

Vermoeid voelen of vermoeid zijn

Een kwantitatief onderzoek naar de relatie tussen objectief en subjectief gemeten spiervermoeidheid

Auteurs:

S.J.M. Lammers 1322559

R.J. Nijssen 1308432

1^e beoordelaar:

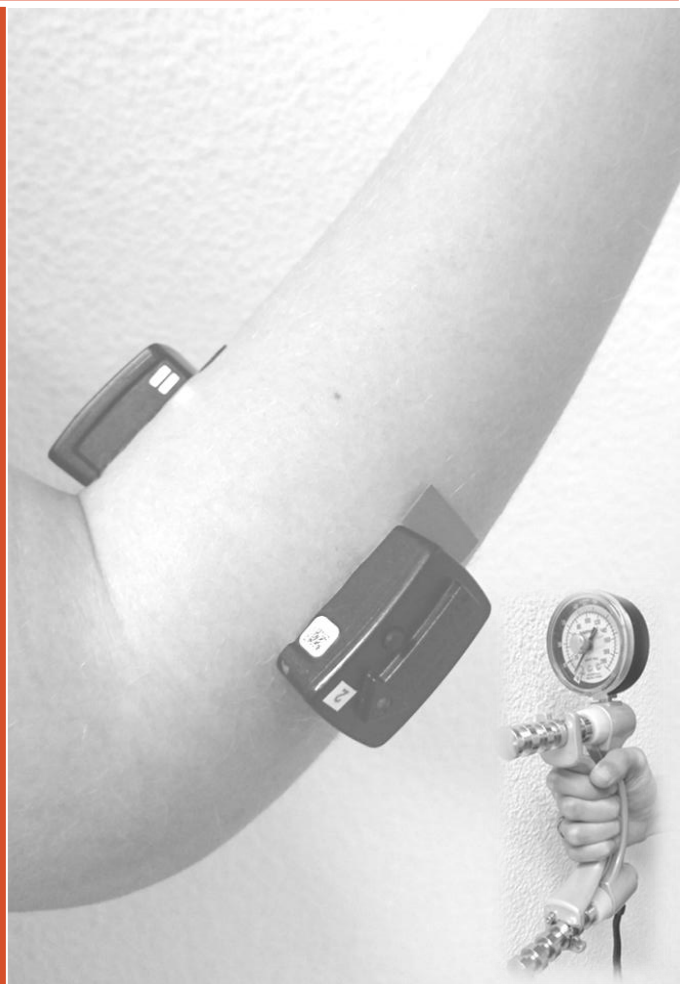
D.M.H. Odekerken

2^e beoordelaar:

L.A. van der Heide

Mei 2017

*ZUYD Hogeschool, Faculteit Gezondheid
en Techniek, Opleiding Fysiotherapie*



©Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd opgeslagen in een geautomatiseerd gegevensbestand, of openbaar gemaakt, in enige vorm of op enige wijze, hetzij elektronisch mechanisch, door fotokopieën, opnamen of op enige andere manier, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Zuyd Hogeschool

Voorwoord

Voor u ligt onze afstudeerscriptie “Vermoeid voelen of vermoeid zijn”. Deze scriptie is geschreven in het kader van het afstuderen aan de opleiding Fysiotherapie aan Zuyd Hogeschool te Heerlen.

Voor ons was dit de eerste keer dat we een dergelijk onderzoek uit voerden en we hebben dit dan ook als interessant en uitdagend ervaren. Om dit onderzoek tot een goed einde te kunnen brengen hebben wij kennis op moeten doen over sEMG metingen. Hiermee hebben wij een breder beeld gekregen over de fysiotherapeutische onderzoeksmogelijkheden. Ook hebben we door gebruik te maken van sEMG metingen gebruik kunnen maken van de samenwerking tussen de opleidingen fysiotherapie en biometrie.

Deze afstudeerscriptie was niet tot stand gekomen zonder de hulp van anderen.

Allereerst bedanken wij onze scriptiebegeleider en eerste beoordelaar, D.M.H Odekerken voor zijn hulp, kritische feedback en motiverende gesprekken.

Vervolgens bedanken wij onze tweede beoordelaar, L. A van der Heide, voor haar feedback en kritische blik op ons onderzoek. Wij bedanken M.M.J. Koppert voor het verwerken en analyseren van onze data en de bijbehorende tips. T. Diederens, voor de uitleg van het Delsys systeem en het de hulp bij het oplossen van problemen tijdens de metingen. M.J.M. Lamers voor de nodige hulp en uitleg bij het gebruik van Excel en de dataverwerking. Ook danken wij alle proefpersonen die de tijd hebben genomen om ons vrijwillig te helpen. Zonder jullie was dit onderzoek niet mogelijk geweest!

Als laatste danken wij onze familie en vrienden voor de steun en hulp tijdens onze gehele studie maar in het bijzonder tijdens deze scriptieperiode.

Heerlen, mei 2017

Sandra Lammers en Roos Nijssen

Samenvatting

Inleiding: Er zijn in de fysiotherapeutische praktijk nog weinig mogelijkheden om de spiervermoeidheid objectief in beeld te brengen, waardoor spiervermoeidheid vaak vertaald wordt naar het gevoel van de proefpersoon op dat moment. Momenteel lijkt de *surface Electromyography* (sEMG) het enige beschikbare middel om informatie te krijgen over de vermoeidheidsgraad en de geleidingssnelheid van de spieren. Subjectief kan de spiervermoeidheid in kaart gebracht worden door de BORG-CR10, die de hoogste sensitiviteit heeft en goed hanteerbaar is. In dit onderzoek wordt onderzocht of er een relatie is tussen de subjectief en objectief gemeten spiervermoeidheid, waarbij de handknijpkrachtmeter als generator gebruikt wordt.

Methode: 36 gezonde proefpersonen in de leeftijd van 18-25 jaar namen deel aan dit cross-sectioneel kwantitatief onderzoek. De proefpersonen werden verzocht om in een tijd van tien minuten herhaaldelijk in de handknijpkrachtmeter te knijpen en iedere minuut een BORG-CR10 score aan te geven, terwijl de spieractiviteit gemeten werd van de m. Flexor digitorum superficialis en de m. Extensor digitorum. Met behulp van Matlab en Excel vond de data-analyse plaats.

Resultaten: Uiteindelijk werden 34 proefpersonen meegenomen in de resultaten. Bij alle proefpersonen nam de BORG-CR10 score toe en bij 33 proefpersonen nam de massa af gedurende de tijd. Bij twee proefpersonen namen beide mediaanfrequenties af. Bij tien proefpersonen nam een van de mediaanfrequenties af en bij de overige proefpersonen namen beide mediaanfrequenties toe.

Discussie / conclusie: Het is aannemelijk dat er geen relatie is tussen de subjectieve BORG-CR10 score en het objectieve sEMG signaal. Hierdoor kan de waarde van de BORG-CR10 score nog niet objectief gebruikt worden in de fysiotherapeutische praktijk. Beperkingen in dit onderzoek lagen in de plaatsing van de sensoren, de uitgangshouding van de proefpersonen, duur van de meting, opstelling van de meetapparatuur en het gebruik van de handknijpkrachtmeter.

Inhoudsopgave

1. Inleiding.....	1
2. Methode.....	6
2.1 Onderzoeksdesign.....	6
2.2 Onderzoeksopzet.....	6
2.2.1 Onderzoekspopulatie.....	6
2.2.2 Wervingsprocedure.....	6
2.2.3 Meetapparatuur en benodigdheden.....	7
2.3 Meetprocedure.....	7
2.4 Dataverzameling.....	10
2.5 Dataverwerking en analyse.....	10
3. Resultaten.....	14
3.1 Omschrijving onderzoekspopulatie.....	14
3.2 Data verwerking.....	14
3.3 Data-analyse.....	15
4. Discussie.....	18
4.1 Bespreken resultaten.....	18
4.2 Methodologische kwaliteit van het onderzoek.....	19
4.2.1 Sterkte-analyse.....	19
4.2.2 Zwakte-analyse.....	19
4.3 Aanbevelingen voor onderzoek en praktijk.....	20
5. Conclusie.....	22
6. Literatuurlijst.....	23
7. Bijlagen.....	27
Bijlage 1: Visual Analogue Scale.....	27
Bijlage 2: OMNI perceived exertion scale for resistance exercise.....	28
Bijlage 3: BORG scale of perceived exertion.....	29
Bijlage 4: BORG-Category Ratio10.....	30
Bijlage 5: Uitnodigingsmail.....	31
Bijlage 6: Informed Consent Formulier Proefpersonen.....	32
Bijlage 7: Testformulier.....	34
Bijlage 8: Bipolaire sensoren.....	35
Bijlage 9: Schema testresultaten.....	36
Bijlage 10: Spreidingsdiagram per proefpersoon.....	37

1. Inleiding

In het dagelijks leven wordt per individu een belasting gevraagd voor de uitvoering van activiteiten zoals werk en sport. Deze belasting omvat alle prikkels en activiteiten die lichaam en geest binnenkrijgen, niet alleen op fysiek, maar ook op psychisch en sociaal gebied (1). De belastbaarheid van een persoon wordt omschreven als de lichamelijke en geestelijke inspanning die iemand kan verdragen tijdens zijn functioneren (2). Het evenwicht tussen belasting en belastbaarheid wordt beschreven in het meerdimensionale belasting-belastbaarheidsmodel (MDBB-model) en is een invloedrijke factor voor de gezondheid van mensen. Bij een te lage belastbaarheid of een te hoge belasting kan een situatie van overbelasting ontstaan, die kan leiden tot gezondheidsproblemen of blessures (1).

Om gezondheidsproblemen te voorkomen of te verminderen moet de belastbaarheid vergroot worden. De fysiotherapeut kan de fysieke belastbaarheid vergroten door middel van training van bijvoorbeeld spierkracht of conditie (1). Hierbij is het noodzakelijk om een trainingsprikkel te geven die groter is dan het lichaam gewend is. Er zal dan een tijdelijke vermindering van belastbaarheid optreden die het gevolg is van vermoeidheid, uitputting van energievoorraad en gebruiksbeschadigingen in de spiervezels. Bij een juiste prikkel en voldoende hersteltijd leidt het herstelproces tot een hoger belastbaarheidsniveau dan voorheen (2, 3).

Het is belangrijk om het moment van spierversmoeidheid zo lang mogelijk uit te stellen om de spierkracht te kunnen verbeteren. Spierversmoeidheid wordt gedefinieerd als *“een verminderde maximale capaciteit om een kracht te ontwikkelen die geleidelijk ontstaat tijdens contractie”* (4). Een andere definitie van vermoeidheid is *“het onvermogen om een bepaalde kracht vol te houden”* (5). Deze definities worden in dit onderzoek aangehouden.

Om een juiste trainingsprikkel af te kunnen geven is het belangrijk te weten wanneer het moment van spierversmoeidheid optreedt. Hiervoor wordt tijdens het fysiotherapeutisch proces gebruik gemaakt van verschillende meetinstrumenten.

Deze geven een subjectief beeld van de totale fysieke toestand van een patiënt en de mate van spiervermoeidheid. Er zijn in de literatuur verschillende meetinstrumenten vergeleken om de vermoeidheid bij waargenomen inspanning subjectief in kaart te brengen, zoals de Visual Analogue Scale (VAS), OMNI *perceived exertion scale for resistance exercise* (OMNI) en *BORG scale of perceived exertion. (BORG-RPE)* (6-14).

De VAS (Bijlage 1) is een specifieke meetschaal die bestaat uit een horizontale lijn met een lengte van honderd millimeter die gebruikt kan worden voor verschillende sensaties zoals pijn of vermoeidheid. Aan de linkerkant staat de nul als minimumwaarde voor helemaal geen sensatie en aan de rechterkant staat de maximumwaarde honderd voor ondraaglijke sensatie. De patiënt dient loodrecht op de lijn aan te strepen in welke mate de gevraagde sensatie ervaren wordt. Het aantal millimeter tussen de minimumwaarde en de aangegeven streep van de patiënt is de uiteindelijke score van de VAS (15).

Een ander meetinstrument voor het meten van vermoeidheid is de OMNI (Bijlage 2). Deze maakt gebruik van foto's waarop een individu een bepaalde activiteit uitvoert op verschillende oplopende prestatieniveaus. De foto's worden gecombineerd met korte verbale signalen die gerangschikt zijn langs een numerieke lijn die geleidelijk diagonaal oploopt van nul (geen helling) tot tien (hoogste punt van de helling). Door middel van verbale communicatie geeft de patiënt de mate van vermoeidheid aan tussen deze waarden. De gebruikte foto's bij de OMNI worden aangepast naar de fysieke activiteit van de patiënt. Hoewel de foto's variëren, blijven de verbale signalen en bijbehorende numerieke schaal altijd hetzelfde (16).

De BORG RPE-schaal (Bijlage 3) is een schema van het getal zes tot en met twintig met verbale omschrijvingen bij vaste punten op de schaal die de toenemende mate van vermoeidheid aangeven. De borgwaarde van deze schaal maal tien is evenredig aan de hartfrequentie, waardoor deze schaal vaak gebruikt wordt bij hartpatiënten (14). Een andere versie van de BORG-RPE is de BORG-Category Ratio10 (BORG-CR10) (Bijlage 4). Deze bestaat uit een schema van nul tot tien, ook met verbale omschrijvingen bij vaste punten op de schaal. Deze schaal vertegenwoordigt

zwaardere inspanningsintensiteiten (7). Bij beide schalen geeft de patiënt zijn ervaringen weer aan de hand van een cijfer, hoe hoger de patiënt scoort des te zwaarder is de lichamelijke inspanning die de patiënt ervaart. Dit kan de fysiotherapeut helpen bij het inschatten van de mate van vermoeidheid, inspanning en (over)belasting (14).

Uit onderzoek is gebleken dat de BORG-CR10 niet alleen een significante correlatie in resultaten heeft met de OMNI (8, 9, 11, 12), maar ook met de VAS (6, 10, 13). In de literatuur zijn de VAS, BORG-CR10 en OMNI met elkaar vergeleken, waarbij de BORG-CR10 de hoogste sensitiviteit heeft bij het meten van algemene vermoeidheid (10, 17). De BORG-CR10 is beter hanteerbaar dan de OMNI omdat er geen foto's van de uitvoerende activiteit gemaakt hoeven te worden. Tevens blijkt uit de literatuur dat er enkele kanttekeningen te plaatsen zijn bij de VAS. Patiënten hebben moeite om een abstracte sensatie op de honderd millimeter lange horizontale lijn te projecteren. Ook komt uit onderzoek naar voren dat wanneer meerdere VAS-schalen achter elkaar gebruikt worden, patiënten geneigd zijn om de markeringen in het midden van de schalen te plaatsen (18-20). Door deze kanttekeningen en omdat de BORG-CR10 een goed hanteerbaar, kort en vaak gebruikt meetinstrument is in de praktijk is voor dit meetinstrument gekozen (21).

Naast alle subjectieve meetinstrumenten kan spiervermoeidheid ook objectief in kaart gebracht worden. Momenteel lijkt het *surface Electromyography* (sEMG) het enige beschikbare middel voor de fysiotherapeut om objectief te bepalen of een spier aanspant of bijdraagt aan geleverde kracht. Het sEMG is een relatief eenvoudig en weinig belastbare methode om deze informatie te verschaffen (22). Het sEMG systeem registreert de elektrische activiteit van de actieve spier door middel van op de huid geplakte oppervlakte sensoren (23). Deze elektrische activiteit wordt gevormd door de motor units van de desbetreffende spier. Een motor unit bestaat uit een zenuwcel met tientallen tot honderden spiervezels die door aansturing vanuit de zenuwen zorgen voor spieractiviteit (24). Geen signaal betekent geen spieractiviteit en bij toenemende spieractiviteit zullen de frequentie en amplitudes van het sEMG signaal toenemen (2). Tijdens optredende spiervermoeidheid neemt de vuurfrequentie van de motor units geleidelijk af, waardoor de gemiddelde sEMG

frequenties en amplitudes afnemen (2). De gemeten waarden geven informatie over de vermoeidheidsgraad en geleidingssnelheid van de spieren en daardoor indirect over de spierkracht (22). Deze waarden zullen tijdens het onderzoek gebruikt worden om een objectieve uitspraak over de optredende spierversmoeidheid te kunnen doen.

