen naar de toekomst

Het is zeker aangewezen om dit domein binnen de biomechanica en fysiologie van de spieren verder te onderzoeken om zo een beter beeld te krijgen van de spierwerking van het menselijk lichaam. In toekomstige studies zal het echter noodzakelijk zijn om dieper in te gaan op de specifieke spierwerking binnen bepaalde contracties. Hierbij kunnen onderzoekers meer de nadruk leggen op signalen binnenin de spier, aan de hand van EMG-metingen, of naar het mechanisme van de spiercontracties, waarbij ze meer gaan kijken naar

de werking binnen een sarcomeer. Hieruit zullen onderzoekers in de toekomst verdere conclusies kunnen trekken aangaande de spierwerking, en specifiek ook aangaande het fenomeen van force enhancement en contractievoorgeschiedenis in het algemeen.





## 6 Referentielijst

Abbott, B. C. and X. M. Aubert (1952). "The force exerted by active striated muscle during and after change of length." J Physiol **117**(1): 77-86.

Edman, K. A., G. Elzinga and M. I. Noble (1982). "Residual force enhancement after stretch of contracting frog single muscle fibers." J Gen Physiol **80**(5): 769-784.

Günther, S. and K. Kruse (2007). "Spontaneous waves in muscle fibres." New Journal of Physics **9**(417).

Hahn, D., W. Seiberl and A. Schwirtz (2007). "Force enhancement during and following muscle stretch of maximal voluntarily activated human quadriceps femoris." European Journal of Applied Physiology **100**: 701-709.

Herzog, W. (2001). "The nature of force depression and force enhancement in skeletal muscle contraction." European Journal of Sport Science **1**(3): 1-14.

Herzog, W. and T. R. Leonard (2000). "The history dependence of force production in mammalian skeletal muscle following stretch-shortening and shortening-stretch cycles." J Biomech **33**(5): 531-542.

Herzog, W. and T. R. Leonard (2002). "Force enhancement following stretching of skeletal muscle: a new mechanism." J Exp Biol **205**: 1275-1283.

Herzog, W., R. Schachar and T. R. Leonard (2003). "Characterization of the passive component of force enhancement following active stretching of skeletal muscle." J Exp Biol **206**: 3635-3643.

Julian, F. J. and D. L. Morgan (1979). "The effect on tension of non-uniform distribution of length changes applied to frog muscle fibers." J Physiol **293**: 379-392.

Lee, H. and W. Herzog (2002). "Force enhancement following muscle stretch of electrically stimulated and voluntarily activated human adductor pollicis." Journal of Physiologie **545**: 321-330.

Lee, H. D., W. Herzog and T. Leonard (2001). "Effects of cyclic changes in muscle length on force production in in-situ cat soleus." J Biomech **34**(8): 979-987.

Minozzo, F. C. and C. A. B. De Lira (2013). "Muscle residual force enhancement: a brief review." Clinics **68**(2): 269-274.

Morgan, D. L. (1994). "An explanation for residual increased tension in striated muscle after stretch during contraction." Exp Physiol **79**: 831-838.

Rassier, D. E. and W. Herzog (2004). "Considerations on the history dependence of muscle contraction." J Appl Physiol (1985) **96**(2): 419-427.

Seiberl, W., D. Hahn, F. Kreuzpointner, A. Schwirtz and U. Gastmann (2010). "Force Enhancement of Quadriceps Femoris in vivo and its dependence on stretch-induced muscle architectural changes." Journal of Applied Biomechanics **26**: 256-264.

## **Auteursrechtelijke overeenkomst**

Ik/wij verlenen het wereldwijde auteursrecht voor de ingediende eindverhandeling:

**Het effect van een concentrische fase op force enhancement**

Richting: **master in de revalidatiewetenschappen en de kinesitherapie-revalidatiewetenschappen en kinesitherapie bij musculoskeletale aandoeningen**

Jaar: **2016**

in alle mogelijke mediaformaten, - bestaande en in de toekomst te ontwikkelen - , aan de Universiteit Hasselt.

Niet tegenstaand deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt behoud ik als auteur het recht om de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij te reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

Ik bevestig dat de eindverhandeling mijn origineel werk is, en dat ik het recht heb om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. Ik verklaar tevens dat de eindverhandeling, naar mijn weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

Ik verklaar tevens dat ik voor het materiaal in de eindverhandeling dat beschermd wordt door het auteursrecht, de nodige toelatingen heb verkregen zodat ik deze ook aan de Universiteit Hasselt kan overdragen en dat dit duidelijk in de tekst en inhoud van de eindverhandeling werd genotificeerd.

Universiteit Hasselt zal mij als auteur(s) van de eindverhandeling identificeren en zal geen wijzigingen aanbrengen aan de eindverhandeling, uitgezonderd deze toegelaten door deze overeenkomst.

Voor akkoord,

**Vleugels, Jens**

Datum: **15/06/2016**