Herhaaldelijke aanspanning van de te meten spiergroepen is nodig om spierversmoeidheid op te laten treden. Een praktisch hulpmiddel om dit te genereren is de handknijpkrachtmeter. Deze meet de maximale isometrische contractie en geeft een indicatie van de spierkracht (2). Een isometrische contractie is een aanspanning van de spier waarbij deze dezelfde lengte behoudt en toch actief is (2). De handknijpkrachtmeter is een betrouwbaar en valide meetinstrument, waarbij de gebruiker zo hard mogelijk moet knijpen met de handknijpkrachtmeter in de hand (25, 26). De proefpersoon dient dit ongeveer twee seconden vast te houden en tussen elke aanspanning vijftien tot twintig seconden rust te nemen. De hoogste waarde wordt verkregen bij de eerste aanspanning en de resultaten dalen na iedere opnieuw herhaalde aanspanning (27, 28). Er is onderzoek gedaan naar de verschillen tussen de sEMG en de handknijpkracht tijdens het meten van vermoeidheid. De resultaten tonen geen significant verschil tussen de geschatte waarde van het sEMG signaal en de waarde gemeten met de handknijpkrachtmeter, waardoor de handknijpkracht een goede generator is om te gebruiken bij dit onderzoek (29). Door gebruik te maken van de handknijpkrachtmeter is er naast een uitspraak over de spierversmoeidheid ook een objectieve uitspraak over de kracht mogelijk.

Enkele eerder uitgevoerde onderzoeken hebben een goede correlatie aangetoond tussen de BORG-CR10 en de sEMG tijdens het meten van spierversmoeidheid bij nek- en schoudermusculatuur. De onderzoekspopulaties waren hierbij klein, namelijk dertien en veertien personen, rond de vijftientwintig jaar (30, 31). Een ander onderzoek toont aan dat er geen correlatie gevonden is tussen de BORG-CR10 en de sEMG. De patiëntgroep hierbij bestond uit drieëndertig personen met een grote diversiteit in leeftijd (19-63 jaar) (22). Er zijn dus wel correlaties gevonden bij kleinere groepen met ongeveer dezelfde leeftijd en er is geen correlatie gevonden bij een grotere groep met diversiteit in leeftijd. Een onderzoek met een grotere groep met ongeveer dezelfde leeftijd is nog niet uitgevoerd.

Omdat in de fysiotherapeutische praktijk nog te weinig mogelijkheden zijn om de spiervermoeidheid objectief in beeld te brengen, wordt de spiervermoeidheid vaak vertaald naar het gevoel van de proefpersoon op dat moment om hiervan een indicatie te krijgen. Het is moeilijk de uitkomsten van subjectieve meetinstrumenten te interpreteren omdat de resultaten afhankelijk zijn van de manier waarop een patiënt zijn gevoel weergeeft en de therapeut dit interpreteert. Hierdoor zijn de resultaten niet betrouwbaar genoeg. Door te onderzoeken of deze subjectieve uitkomsten overeenkomen met de objectief gemeten spiervermoeidheid, kunnen uitkomsten van subjectieve testen voor het meten van spiervermoeidheid eventueel als betrouwbaarder beschouwd worden. Aan de hand hiervan is de volgende vraagstelling geformuleerd:

Is er een relatie tussen de subjectieve BORG-CR10 score en het objectieve sEMG signaal bij het meten van spiervermoeidheid gegenereerd door het knijpen in de handknijpkrachtmeter?

2. Methode

In de methode wordt beschreven hoe dit onderzoek heeft plaatsgevonden.

2.1 Onderzoeksdesign

Dit onderzoek was een kwantitatief onderzoek met gegevensverzameling in het heden, waardoor het een cross-sectioneel onderzoek was. De deelnemers werden tijdens het meetmoment meermalig gemeten door een onderzoeker met behulp van de Delsys Trigno Wireless EMG system (Delsys systeem) en de BORG-CR10. Het Delsys systeem stond in het MotionLab op de Zuyd Hogeschool te Heerlen.

2.2 Onderzoeksopzet

2.2.1 Onderzoekspopulatie

De onderzoekspopulatie die in dit onderzoek werd gehanteerd bevatte minimaal vijfendertig personen. Er is geen specifieke leeftijdscategorie nodig, omdat het onderzoek leeftijdsonafhankelijk is. Echter moet de onderzoekspopulatie wel bestaan uit personen met ongeveer dezelfde leeftijd. Een leeftijd tussen de achttien en vijfentwintig jaar werd gehanteerd in verband met de locatie van het onderzoek. Deze vond plaats op Zuyd Hogeschool te Heerlen waar meerdere personen van deze leeftijdscategorie beschikbaar zijn. De deelnemers aan het onderzoek dienden aan de volgende criteria te voldoen:

Inclusiecriteria:

- Studenten van Zuyd Hogeschool in de leeftijd van 18-25 jaar.

Exclusiecriteria:

- Klachten, pijn of een bewegingsbeperking aan schouder, elleboog, pols of hand.
- Aanwezige cognitieve stoornissen, cardiale en/of pulmonale aandoeningen.

2.2.2 Wervingsprocedure

De deelnemers werden geworven middels een uitnodigingsmail die verzonden werd aan alle studenten van de faculteit Gezondheidszorg van Zuyd Hogeschool Heerlen (Bijlage 5). Het was voor de deelnemers mogelijk zich in te schrijven op een

meetmoment naar keuze. De deelnemers vulden een informed consent formulier in, wat vooraf via de mail verstuurd werd, om toestemming te geven voor hun deelname aan het onderzoek (Bijlage 6).

2.2.3 Meetapparatuur en benodigdheden

In dit onderzoek is gebruik gemaakt van het Delsys Trigno Wireless EMG system (serienummer SP-W02A-1719 (BID-0969)) op de Zuyd Hogeschool te Heerlen. De gebruikte handknijpkrachtmeter was de hydraulische hand dynamometer van het merk SAEHAN model SH5001 (serienummer SN03050525). De BORG-CR10 werd uitgeprint op papier meegenomen. In het uitleencentrum van de Hogeschool werden de handknijpkrachtmeter, STOPTEC stopwatch en een meetlint geleend. Het meetlint werd gebruikt om de plaatsing van de sensoren nauwkeurig te bepalen.

2.3 Meetprocedure

De metingen werden uitgevoerd op de Zuyd Hogeschool te Heerlen en duurden twintig minuten per proefpersoon. In de ruimte waren twee onderzoekers en de proefpersoon aanwezig. Bij binnenkomst werd navraag gedaan naar het ingevulde Informed consent formulier en de gezondheid van de proefpersoon volgens de inclusie- en exclusiecriteria. Ook werd de leeftijd, het geslacht en de voorkeurshand genoteerd op het testformulier (Bijlage 7). Vervolgens werden eventuele vragen van de proefpersoon beantwoord en werd uitgelegd dat de proefpersoon vrijwillig op ieder gewenst moment kon stoppen met het onderzoek. De proefpersonen hadden vooraf de BORG-CR10 via de mail ontvangen zodat ze hiermee bekend waren.

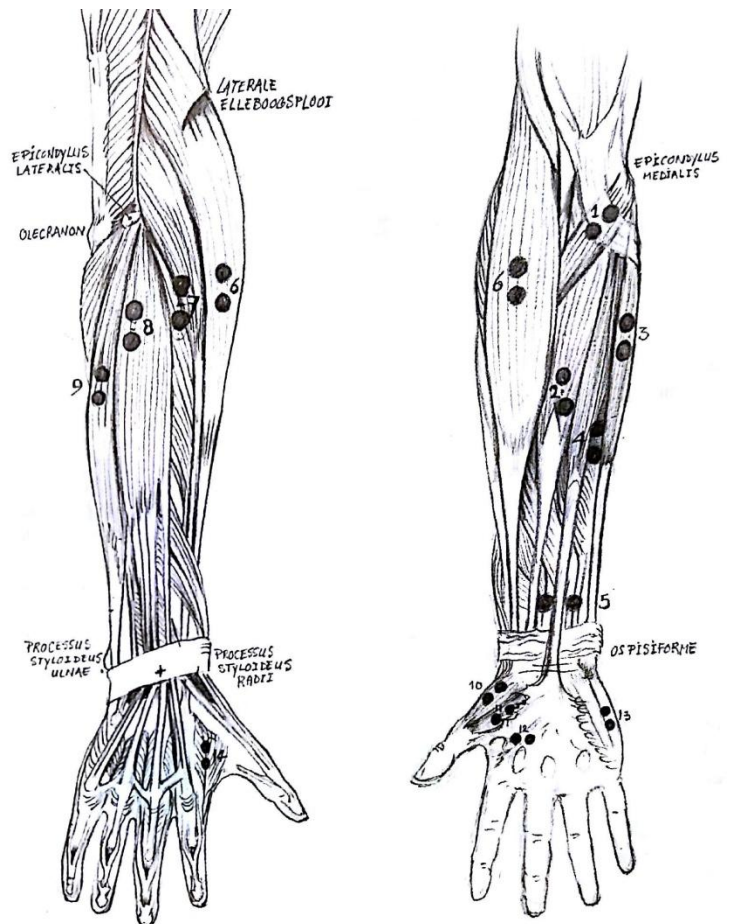
De laptop werd opgestart en het Delsys systeem aangesloten op de laptop met behulp van de USB-kabel en stroomvoorziening. Het programma EMG Works 4.1.7 Acquisition werd geopend en een nieuw bestand werd aangemaakt waarin de deelnemers werden toegevoegd. De bemonsteringsfrequentie werd ingesteld op 1926 Hz zodat voldoende meetpunten verkregen werden om de data juist te kunnen weergeven. De gebruikte sensoren, in totaal twee per proefpersoon, werden toegevoegd in het software programma en ingeschakeld via de aan/uit knop op de sensor. Er werd gebruik gemaakt van bipolaire sensoren (Bijlage 8) die draadloos in verbinding staan met het Delsys systeem. De duur van de meting werd ingesteld op tien seconden, zodat er voor en na de knijpmeting van drie seconden een rustfase

was. Hierdoor werd rekening gehouden met een eventuele vertraging in het systeem en hoefde door de onderzoeker niet op stop gedrukt te worden.

Aan de proefpersoon werd gevraagd om de dominante arm vrij te maken van kleding en sieraden en plaats te nemen op een stoel zonder armleuningen. De huid van de onderarm werd schoongemaakt met alcohol op een watje, net zoals de handen van de onderzoekers. Om het sEMG signaal te kunnen ontvangen dienen de spieren oppervlakkig gelegen te zijn. Dieper gelegen spieren kunnen minder goed gemeten worden omdat de onderhuidse vetlaag het signaal verzwakt (23). Vanwege deze reden is gekozen om oppervlakkige spieren te meten die een functie hebben tijdens het meten van de handknijpkracht. Hiervoor is met name het buigen van de vingers van belang, wat gedaan

wordt door de m. Flexor digitorum superficialis. Deze spier is gelegen aan de binnenzijde van de onderarm en heeft als functie het buigen van de tweede tot de vijfde vinger (32). Door de isometrische contractie wordt de antagonist, de tegenhanger, van de m. Flexor digitorum superficialis ook actief. Deze antagonist is de m. Extensor digitorum.

Er bestaat een richtlijn voor de plaatsing van de sensoren die ook in dit onderzoek gehanteerd werd (figuur 1). De sensor voor de m. Flexor digitorum superficialis werd



Figuur 5
Elektrodeplaatsingen van de onderarm en hand
1 m. pronator teres
2 m. flexor carpi radialis
3 m. flexor carpi ulnaris
4 m. flexor carpi digitorum superficialis
5 m. pronator quadratus
6 m. brachioradialis

- 7 m. extensor carpi radialis longus & brevis
8 m. extensor digitorum
9 m. extensor carpi ulnaris
10 m. abductor pollicis brevis
11 m. flexor pollicis brevis & m. opponens pollicis
12 m. adductor pollicis
13 m. abductor-, m. flexor- & m. opponens digiti minimi
14 m. interosseus dorsalis I

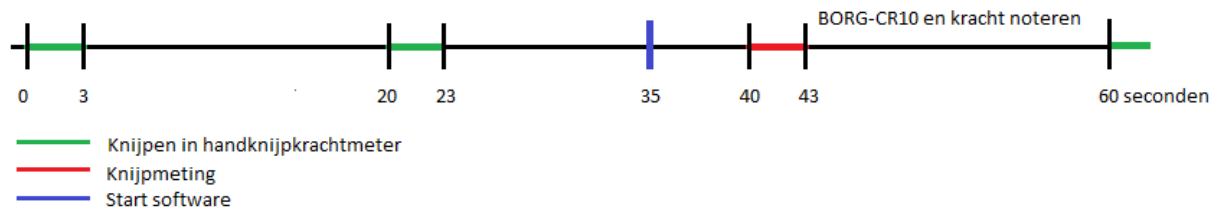
Figuur 1: Weergave richtlijn plaatsing sensoren (23)

geplaatst op de helft van de lijn die loopt van de epicondylus medialis naar het processus styloideus van de ulna. De sensor van de m. Extensor digitorum werd geplaatst op een kwart van de afstand op een lijn die loopt van epicondylus lateralis naar het processus styloideus van de ulna (23). Door middel van een meetlint en palpatie zijn deze plekken nauwkeurig bepaald. De sensoren werden geplaatst in de lengte richting van de spier, met de pijl die afgebeeld staat op de sensor naar de schouder gericht. Op de sensor wordt een dubbelzijdige plakstrip bevestigd die op de huid werd geplakt. Het plaatsen van de sensoren werd steeds door dezelfde onderzoeker uitgevoerd om de betrouwbaarheid van het onderzoek te vergroten.

Vooraf werd een proefmeting uitgevoerd zodat de proefpersoon alvast kon wennen aan het gebruik van de handknijpkrachtmeter en er nagegaan kon worden of de apparatuur juist was aangesloten. De handknijpkrachtmeter werd ingesteld zodat de proefpersoon deze comfortabel vast kon houden. De uitgangshouding van de proefpersoon was negentig graden buiging in de elleboog, die in de zij gezet werd zonder ondersteuning. De schouder en pols stonden in neutrale positie en de voeten stonden op de grond (33). De proefpersoon zat recht voor de onderzoekers zodat de handknijpkrachtmeter direct afgelezen kon worden. De handknijpkrachtmeter werd ingesteld op nul en de apparatuur werd ingeschakeld. De proefpersoon werd gevraagd om drie seconden zo hard mogelijk in de meter te knijpen. De waarde werd afgelezen en de handknijpkrachtmeter werd vervolgens weer ingesteld op nul.

Nadat de proefpersoon vijf minuten rust heeft gehad startte de echte meting. De spieren zijn dan tot het maximale niveau hersteld (2). De uitgangshouding van de proefpersoon bleef zoals hierboven beschreven en aan de proefpersoon werd opnieuw gevraagd om drie seconden zo hard mogelijk in de meter te knijpen. Hierna werd zeventien seconden rust gehouden, zodat in één minuut totaal drie keer geknepen kon worden. In die tijd werd telkens de meter teruggedraaid naar nul. Om de resultaten overzichtelijk te houden werden alleen de derde knijpmetingen in de minuut meegenomen in het onderzoek. Anders zou er veel data verkregen worden waartussen de verschillen klein zouden zijn. De software werd gestart vijf seconden voordat de derde knijpmeting in de minuut plaatsvond. De BORG-CR10 lag in het zicht van de proefpersoon en werd gescoord middels verbale communicatie. Na de

derde knijpmeting werd door de onderzoeker de waarde van de handknijpkrachtmeter in kilogram en de BORG-CR10 score genoteerd op het testformulier. In figuur 2 is de eerste minuut van de meetprocedure schematisch weergegeven. Dit werd gedurende tien minuten herhaald, zodat uiteindelijk tien metingen verkregen werden.



Figuur 2: Tijdslijn waarin de eerste minuut van de meting is weergegeven

Een van de onderzoekers startte de software en gaf elke twintig seconden aan dat de proefpersoon moest knijpen en wanneer gestopt moest worden. De andere onderzoeker noteerde de BORG-CR10 score en de waarde van de handkrachtmeter in kilogram en draaide de meter naar nul.

Na tien minuten was de meting afgelopen en werd de apparatuur uitgeschakeld, de sensoren verwijderd en mocht de proefpersoon zich aankleden. Deze procedure werd bij iedere proefpersoon op dezelfde wijze uitgevoerd.

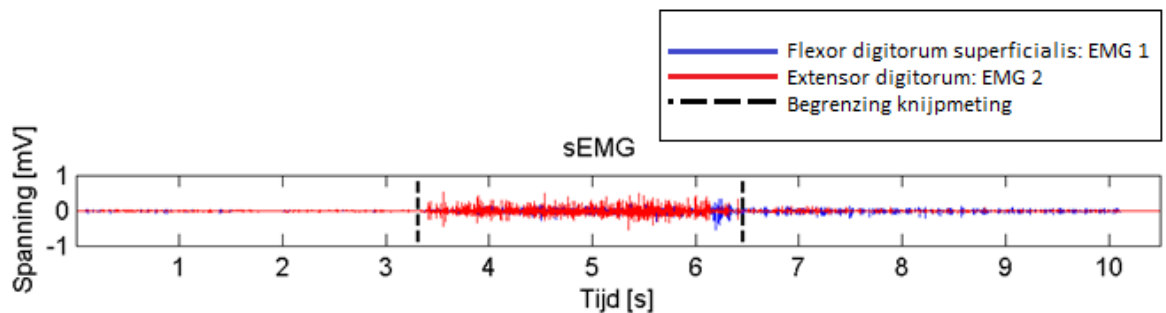
2.4 Dataverzameling

De waarden van de handknijpkrachtmeter en de BORG-CR10 score werden per proefpersoon genoteerd op het testformulier. De resultaten van het softwareprogramma werden per proefpersoon in een map opgeslagen op een USB-stick. De gegevens werden anoniem opgeslagen onder vermelding van PPFT en een nummer.

2.5 Dataverwerking en analyse

Per proefpersoon waren er tien sEMG signalen die verwerkt werden. Deze resultaten bestonden uit een ruw sEMG signaal dat werd uitgezet in spanning en in tijd (s x mV). Een ruw sEMG signaal bestaat uit de som van de elektrische activiteiten van de

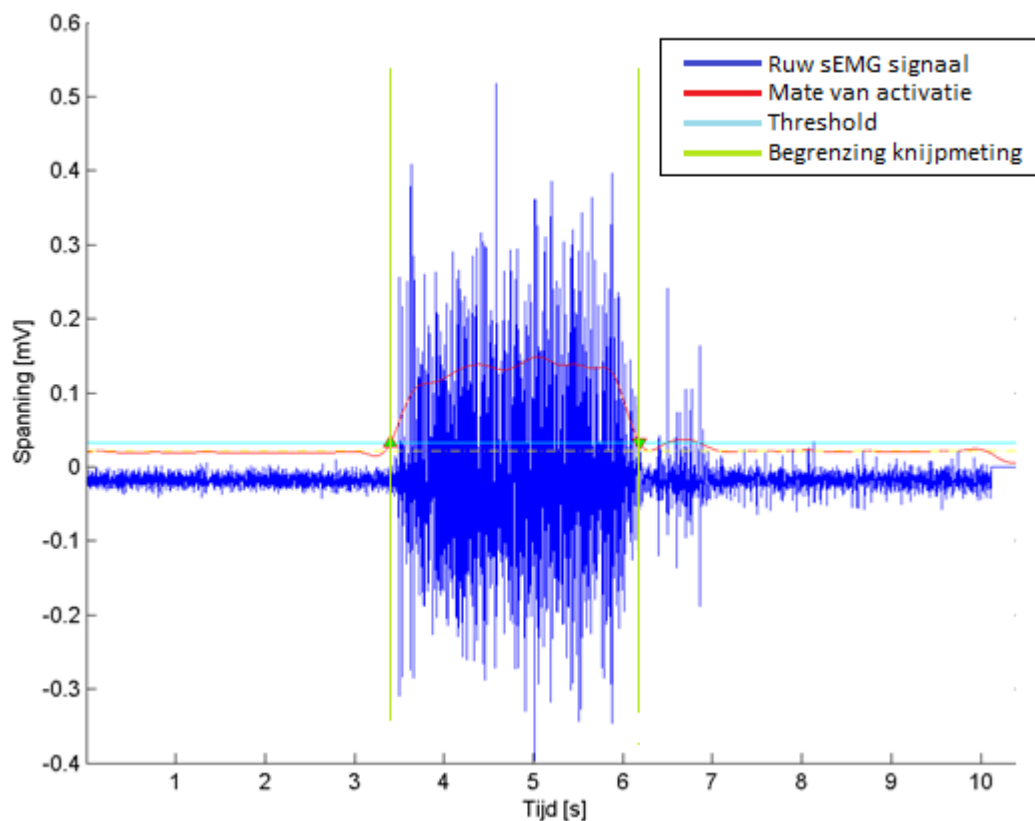
afzonderlijke motorunits en bevat positieve en negatieve waarden (24). Een voorbeeld van de ruwe data is te zien in figuur 3.



Figuur 3: Voorbeeld weergave van een ruw sEMG signaal met begrenzing van de knijpmeting

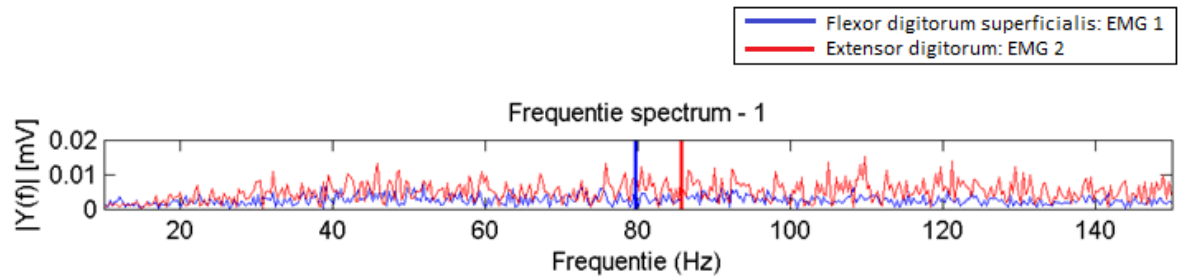
Een ruw sEMG signaal heeft een stochastisch karakter. Dit is een onvoorspelbaar signaal dat voortdurend verandert van amplitude en frequentie (34). Omdat hierdoor geen diagnostische uitspraak gedaan kon worden over de spierversmoeidheid moest het signaal bewerkt worden (24). De resultaten werden in opeenvolgende stappen geanalyseerd met behulp van MATLAB R2014a, The MathWorks Inc., Natick, MA, US, 2000. Hiermee werd een spectrumanalyse gedaan, waarin de signalen werden bewerkt en gefilterd. Alle negatieve signalen werden absoluut gemaakt, dat wil zeggen dat ze omgezet werden naar een positieve waarde. Hierdoor werd het signaal gelijk gericht (34).

Van iedere proefpersoon werd de gehele meting meegenomen voor de analyse en werd er een individuele threshold bepaald. Dit is een drempelwaarde waarbij alleen de signalen boven de drempelwaarde werden meegenomen in de verdere analyse (35). Door gebruik te maken van een threshold kon exact bepaald worden in welke tijd geknepen werd. Hierdoor werd de rustfrequentie van de proefpersoon niet meegenomen. In figuur 4 is een voorbeeld te zien van data met een threshold.



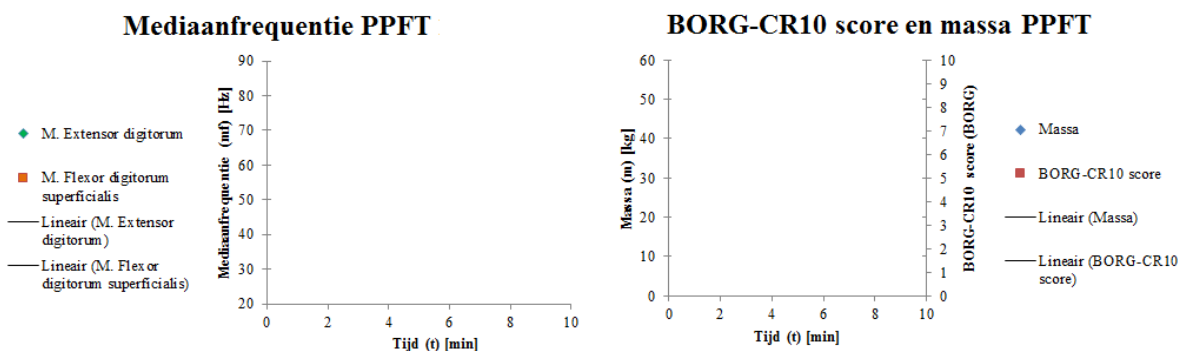
Figuur 4: Voorbeeld weergave van de overgang van ruw sEMG signaal naar bewerkt sEMG signaal met threshold

De uiteindelijk meegenomen signalen werden weergegeven in een frequentiespectrum. Hoe hoger de absolute frequentie, hoe vaker de frequentie voorkomt. Het frequentiespectrum werd uitgezet in Hz x mV. Uit het frequentiespectrum werd de mediaanfrequentie bepaald. Dit is een frequentie waarbij de helft van de frequenties onder en de helft van de frequenties zich boven de mediaan bevinden. Deze mediaanfrequentie is een parameter voor spiervermoeidheid (34). Tijdens optredende spiervermoeidheid neemt de vuurfrequentie van de motorunits geleidelijk af, waardoor de gemiddelde sEMG frequenties en amplitudes afnemen (2). Dit is terug te zien in het frequentiespectrum waarin de mediaanfrequentie daalt (23). Deze waarden werden tijdens het onderzoek gebruikt om een objectieve uitspraak over de optredende spiervermoeidheid te kunnen doen. Een voorbeeld van de bewerkte data weergegeven in een frequentiespectrum is te vinden in figuur 5.



Figuur 5: Voorbeeld frequentiespectrum met bijbehorende mediaanfrequenties als verticale lijn weergegeven

In een schema werden voor iedere proefpersoon apart de waarden genoteerd in de tijd per minuut (Bijlage 9). De gemeten variabelen zijn de BORG-CR10 scores, mediaanfrequenties van beide sensoren en de massa in kilogram. Deze gegevens werden in twee spreidingsdiagrammen gezet met behulp van Excel Microsoft® Excel® 2013 (15.0.4917.100) MSO (15.0.4919.1002). Per proefpersoon werden de variabelen weergegeven in de tijd. Een voorbeeldgrafiek is te vinden in figuur 6. Met behulp van Excel werd een trendlijn en de bijbehorende vergelijking weergegeven in de grafiek. De richtingscoëfficiënt van deze trendlijn geeft weer of de waarden toe- of afnemen. Deze werden per variabele van alle proefpersonen vergeleken om de onderzoeksvraag te beantwoorden.



Figuur 6: Voorbeeldgrafiek waarin de mediaanfrequenties, BORG-CR10 score en massa van één proefpersoon werden weergegeven

3. Resultaten

3.1 Omschrijving onderzoekspopulatie

De onderzoekspopulatie bestond uit 36 proefpersonen die allen voldeden aan de in- en exclusiecriteria. Een overzicht van de onderzoekspopulatie is weergegeven in een tabel (Tabel 1). Bij de analyse van de data bleek dat bij enkele proefpersonen de data niet volledig was. Er is besloten om de data waarbij meer dan drie waarden misten niet mee te nemen tijdens de analyse. Dit was het geval bij twee proefpersonen (PPFT zes en dertien).

Tabel 1: Overzicht van de onderzoekspopulatie

Aantal proefpersonen	36
Geslacht	Man: 21 Vrouw: 15
Leeftijd	Mediaan: 20,5 Range: 7
Voorkeurshand	Rechts: 32 Links: 4

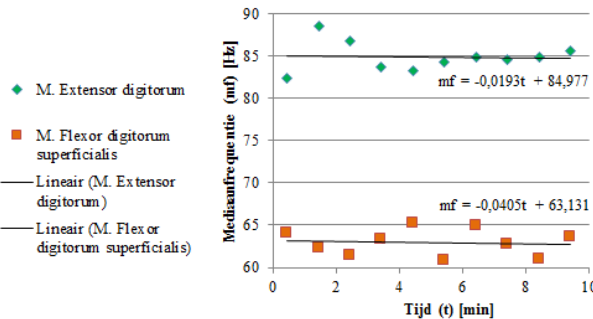
3.2 Data verwerking

De verkregen data van alle variabelen werden ieder in een tabel ingevuld en vervolgens in Excel verwerkt tot twee spreidingsdiagrammen per proefpersoon. Voor elke variabele werd de trendlijn met de bijbehorende vergelijking zichtbaar gemaakt waardoor de richtingscoëfficiënt verkregen werd. De richtingscoëfficiënt geeft de richting en steilheid van de trendlijn aan en geeft hierdoor aan of een variabele toe- of afneemt en in welke mate. In bijlage 10 zijn alle spreidingsdiagrammen van alle proefpersonen weergegeven. De metingen die niet meegenomen werden zijn rood gemarkeerd. In de volgende paragraaf zijn enkele voorbeelden van de resultaten weergegeven.

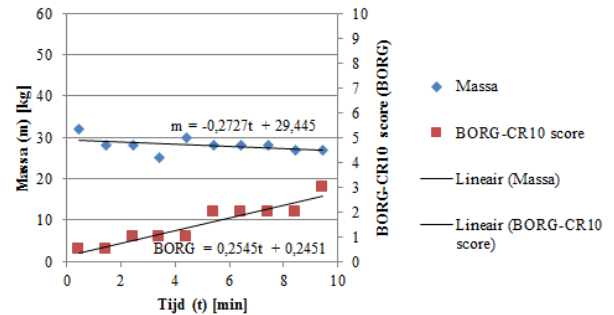
3.3 Data-analyse

In figuur 7 en 8 zijn de spreidingsdiagrammen weergegeven van PPFT 15 en PPFT 30.

Mediaanfrequentie PPFT 15

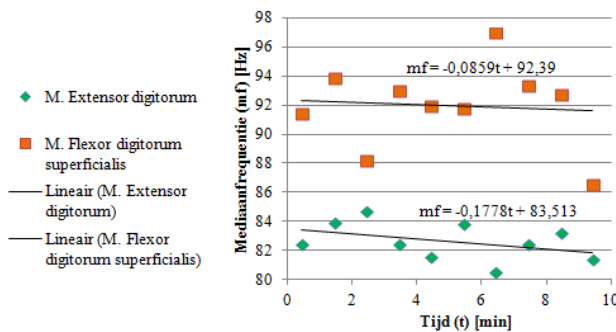


BORG-CR10 score en massa PPFT 15

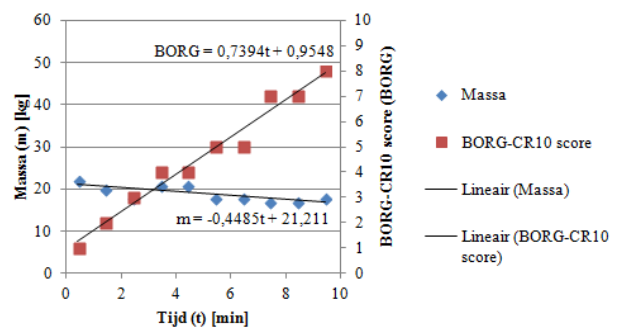


Figuur 7: Spreidingsdiagram PPFT 15 van alle variabelen met trendlijn en bijbehorende vergelijking

Mediaanfrequentie PPFT 30



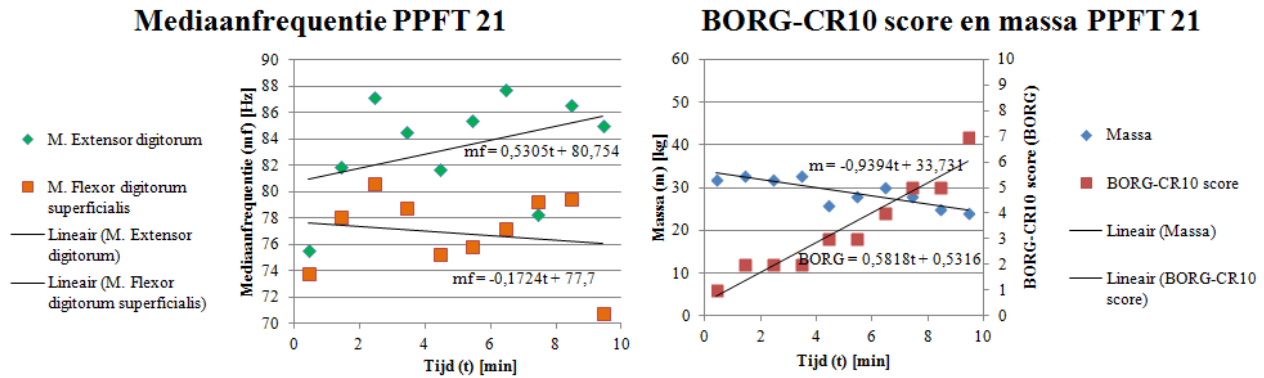
BORG-CR10 score en massa PPFT 30



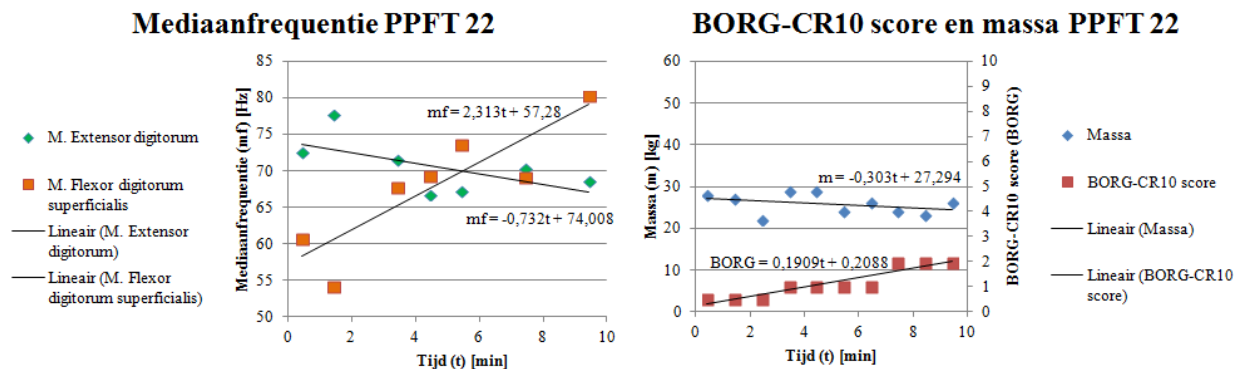
Figuur 8: Spreidingsdiagram PPFT 30 van alle variabelen met trendlijn en bijbehorende vergelijking

Er is te zien dat bij deze proefpersonen de mediaanfrequenties van beide spieren afnamen. Dit is te zien aan de negatieve waarde van de richtingscoëfficiënten. De BORG-CR10 scores hadden een positieve en de massa's een negatieve richtingscoëfficiënt. Alleen bij deze twee proefpersonen (5,9%) was deze situatie als resultaat verkregen.

In figuur 9 en 10 zijn de spreidingsdiagrammen weergegeven van PPFT 21 en PPFT 22.



Figuur 9: Spreidingsdiagram PPFT 21 van alle variabelen met trendlijn en bijbehorende vergelijking

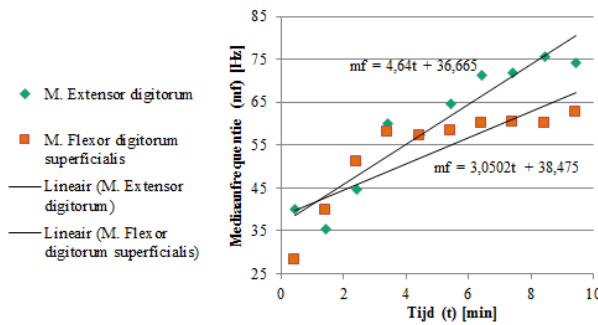


Figuur 10: Spreidingsdiagram PPFT 22 van alle variabelen met trendlijn en bijbehorende vergelijking

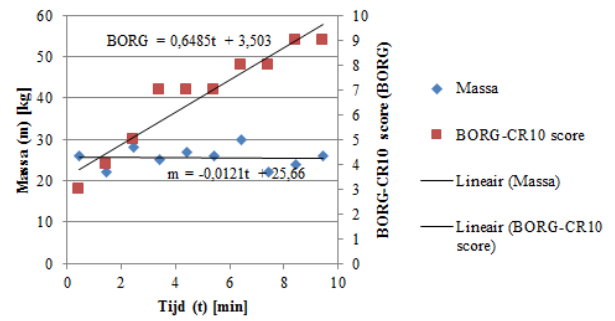
Er is te zien dat bij PPFT 21 de richtingscoëfficiënt van de mediaanfrequentie van de m. Flexor digitorum superficialis negatief was en richtingscoëfficiënt van de mediaanfrequentie van de m. Extensor digitorum positief. Dit was het geval bij zes proefpersonen (17,7%). Bij PPFT 22 is dit juist andersom. Deze situatie was het geval bij vier proefpersonen (11,8%). Bij al deze proefpersonen waren de richtingscoëfficiënt van de BORG-CR10 score positief en die van de massa negatief.

In figuur 11 en 12 zijn de spreidingsdiagrammen weergegeven van PPFT 17 en PPFT 25.

Mediaanfrequentie PPFT 17

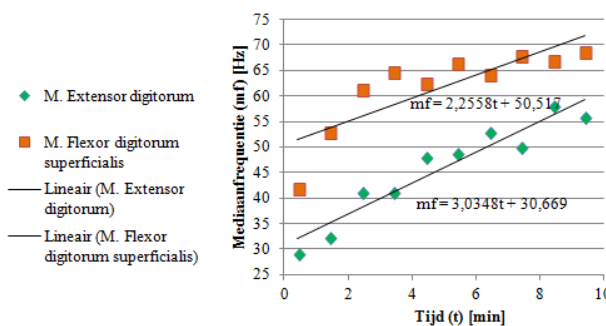


BORG-CR10 score en massa PPFT 17

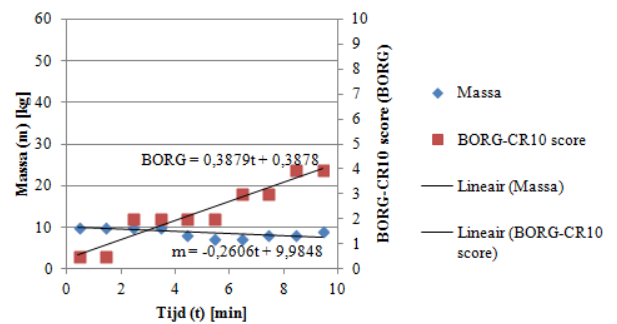


Figuur 11: Spreidingsdiagram PPFT 17 van alle variabelen met trendlijn en bijbehorende vergelijking

Mediaanfrequentie PPFT 25



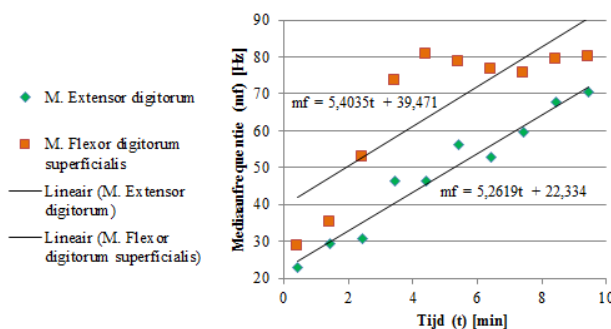
BORG-CR10 score en massa PPFT 25



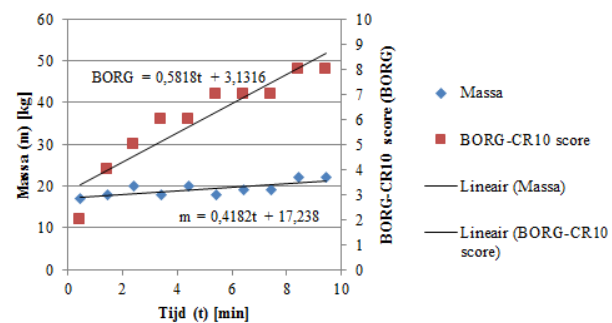
Figuur 12: Spreidingsdiagram PPFT 25 van alle variabelen met trendlijn en bijbehorende vergelijking

Er is te zien dat bij deze proefpersonen de mediaanfrequenties van beide spieren toenamen. De BORG-CR10 score had een positieve en de massa een negatieve richtingscoëfficiënt. Deze situatie was bij 21 proefpersonen (61,7%) als resultaat verkregen. Bij één proefpersoon, PPFT 18, had de massa een positieve richtingscoëfficiënt. De richtingscoëfficiënten van de andere variabelen waren ook positief zoals te zien is in figuur 13.

Mediaanfrequentie PPFT 18



BORG-CR10 score en massa PPFT 18



Figuur 13: Spreidingsdiagram PPFT 18 van alle variabelen met trendlijn en bijbehorende vergelijking

4. Discussie

Het doel van deze studie is om te onderzoeken of er een relatie is tussen de subjectieve BORG-CR10 score en het objectieve sEMG signaal bij het meten van spiervermoeidheid. Hierbij werd gebruik gemaakt van het knijpen in de handknijpkrachtmeter. Er werd gekeken of gedurende de meting de spiervermoeidheid subjectief en objectief toeneemt. Dit werd gedaan aan de hand van de volgende vraagstelling:

Is er een relatie tussen de subjectieve BORG-CR10 score en het objectieve sEMG signaal bij het meten van spiervermoeidheid gegenereerd door het knijpen in de handknijpkrachtmeter?

4.1 Bespreken resultaten

Uit de resultaten van dit onderzoek blijkt dat bij alle proefpersonen de BORG-CR10 score toeneemt in de tijd. De massa neemt bij alle proefpersonen af, op één proefpersoon na. Waarschijnlijk zal deze proefpersoon in het begin van de metingen niet maximaal geknepen hebben waardoor uiteindelijk nog hogere waarden behaald werden. Ondanks dat alle BORG-CR10 scores toenemen, wat aangeeft dat de proefpersonen zich wel vermoeid voelen, en dit ook zichtbaar is in de afname van de massa, is dit niet altijd terug te zien in de afname van de objectieve mediaanfrequenties. Deze nemen beide toe, beide af of één af en één toe. Echter zijn de waarden van de richtingscoëfficiënten die een toename aangeven in de meeste gevallen groter dan de waarden die een afname aangeven.

Bij twee proefpersonen is een relatie gevonden tussen de BORG-CR10 score en het objectieve sEMG signaal. Echter zijn de richtingscoëfficiënten van de vergelijkingen van de mediaanfrequenties minimaal negatief. Hierdoor kan er niet overtuigend gesproken worden van een relatie tussen deze variabelen. De verwachting was dat de richtingscoëfficiënten van de mediaanfrequenties duidelijk zouden afnemen in de tijd. Uit de literatuur blijkt namelijk dat er een correlatie is tussen het sEMG signaal en de BORG-score bij het meten van spiervermoeidheid bij een kleine homogene groep (30, 31). Dit verschil zou te verklaren kunnen zijn doordat deze studies andere

spiergroepen hebben gemeten en hierbij niet gebruik gemaakt hebben van de handknijpkrachtmeter als generator.

Er is geen relatie tussen de mate van steilheid bij de verschillende variabelen. Het betekent niet dat wanneer de ene mediaanfrequentie sterk toeneemt, de BORG-CR10 score, massa of de andere mediaanfrequentie ook sterk stijgt. Dit geldt voor alle mogelijke combinaties.

4.2 Methodologische kwaliteit van het onderzoek

4.2.1 Sterkte-analyse

Een sterk punt van dit onderzoek is dat dit het eerste onderzoek is waarbij de relatie tussen de subjectieve BORG-CR10 en het objectieve sEMG signaal onderzocht werd met een grotere homogene onderzoekspopulatie. Tevens zijn de gebruikte spieren en de handknijpkrachtmeter nog niet eerder gebruikt in een soortgelijk onderzoek.

Een ander sterk punt is de manier van onderzoeken. De onderzoekers waren vooraf niet bekend met het Delsys Trigno systeem, maar hebben zich vooraf goed ingelezen en een aantal testmetingen uitgevoerd. Tevens is vooraf een duidelijk protocol opgesteld. Er is iedere keer gemeten volgens protocol en de handelingen zijn iedere keer door dezelfde onderzoeker uitgevoerd. Ook zijn er meer proefpersonen dan gepland onderzocht, zodat eventuele niet bruikbare metingen geen invloed hadden op het aantal proefpersonen. Er werd gebruik gemaakt van gezonde proefpersonen waardoor het werven van de proefpersonen zonder problemen verliep. Het laatste sterke punt was dat er tijdens de meting gebruik gemaakt werd van draadloze sensoren, waardoor de kandidaten vrijer konden bewegen en daardoor niet beperkt werden in het uitvoeren van de handelingen.

4.2.2 Zwakte-analyse

Een van de beperkingen van dit onderzoek is de plaatsing van de sensoren. Vooraf was een protocol opgesteld, maar gezien de verschillen in anatomische bouw van de proefpersonen was dit nooit helemaal exact en betrouwbaar. De plaatsing werd deels gecontroleerd door het uitvoeren van een testmeting, maar een juiste testmeting betekend niet dat de juiste spier ook gemeten werd. Hierdoor zouden ook signalen van omliggende spieren gemeten kunnen zijn (23).

Een tweede beperking is de constante houding die de proefpersoon aan moest nemen en het gewicht van de handknijpkrachtmeter. Hierdoor was er nooit een rustmoment in de spier en was er altijd spierspanning aanwezig voordat de proefpersoon daadwerkelijk kneep in de handknijpkrachtmeter. Hierdoor konden proefpersonen al eerder het gevoel hebben vermoeid te zijn, zonder dat de spieren daadwerkelijk vermoeid raakten van de knijpmetingen. Tevens zou het voor proefpersonen lastig kunnen zijn om alleen de spierversmoeidheid aan te geven in de onderarm, aangezien de gehele arm betrokken is bij het vasthouden van de statische houding.

Een derde beperking van dit onderzoek is de duur van de meting. Deze bedroeg tien minuten. Er was één proefpersoon die aan het einde van de meting een BORG-CR10 score van tien aangaf. Het zou kunnen dat wanneer de meting langer duurt dan tien minuten er meer proefpersonen zouden zijn die een hogere BORG-CR10 score aangeven. Hierdoor zou ook bij meer proefpersonen een objectieve vermoeidheid gemeten kunnen worden.

De laatste beperking is de opstelling van de meetapparatuur. Door de opstelling konden de proefpersonen zien wanneer de software werd gestart en de meting meegenomen werd. Hierdoor zou het mogelijk zijn dat ze bij deze meting extra wilden presteren om een hogere kracht te genereren. Daardoor zou er tussen deze metingen minder vermoeidheid opgewekt kunnen worden.

4.3 Aanbevelingen voor onderzoek en praktijk

Aan de hand van de uitkomsten van dit onderzoek kunnen er een aantal aanbevelingen gedaan worden voor een mogelijk vervolgonderzoek.

Een van deze aanbevelingen is de uitgangshouding van de proefpersonen. Door gebruik te maken van een dynamische beweging die gecontroleerd kan worden door bijvoorbeeld de bewegingsuitslag, is er een volledig rustmoment in de meting waarna weer een volledige aanspanning plaatsvindt. Hierdoor wordt de vermoeidheid alleen gegenereerd door de beweging en niet door de houding.

Een tweede aanbeveling is de plaatsing van de sensoren. Deze was niet altijd exact te bepalen door middel van palpatie. Door gebruik te maken van echografie zou de

spier preciezer gelokaliseerd kunnen worden waardoor er minder kans is om signalen van omliggende spieren te meten (36, 37).

Een derde aanbeveling zou kunnen zijn om een meting uit te voeren die langer dan tien minuten duurt of door te gaan totdat de proefpersoon een BORG-CR10 score van tien heeft behaald. De kans is groter dan er dan wel vermoeidheid aangetoond zou kunnen worden. Een langere duur van het onderzoek zorgt tevens voor meerdere metingen waaruit meer data geanalyseerd kan worden. Hierdoor zou een betere uitspraak gedaan kunnen worden over de eventueel opgetreden spierversmoeidheid.

Als laatste aanbeveling zou er, om een concrete uitspraak te kunnen doen over het wel of niet bestaan van een relatie, statistische toetsing toegepast moeten worden. Dit zou in een mogelijk vervolgonderzoek toegepast kunnen worden.

5. Conclusie

Uit dit onderzoek is gebleken dat de uitkomsten niet voldoen aan de verwachtingen. Bij 91,4% van de proefpersonen blijkt dat er waarschijnlijk geen relatie is tussen de subjectieve BORG-CR10 score en het objectieve sEMG signaal met het gebruik van de handknijpkrachtmeter bij een homogene patiëntenpopulatie van 34 proefpersonen. Hierdoor kan de subjectieve BORG-CR10 score in de fysiotherapeutische praktijk gebruikt worden om een indicatie te krijgen van de spiervermoeidheid, maar kan er geen objectieve uitspraak gedaan worden over de daadwerkelijke spiervermoeidheid. Verder onderzoek is nodig om een relatie tussen de subjectieve en objectieve spiervermoeidheid te kunnen bevestigen dan wel ontkrachten.

6. Literatuurlijst

1. Bernards A, Hagnaars L, Oostendorp R, Wams H. Het meerdimensionale belasting-belastbaarheidsmodel: een conceptueel model voor de fysiotherapie. Nederlands tijdschrift voor fysiotherapie. 1999;109:58-65.
2. Gestel van JLM, Hoeksema-Bakker CMC. Paramedische trainingsbegeleiding; trainingsleer en inspanningsfysiologie voor de paramedicus: Deel 1 Training van spierkracht en spierfunctie. Houten: Bohn Stafleu van Loghum; 1997.
3. Morree de JJ, Jongert T, Poel G. Inspanningsfysiologie, oefentherapie en training. 2e geh. herz. ed. Houten: Bohn Stafleu van Loghum; 2011.
4. Vollestad NK. Measurement of human muscle fatigue. Journal of neuroscience methods. 1997;74(2):219-27
5. Edwards RHT. Human muscle function and fatigue: Physiological Mechanisms. 1981 ed. London: Pitman Medical Ltd; 1981.
6. Capodaglio EM. Comparison between the CR10 Borg's scale and the VAS (visual analogue scale) during an arm-cranking exercise. Journal of occupational rehabilitation. 2001;11(2):69-74.
7. Borg G. Borg's perceived exertion and pain scales. Pudsey: Human Kinetics Publishers; 1998.
8. Utter AC, Kang J, Nieman DC, Dumke CL, McAnulty SR. Validation of Omni scale of perceived exertion during prolonged cycling. Medicine and science in sports and exercise. 2006;38(4):780-6.
9. Robertson RJ, Goss FL, Dube J, Rutkowski J, Dupain M, Brennan C, et al. Validation of the adult OMNI scale of perceived exertion for cycle ergometer exercise. Medicine and science in sports and exercise. 2004;36(1):102-8.
10. Neely G, Ljunggren G, Sylven C, Borg G. Comparison between the Visual Analogue Scale (VAS) and the Category Ratio Scale (CR-10) for the evaluation of leg exertion. International journal of sports medicine. 1992;13(2):133-6.
11. Muyor JM. Exercise Intensity and Validity of the Ratings of Perceived Exertion (Borg and OMNI Scales) in an Indoor Cycling Session. Journal of human kinetics. 2013;39:93-101.

12. Lagally KM, Robertson RJ. Construct validity of the OMNI resistance exercise scale. *Journal of strength and conditioning research*. 2006;20(2):252-6.
13. Junior WG, Silva da E, Silva da JA. A comparison between the visual analogue and BORG'S CR10 scales for perceived exertion. *Proceedings of Fechner Day*. 2009;25(1):477-80.
14. Engelen van EISM, Joeris S. Borg Rating of Perceived Exertion Schaal [Internet]. 2010 [cited 2016 29-07]. Available from: https://meetinstrumentenzorg.blob.core.windows.net/test-documents/Instrument28/28_1_N.pdf.
15. Engelen van EISM, Jungen MJ. Visual Analogue Scale [Internet]. 2014 [cited 2016 10-09]. Available from: <https://meetinstrumentenzorg.blob.core.windows.net/test-documents/Instrument41/VAS%20form.pdf>.
16. Robertson RJ. Perceived exertion for practitioners: rating effort with the OMNI picture system. Pudsey: Human Kinetics; 2004.
17. Grant S, Aitchison T, Henderson E, Christie J, Zare S, McMurray J, et al. A comparison of the reproducibility and the sensitivity to change of visual analogue scales, Borg scales, and Likert scales in normal subjects during submaximal exercise. *Chest*. 1999;116(5):1208-17.
18. Wewers ME, Lowe NK. A critical review of visual analogue scales in the measurement of clinical phenomena. *Research in nursing & health*. 1990;13(4):227-36.
19. Rabini A, Piazzini DB, Tancredi G, Foti C, Milano G, Ronconi G, et al. Deep heating therapy via microwave diathermy relieves pain and improves physical function in patients with knee osteoarthritis: a double-blind randomized clinical trial. *European journal of physical and rehabilitation medicine*. 2012;48(4):549-59.
20. Gift A. Visual analogue scales; measurement of subjective phenomena. *Nursing research*. 1989;38(5):286-8.
21. Zamunér A, Moreno M, Camargo T, Graetz J, Rebelo A, Tamburús N, et al. Assessment of subjective perceived exertion at the anaerobic threshold with the Borg CR-10 scale. *Journal of Sports Science and Medicine*. 2011;10(1):130-6.
22. Strimpakos N, Georgios G, Eleni K, Vasilios K, Jacqueline O. Issues in relation to the repeatability of and correlation between EMG and Borg scale

assessments of neck muscle fatigue. *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2005;15(5):452-65.

23. Franssen JLM, editor. *Handboek oppervlakte-elektromyografie*. Utrecht: De Tijdstroom; 1995.

24. Gussem de HM. *Syllabus Medische Techniek*. Zuyd Hogeschool Heerlen 2016. p. 1-16.

25. Reuter SE, Massy-Westropp N, Evans AM. Reliability and validity of indices of hand-grip strength and endurance. *Australian occupational therapy journal*. 2011;58(2):82-7.

26. Peolsson A, Hedlund R, Oberg B. Intra- and inter-tester reliability and reference values for hand strength. *Journal of rehabilitation medicine*. 2001;33(1):36-41.

27. Ikemoto Y, Demura S, Yamaji S, Yamada T. Comparison of force-time parameters and EMG in static explosive gripping by various exertion conditions: muscle fatigue state and submaximal exertion. *The Journal of sports medicine and physical fitness*. 2006;46(3):381-7.

28. Fernandes AA, Brito CJ, Vieira BC, Marins JCB. Effect of peripheral muscle fatigue during the testing of handgrip strength. *Fisioterapia em Movimento*. 2014;27(3):407-12.

29. Soo Y, Sugi M, Nishino M, Yokoi H, Arai T, Kato R, et al. Quantitative estimation of muscle fatigue using surface electromyography during static muscle contraction. *Engineering in Medicine and Biology Society*. 2009:1808-8.

30. Zhou Q, Chen Y, Ma C, Zheng X. Evaluation of upper limb muscle fatigue based on surface electromyography. *Science China Life sciences*. 2011;54(10):939-44.

31. Troiano A, Naddeo F, Sosso E, Camarota G, Merletti R, Mesin L. Assessment of force and fatigue in isometric contractions of the upper trapezius muscle by surface EMG signal and perceived exertion scale. *Gait & posture*. 2008;28(2):179-86.

32. Schünke M. *Prometheus algemene anatomie en bewegingsapparaat*. Houten: Bohn Stafleu van Loghum; 2005.

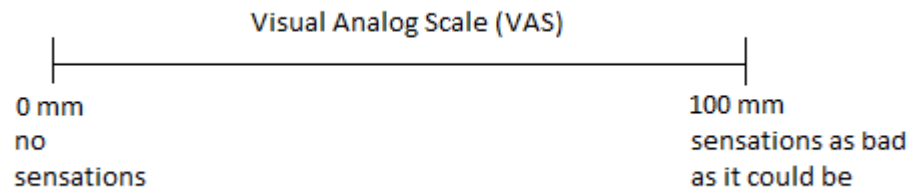
33. Dackweiler I, Joeris S, Bokhorst M. *Handknijpkrachtmeter* [Internet]. 2012 [cited 2016 29-07]. Available from:

https://meetinstrumentenzorg.blob.core.windows.net/test-documents/Instrument214/214_1_N.pdf.

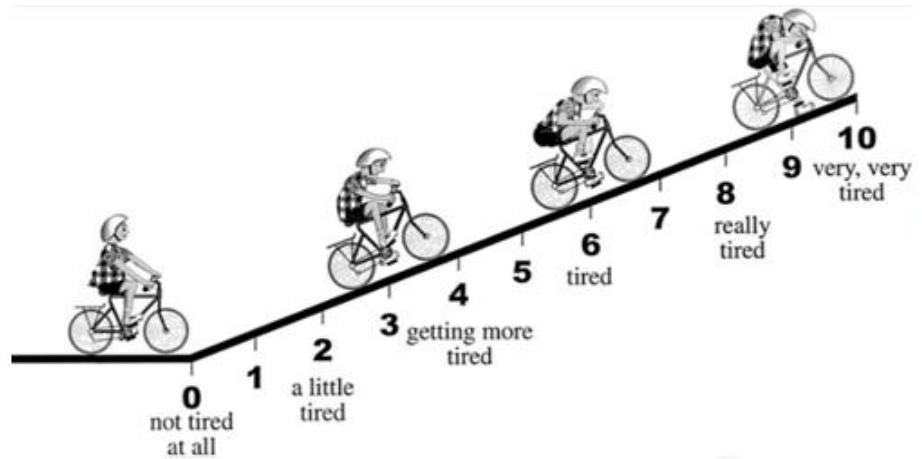
34. Riezebos C. Oppervlakte-elektromyografie en bewegingsanalyse 2. Versus, tijdschrift voor fysiotherapie. 2008:28.
35. Mathworks. Matlab [Internet]. 2016 [cited 2017 16-03]. Available from: http://nl.mathworks.com/products/matlab/index.html?s_tid=gn_loc_drop.
36. Teeffelen van W. Sportblessures. Bijblijven. 2010;26(10):57-62.
37. Hides JA, Richardson CA, Jull GA. Gebruik van real-time echografie voor feedback bij revalidatie. Stimulus. 2000;19(1):1.

7. Bijlagen

Bijlage 1: Visual Analogue Scale



Bijlage 2: OMNI perceived exertion scale for resistance exercise



Bijlage 3: BORG scale of perceived exertion

Rating	Perceived Exertion
6	No exertion
7	Extremely light
8	
9	Very light
10	
11	Light
12	
13	Somewhat hard
14	
15	Hard
16	
17	Very hard
18	
19	Extremely hard
20	Maximal exertion

Bijlage 4: BORG-Category Ratio10

Borg CR10 Ratings of Perceived Exertion	
Rating	Definition
0	Nothing at all
0.5	Very, very easy
1	Very easy
2	Easy
3	Moderate
4	Somewhat hard
5	Hard
6	
7	Very hard
8	
9	Very, very hard
10	Impossible

Bijlage 5: Uitnodigingsmail

Beste studenten van de faculteit gezondheidszorg,

Als laatstejaars aan de opleiding fysiotherapie van Zuyd Hogeschool zijn wij voor ons afstudeeronderzoek op zoek naar deelnemers. Het onderzoek vindt plaats in het MotionLab te Zuyd Hogeschool Heerlen en zal 20 minuten duren. Het onderzoek staat in het teken van het meten van de spierversmoeidheid die gemeten wordt met het Delsys Trigno Wireless EMG system, dat door middel van plakelektroden op de arm de mate van spieractiviteit meet. Met behulp van de handknijpkrachtmeter en de BORG-CR10 score worden subjectief de mate van vermoeidheid gemeten. De BORG-CR10 scorelijst wordt vooraf via de mail verzonden.

Wij zijn op zoek naar studenten tussen de 18-25 jaar die in de gelegenheid zijn om op 8, 16 of 21 maart 2017 deel te nemen aan dit onderzoek. Tevens dien je niet bekend te zijn met klachten aan schouder, elleboog, pols of hand. De exacte data en tijd zullen in overleg bepaald worden. Voldoe je aan deze criteria en zou je ons graag willen helpen? Stuur dan een mail naar een van de onderstaande e-mailadressen. Ook voor eventuele vragen mogen deze e-mailadressen gebruikt worden.

Met vriendelijke groet,

Sandra Lammers en Roos Nijssen

1308432nijssen@zuyd.nl

1322559lammers@zuyd.nl

Bijlage 6: Informed Consent Formulier Proefpersonen

Geachte heer/mevrouw,

Studenten van de ZUYD Hogeschool, opleiding fysiotherapie, hebben u gevraagd om als proefpersoon deel te nemen aan een onderzoek binnen het kader van afstuderen. Langs deze weg moeten zij u officieel toestemming vragen om dit onderzoek daadwerkelijk bij u te mogen uitvoeren.

Informatie t.a.v. het onderzoek:

Het onderzoek staat in het teken van het meten van de spierversmoeidheid die gemeten wordt met behulp van de BORG-CR10 score, de handknijpkracht en het Delsys Trigno Wireless EMG system. Het Delsys Trigno Wireless EMG system meet door middel van plakelektroden de mate van spieractiviteit. Alvorens we deze analyse bij u gaan uitvoeren, wordt de leeftijd, uw geslacht en uw voorkeurshand genoteerd.

U dient niet bekend te zijn met klachten aan de schouder, elleboog, pols of hand of een pleisterallergie. Voor de meting dient u in staat te zijn om gedurende 10 minuten een herhaaldelijke knijpmeting te doen.

Bij het voldoen aan de genoemde criteria kunt u deelnemen aan het onderzoek. Het onderzoek zal plaatsvinden in het MotionLab te Zuyd Hogeschool Heerlen en zal tijdbestek innemen van circa 20 minuten.

Het onderzoek zelf:

Voorafgaande het onderzoek zullen sensoren op de onderarm geplakt worden, die het mogelijk maken om uw spieractiviteit te meten. Hiervoor dient u tijdens het onderzoek uw gehele arm te ontbloten. De gegevens uit het onderzoek worden anoniem gecodeerd en verwerkt en u kunt zich te allen tijde, zonder opgaaf van redenen, terugtrekken uit het onderzoek.

Op het moment van ondertekenen van dit formulier geeft u aan deel te nemen als proefpersoon aan het onderzoek en heeft u de informatie gelezen en begrepen. Mochten er nog vragen en/of opmerkingen bij u opkomen dan verzoeken wij u contact op te nemen met de ondergetekende.

Bij voorbaat dank voor uw medewerking.

Afstudeergroep Opleiding Fysiotherapie:

Sandra Lammers 1322559lammers@zuyd.nl

Roos Nijssen 1308432nijssen@zuyd.nl

Ik ga akkoord en werk volledig mee aan dit onderzoek,

Datum:

Handtekening en naam:

... - - 2017

.....

Bijlage 7: Testformulier

Leeftijd: Geslacht: Voorkeurshand:	Tijd	Aantal kg	BORG-CR 10 score
	0:43 minuut		
	1:43 minuut		
	2:43 minuut		
	3:43 minuut		
	4:43 minuut		
	5:43 minuut		
	6:43 minuut		
	7:43 minuut		
	8:43 minuut		
	9:43 minuut		

Bijlage 8: Bipolaire sensoren

Tijdens het meten van spieractiviteit via een sEMG signaal wordt er vaak bipolair gemeten. Ook het Delsys Trigno sEMG systeem, wat gebruikt werd tijdens dit onderzoek, meet met bipolaire draadloze sensoren. Deze sensor meet de spierspanning van de desbetreffende spier en laat het biopotential hiervan zien (1).

Iedere sensor bevat vier meetpunten (grijze gedeelten), die bestaan uit twee meetelektroden en de referentie elektroden. De elektroden die op de spier geplaatst zijn, zijn actief ten opzichte van de referentie elektrode. Door het gebruik van de referentie elektrode wordt overige ruis gereduceerd en/of stoorsignalen buiten gehouden. Doordat het signaal gefilterd wordt vanaf de bron ontstaat er een zuiverder en versterkt signaal en verbetert de signaal-ruis verhouding (2,3).

Het verschil tussen de signalen van de twee meet elektroden wordt vooraf met elkaar vergeleken en versterkt, wat uiteindelijk zorgt voor de uitkomst van de meting. Deze bestaat uit een elektrisch potentiaal wat weergegeven wordt als één enkel sEMG signaal (4).

**Literatuur:**

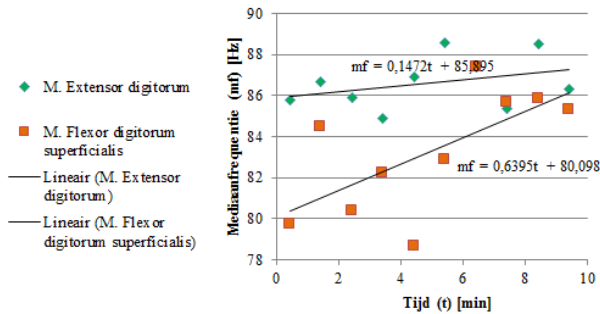
1. De Gussem HM. Syllabus Medische Techniek. In: Hogeschool Z, editor. Heerlen 2016. P 1-16.
2. Meting van spieractiviteit in het gezicht. Neuropraxis. 1997;1(1):26-8.
3. Clancy EA, Morin EL, Merletti R. Sampling, noise-reduction and amplitude estimation issues in surface electromyography and kinesiology: official journal of the International Society of Electrophysiological Kinesiology. 2002;12(1):1-16.
4. Stegeman D, Hermens H. Standards for surface electromyography: The European project Surface EMG for non-invasive assessment of muscles (SENIAM).

Bijlage 9: Schema testresultaten

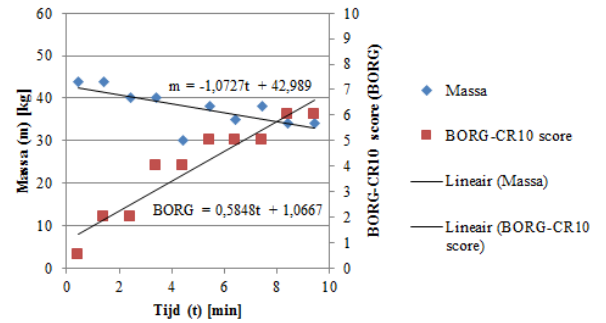
Tijd in minuten	0:43	1:43	2:43	3:43	4:43	5:43	6:43	7:43	8:43	9:43
Mediaanfrequentie sensor 1										
Mediaanfrequentie sensor 2										
Massa in kilogram										
BORG-CR10 score										

Bijlage 10: Spreidingsdiagram per proefpersoon

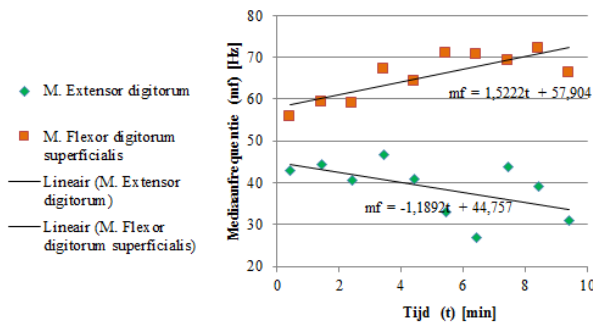
Mediaanfrequentie PPFT 1



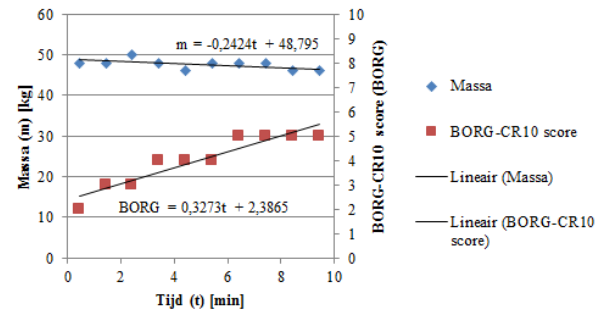
BORG-CR10 score en massa PPFT 1



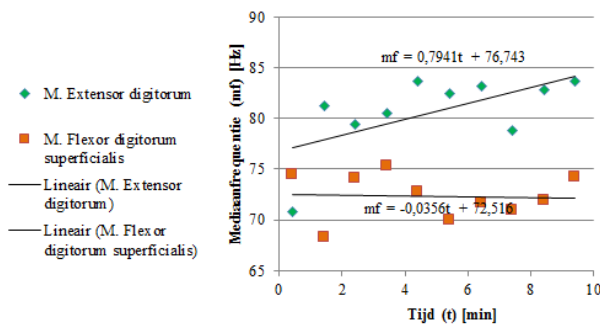
Mediaanfrequentie PPFT 2



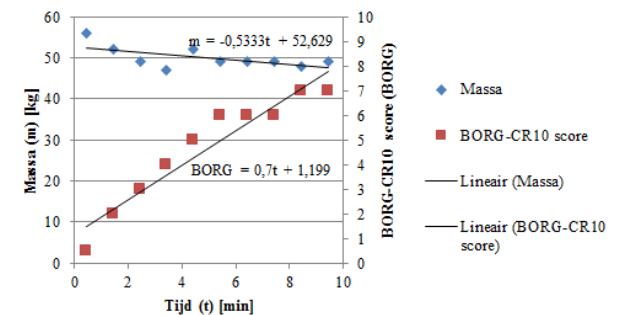
BORG-CR10 score en massa PPFT 2



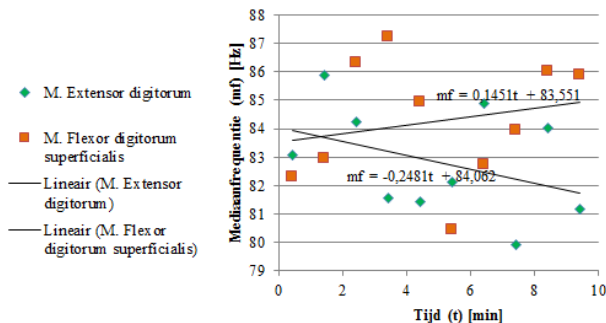
Mediaanfrequentie PPFT 3



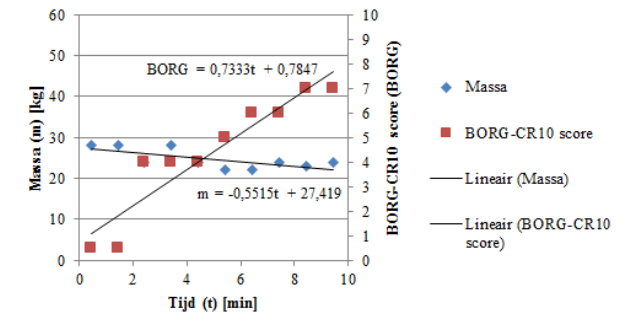
BORG-CR10 score en massa PPFT 3



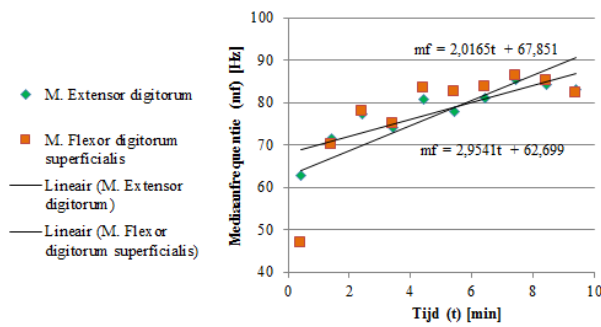
Mediaanfrequentie PPFT 4



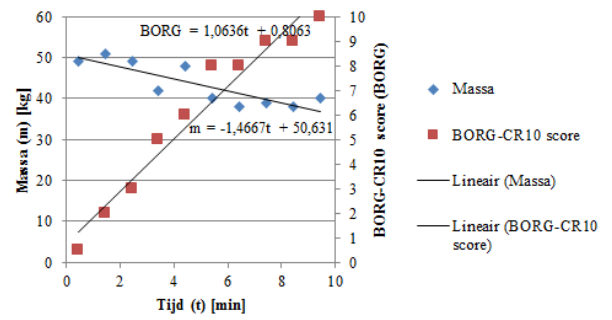
BORG-CR10 score en massa PPFT 4



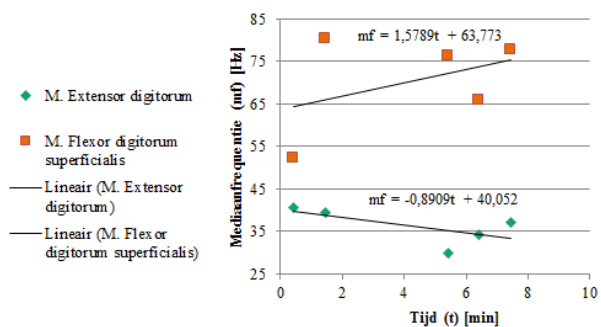
Mediaanfrequentie PPFT 5



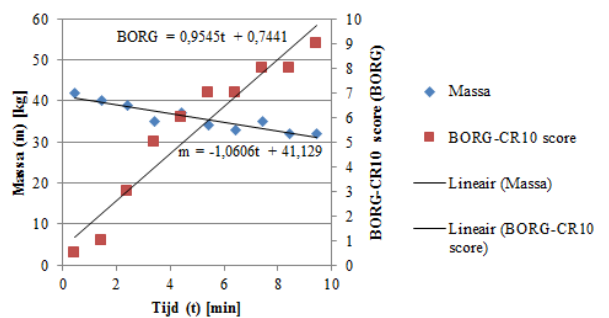
BORG-CR10 score en massa PPFT 5



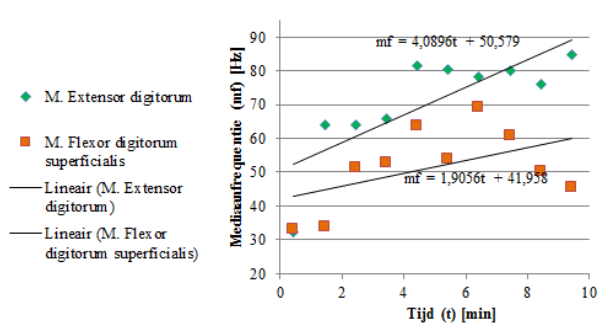
Mediaanfrequentie PPFT 6



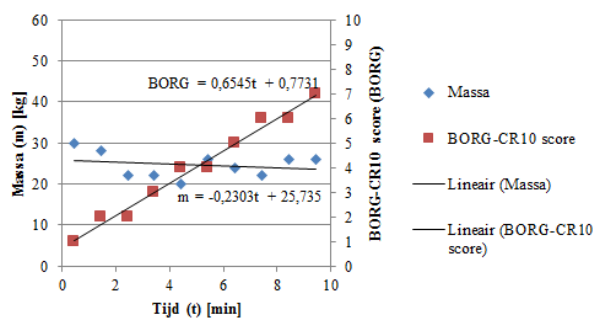
BORG-CR10 score en massa PPFT 6



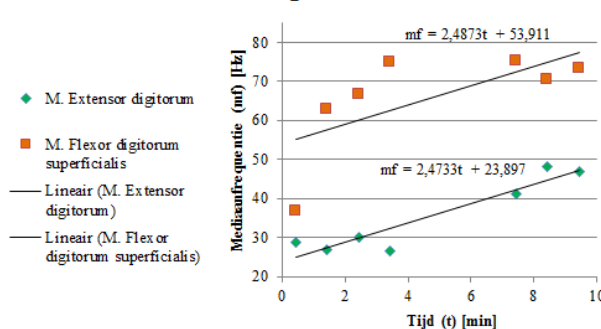
Mediaanfrequentie PPFT 7



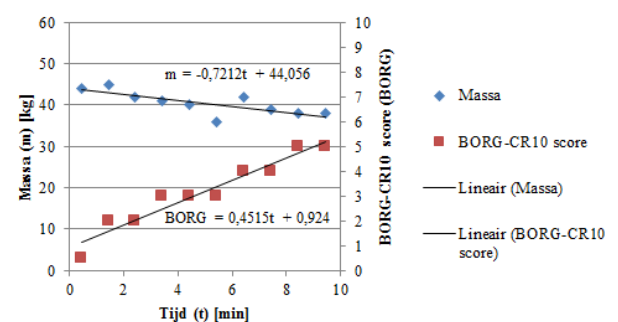
BORG-CR10 score en massa PPFT 7



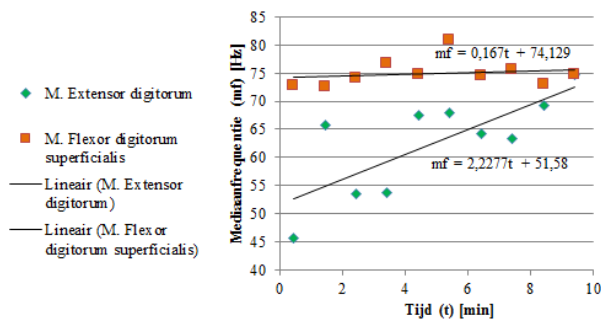
Mediaanfrequentie PPFT 8



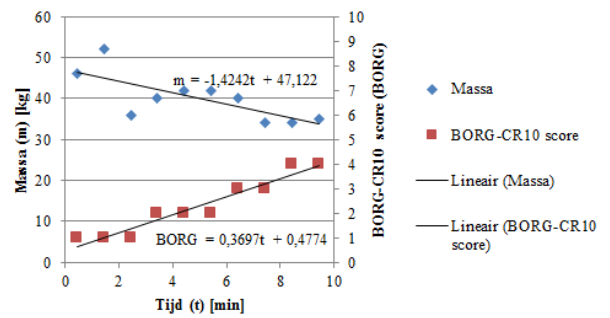
BORG-CR10 score en massa PPFT 8



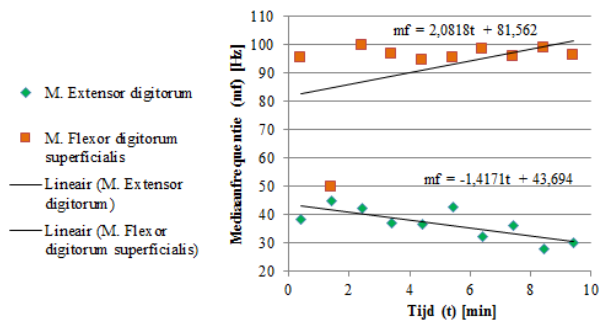
Mediaanfrequentie PPFT 9



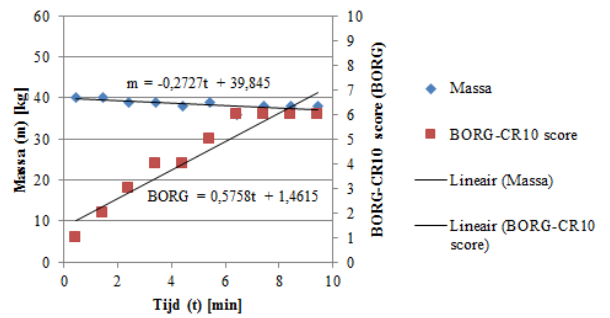
BORG-CR10 score en massa PPFT 9



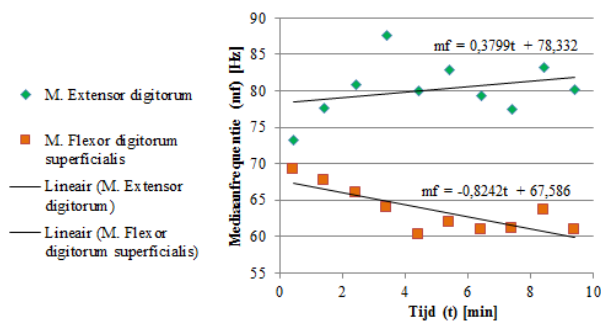
Mediaanfrequentie PPFT 10



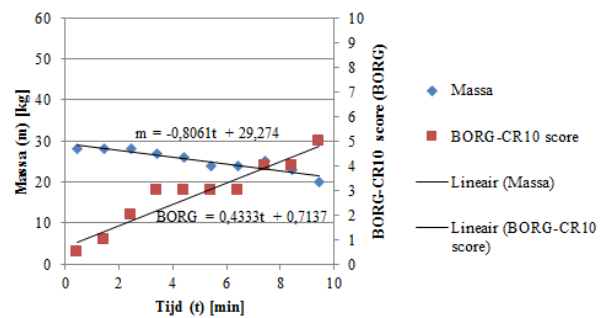
BORG-CR10 score en massa PPFT 10



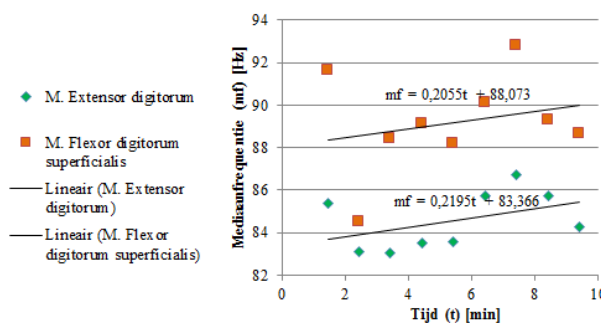
Mediaanfrequentie PPFT 11



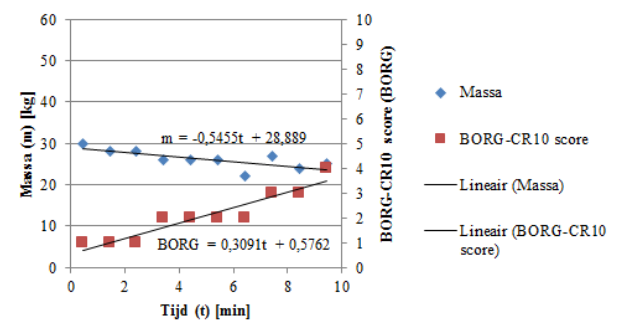
BORG-CR10 score en massa PPFT 11



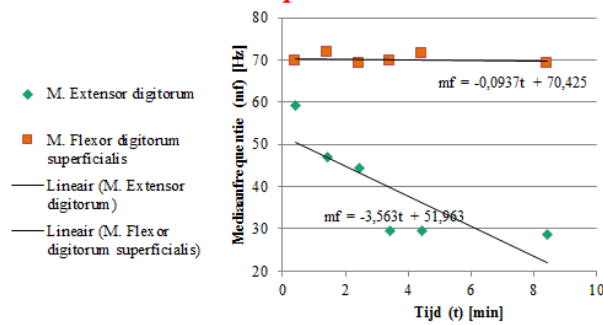
Mediaanfrequentie PPFT 12



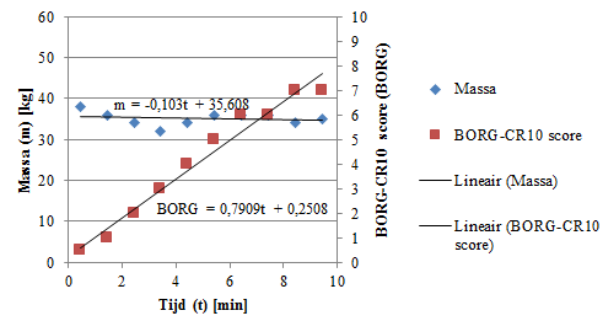
BORG-CR10 score en massa PPFT 12



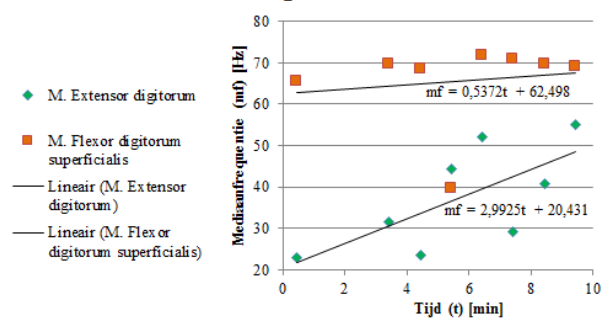
Mediaanfrequentie PPFT 13



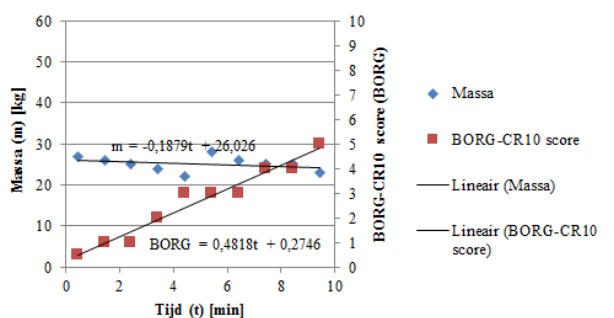
BORG-CR10 score en massa PPFT 13



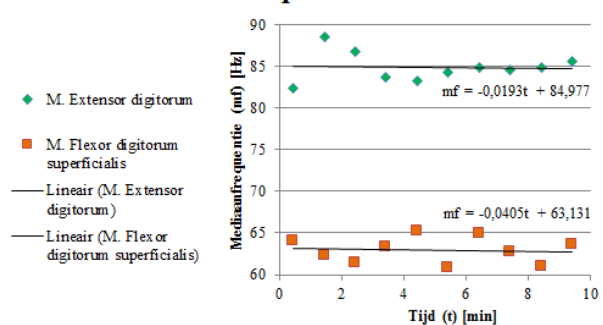
Mediaanfrequentie PPFT 14



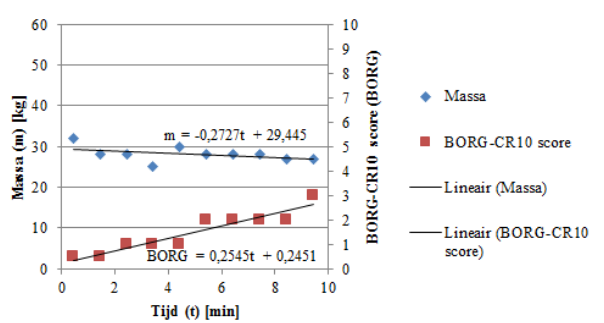
BORG-CR10 score en massa PPFT 14



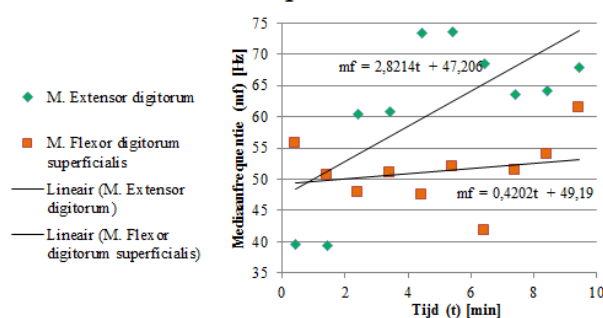
Mediaanfrequentie PPFT 15



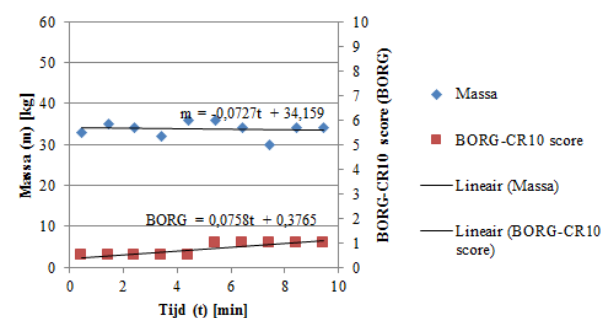
BORG-CR10 score en massa PPFT 15



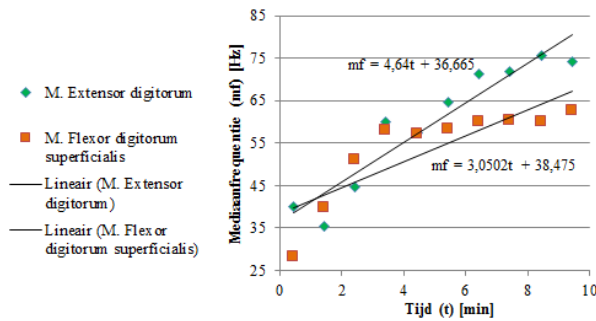
Mediaanfrequentie PPFT 16



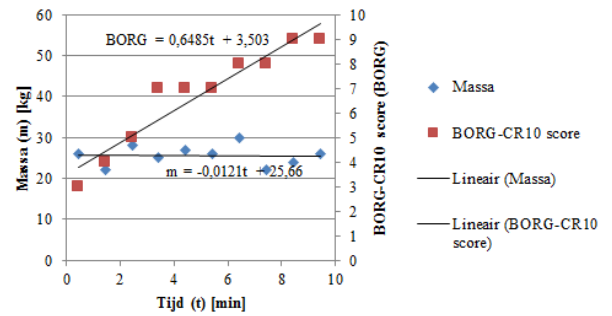
BORG-CR10 score en massa PPFT 16



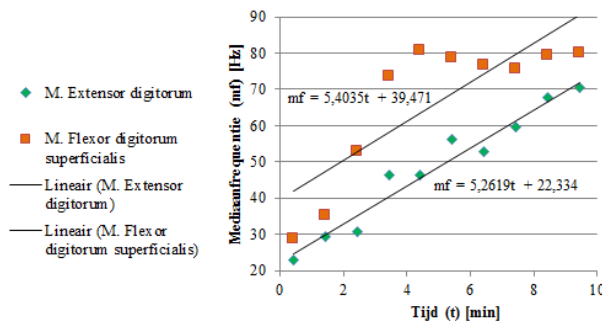
Mediaanfrequentie PPFT 17



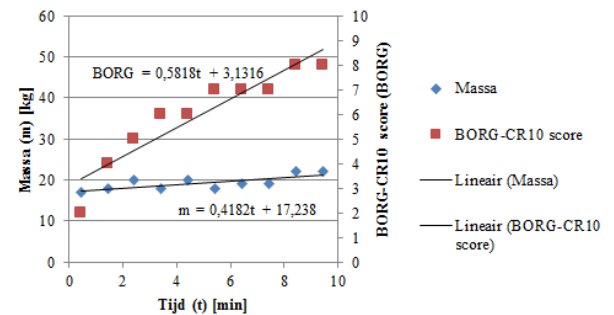
BORG-CR10 score en massa PPFT 17



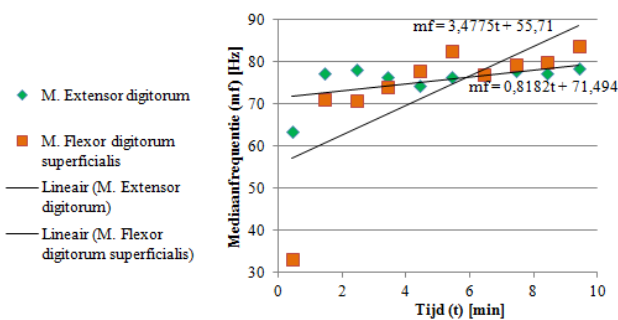
Mediaanfrequentie PPFT 18



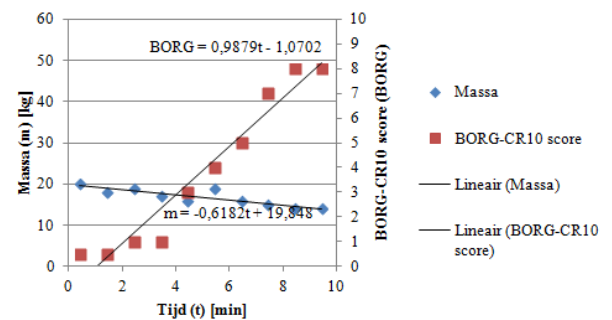
BORG-CR10 score en massa PPFT 18



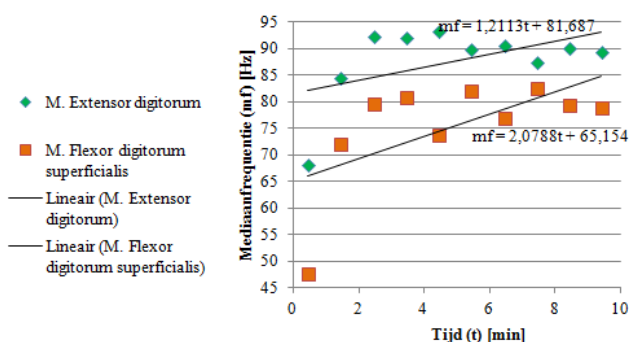
Mediaanfrequentie PPFT 19



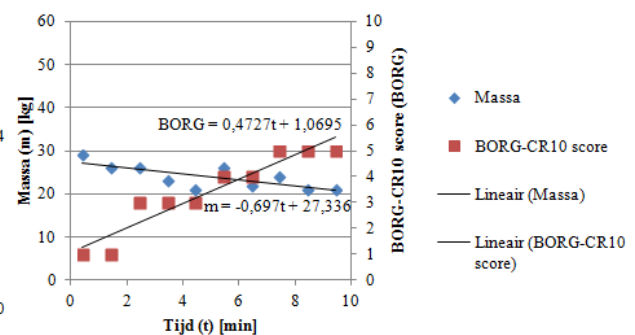
BORG-CR10 score en massa PPFT 19



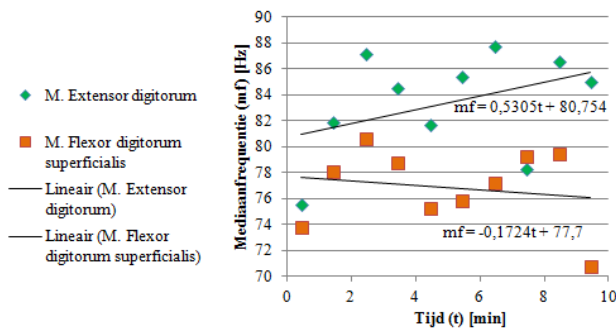
Mediaanfrequentie PPFT 20



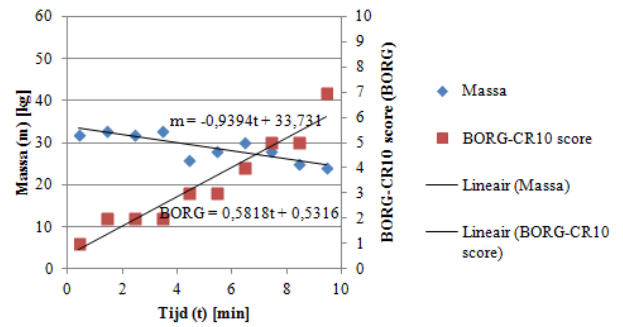
BORG-CR10 score en massa PPFT 20



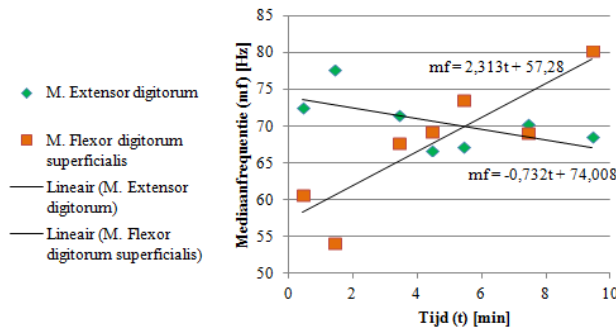
Mediaanfrequentie PPFT 21



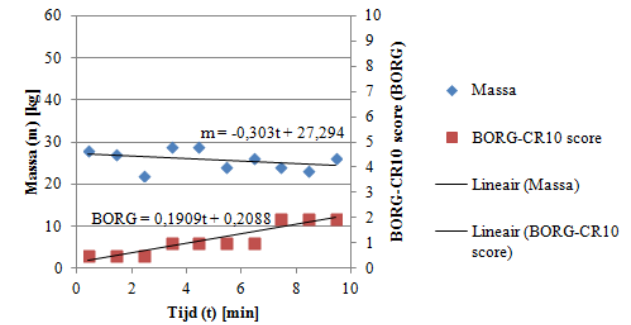
BORG-CR10 score en massa PPFT 21



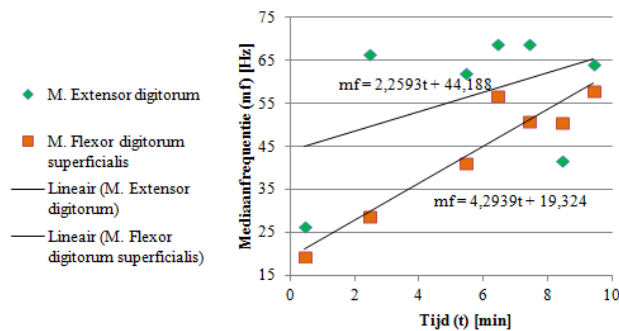
Mediaanfrequentie PPFT 22



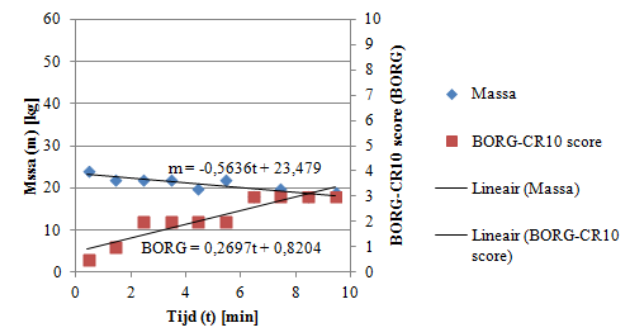
BORG-CR10 score en massa PPFT 22



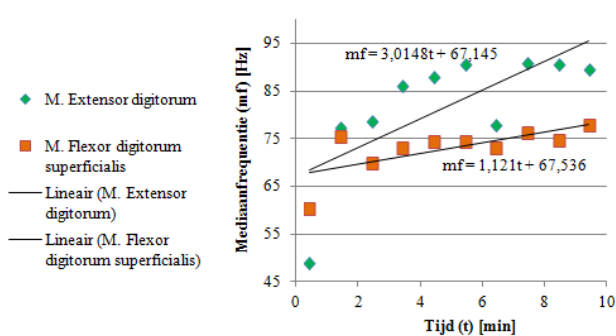
Mediaanfrequentie PPFT 23



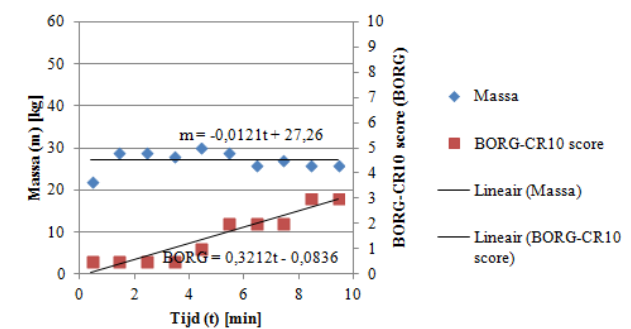
BORG-CR10 score en massa PPFT 23



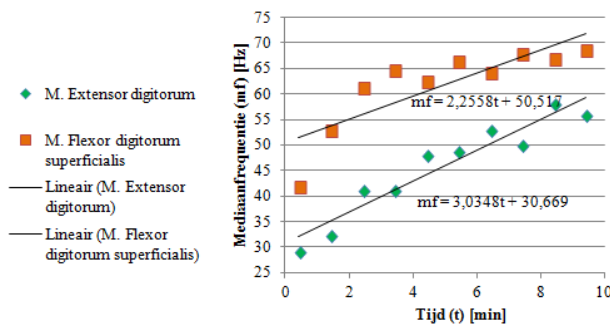
Mediaanfrequentie PPFT 24



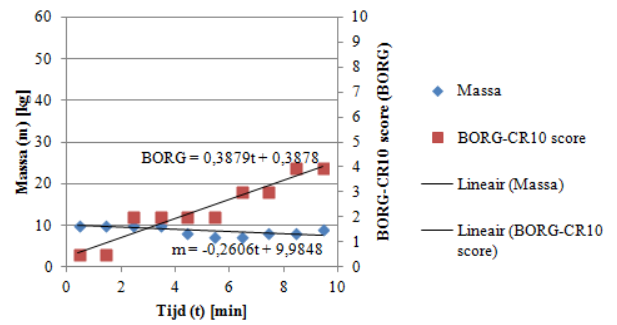
BORG-CR10 score en massa PPFT 24



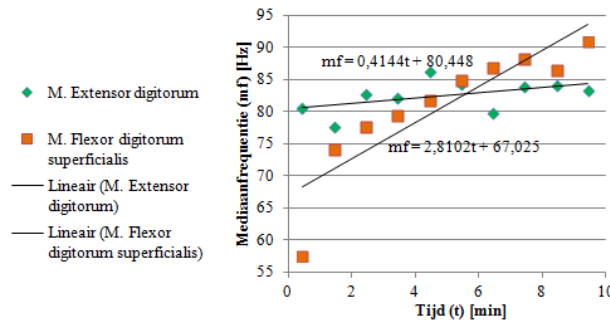
Mediaanfrequentie PPFT 25



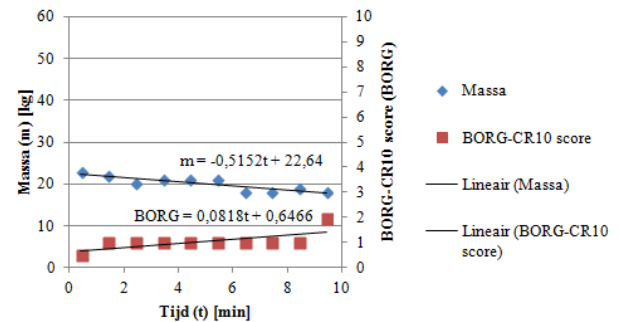
BORG-CR10 score en massa PPFT 25



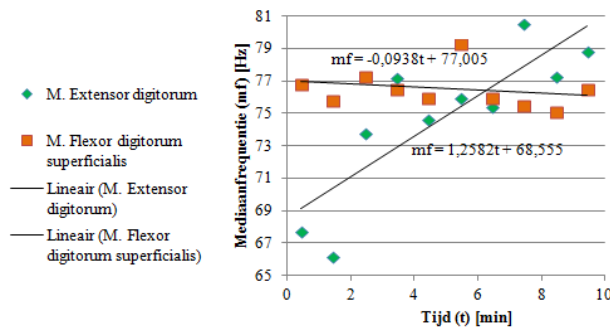
Mediaanfrequentie PPFT 26



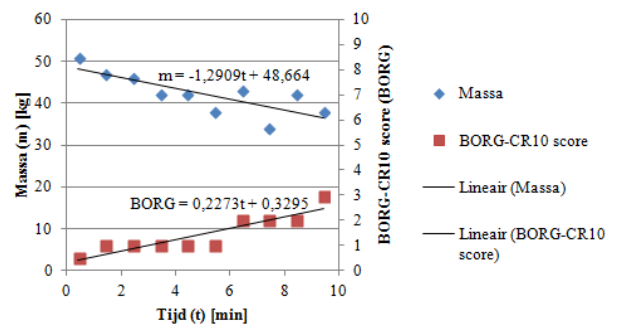
BORG-CR10 score en massa PPFT 26



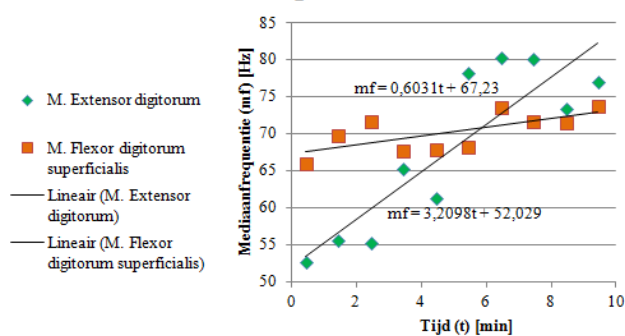
Mediaanfrequentie PPFT 27



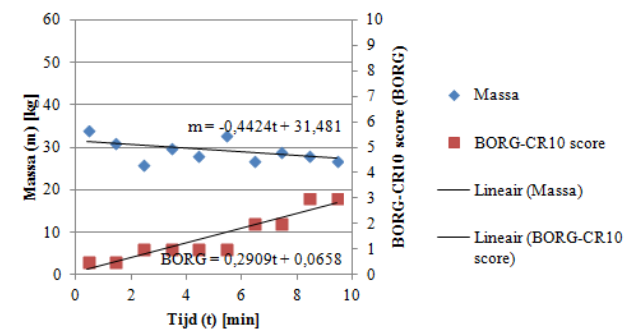
BORG-CR10 score en massa PPFT 27



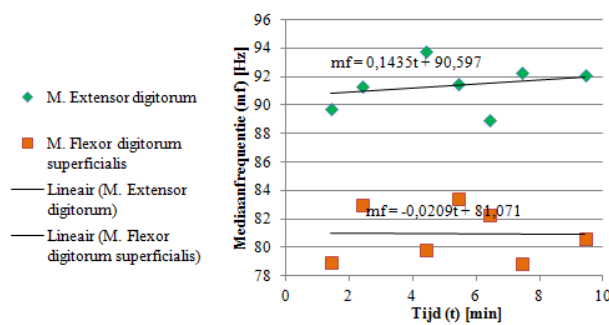
Mediaanfrequentie PPFT 28



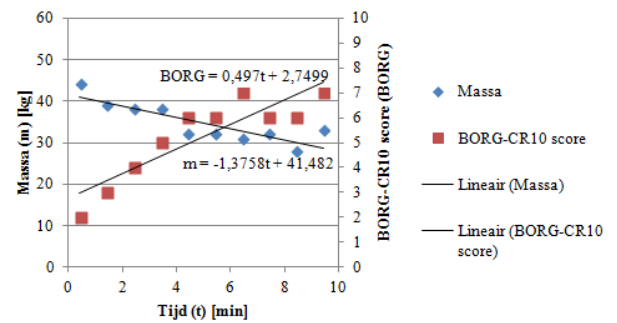
BORG-CR10 score en massa PPFT 28



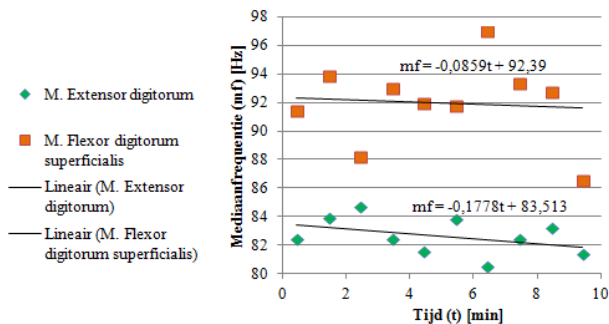
Mediaanfrequentie PPFT 29



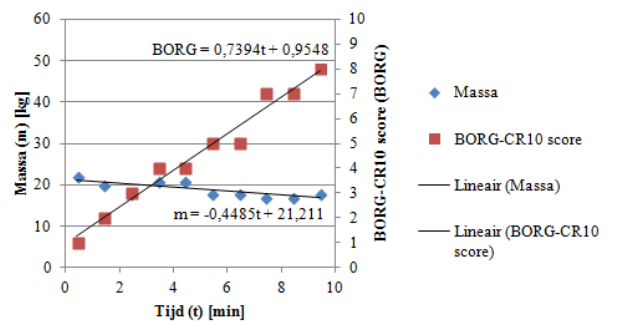
BORG-CR10 score en massa PPFT 29



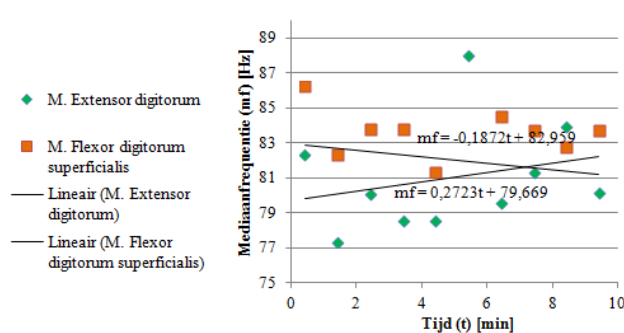
Mediaanfrequentie PPFT 30



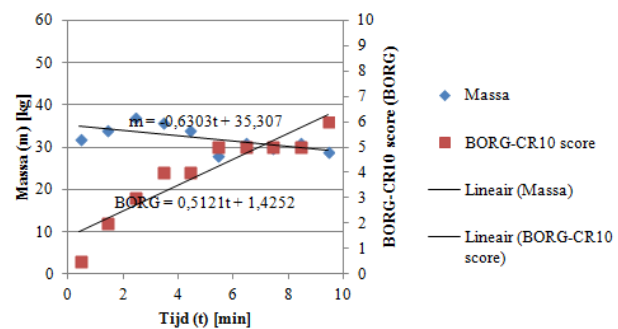
BORG-CR10 score en massa PPFT 30



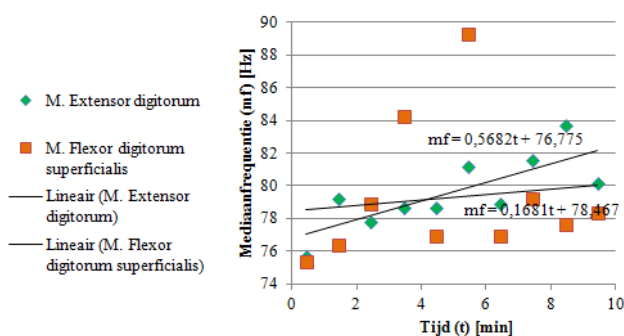
Mediaanfrequentie PPFT 31



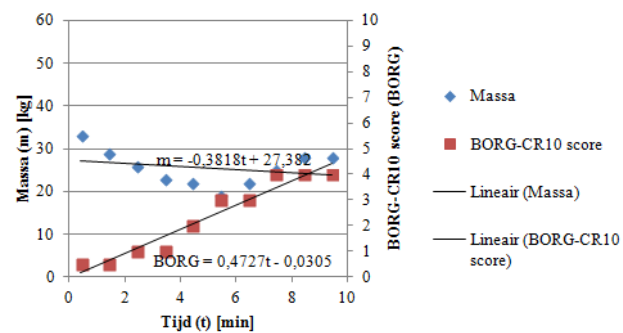
BORG-CR10 score en massa PPFT 31



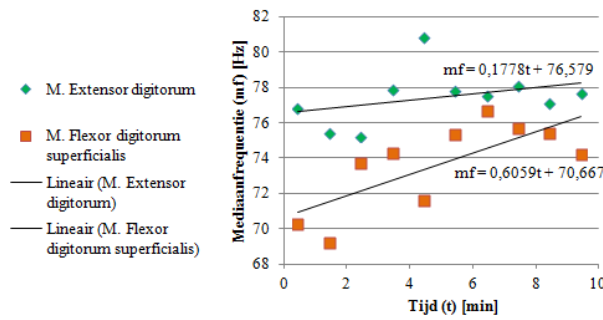
Mediaanfrequentie PPFT 32



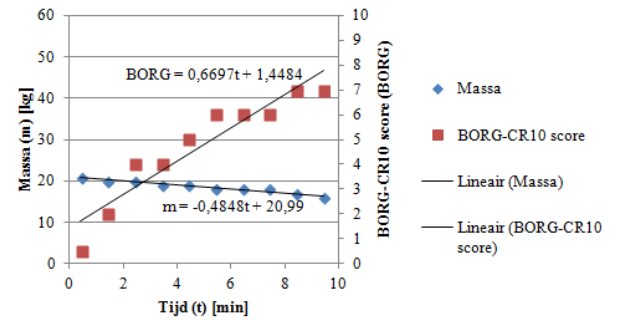
BORG-CR10 score en massa PPFT 32



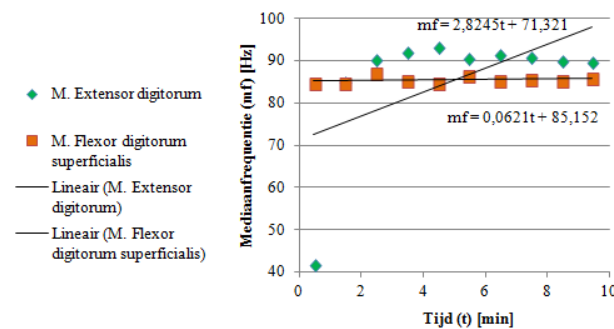
Mediaanfrequentie PPFT 33



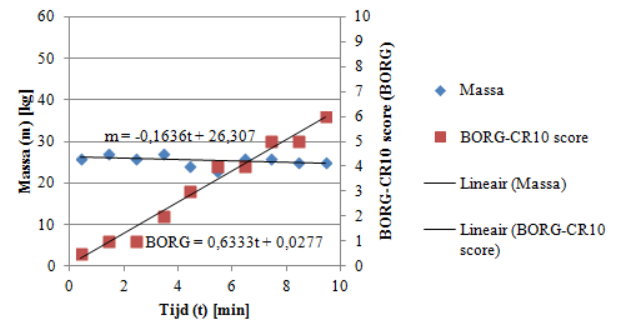
BORG-CR10 score en massa PPFT 33



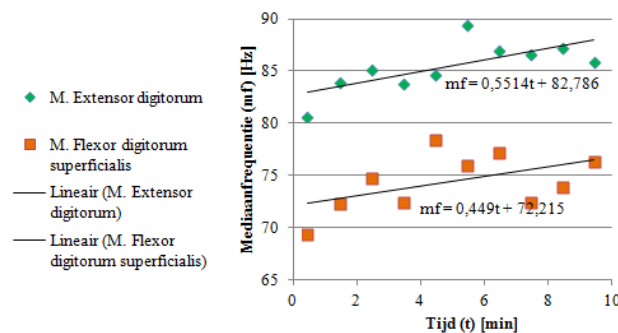
Mediaanfrequentie PPFT 34



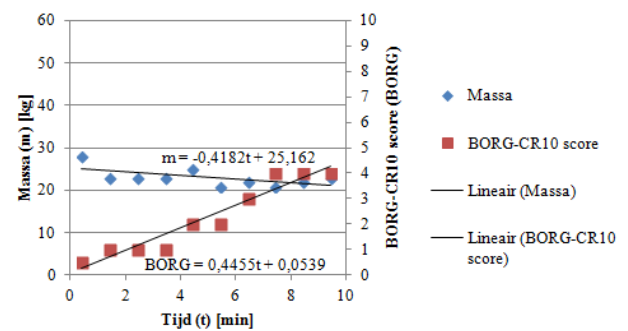
BORG-CR10 score en massa PPFT 34



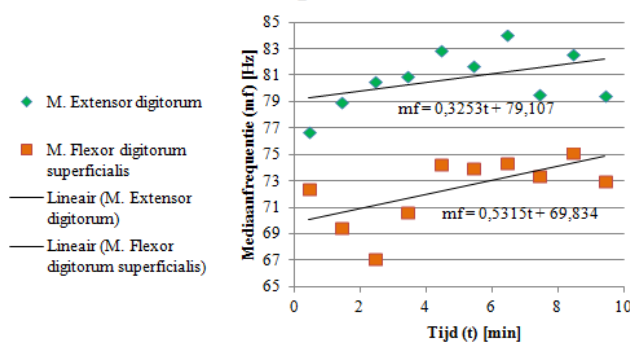
Mediaanfrequentie PPFT 35



BORG-CR10 score en massa PPFT 35



Mediaanfrequentie PPFT 36



BORG-CR10 score en massa PPFT 36

