

Oktober
28 | 2015

Range of motion van de spagaat

Jeroen Cozijnsen | 09029826



DE HAAGSE
HOGESCHOOL

Range of motion van de spagaat

Auteur: Jeroen Cozijnsen
Studentnummer: 09029826
E-mailadres: 09029826@student.hhs.nl

Opleiding: Bewegingstechnologie
Organisatie: De Haagse Hogeschool
Eerste begeleider: A.H. Lagerberg
Tweede begeleider: D. Wezenberg
Afstudeerperiode: maart tot en met oktober 2015
Den Haag 28 oktober 2015

1. Voorwoord

Het document wat voor u ligt is mijn afstudeerscriptie die ik heb geschreven voor de opleiding bewegingstechnologie. Het onderzoek heeft in totaal veertien weken in beslag genomen.

Na deze drukke periode wil ik van dit moment gebruik maken om een paar mensen te bedanken. Allereerst wil ik mijn afstudeerbegeleider Aad Lagerberg bedanken. Als ik ergens mee vast liep en bijna de moed had opgeven, gaf Aad mij nieuwe inzichten en nieuwe inspiratie om door te gaan. Daarnaast heb ik veel feedback en tips gekregen van mijn studiegenoot Xander van Kooten en mijn broer David Cozijnsen. Ook twee andere medestudenten van de opleiding bewegingstechnologie hebben mij geholpen bij proefmetingen: Pim Wisse en Stephanie van Cappellen. Vervolgens wil ik mijn proefpersonen bedanken. Door gebrek aan proefpersonen ben ik erg blij met de zes turnsters die ik heb mogen meten: Suzanne, Josie, Aya, Naomi, Tessa en Lianne. Als laatste maar zeker niet het minst wil ik Mark Schrauwen bedanken. Mark is de lab beheerder van het BT lab.

Ik heb deze opleiding met plezier gedaan en ik hoop dat u met enthousiasme dit onderzoeksrapport met mij meeleest.

Jeroen Cozijnsen

Den Haag, oktober 2015

2. Samenvatting

Naar aanleiding van een afstudeeropdracht voor de HBO studie Bewegingstechnologie is er in een periode van veertien weken onderzoek gedaan naar de spagaat. Hierbij staan twee hoofdvragen centraal. De eerste hoofdvraag betreft de overeenkomsten en verschillen in bewegingsuitslagen in het heupgewricht tussen een complete en incomplete spagaat. Daarnaast is gezocht naar een voorspellende range of motion test voor het compleet uit kunnen voeren voor een spagaat. Hiervoor zijn proefpersonen die wél de spagaat compleet kunnen uitvoeren vergeleken met de groep die deze spagaat niet kon uitvoeren. De verwachting was dat vooral de horizontale abductie, gemeten in een range of motion (ROM) test, hier een goede voorspeller in was.

Ten eerste werd een analyse van de spagaat uitgevoerd door middel van 3d camera's bij zes vrouwelijke turnsters. Hierbij werd vooral gekeken naar het heupgewricht, het kniegewricht, de wervelkolom en het enkelgewricht. De uitvoering van de spagaat werd tussen verschillende turnster vergeleken door middel van een (tophoek) score, wat een maat is voor het verschil met 180 graden die de benen maken. In het tweede gedeelte van het onderzoek werd door middel van ROM testen de lenigheid van de heup en wervelkolom bepaald. De uitslagen van deze ROM testen zijn vervolgens vergeleken met de eerdergenoemde tophoek score van de spagaat.

Uit dit onderzoek blijkt dat de belangrijkste overeenkomsten van de bewegingsuitslagen tussen een complete en incomplete spagaat in het voorwaarts gerichte been plaatsvinden, de abductie en de exorotatie. De grote verschillen echter worden gevonden in het achterwaarts gerichte been, namelijk de retroflexie en de abductie. Daarnaast zijn er vier ROM testen gevonden die een hoge correlatie hebben tussen de maximale bewegingsuitslag en de tophoek score.

Naar aanleiding van dit onderzoek is het aan te raden om een grotere vervolgstudie te doen naar de spagaat. Hierbij zou extra aandacht uit kunnen gaan naar het aantal proefpersonen. Komen de gevonden resultaten overeen bij een grotere populatie?

Uit het onderzoek is te concluderen dat de overeenkomsten tussen een compleet uitgevoerde spagaat en een incompleet uitgevoerde spagaat de abductie en exorotatie zijn in het naar voren gerichte been en endorotatie in achterwaartse been. De belangrijkste verschillen zijn de anteflexie in het voorwaartse been en retroflexie, abductie van het been dat naar achteren is gericht.

De gestelde hypothese dat de horizontale abductie een goede voorspellende waarde zou hebben, blijkt onjuist. Het is gebleken dat de anteflexie (met gestrekt been) van het heupgewricht, de abductie van het heupgewricht, de endorotatie van het heupgewricht en de totale rotatie in het wervelkolom (de thoracale rotatie plus de lumbale rotatie) de bewegingsuitslagen zijn die wel van voorspellende waarde zijn.

Inhoudsopgave

1. Voorwoord	4
2. Samenvatting	5
3. Figuren- en tabellenlijst	7
4. Inleiding	9
5. Methode	12
5.1 Meetgroep.....	12
5.2 Spagaat onderzoek.....	13
5.2.1 Beweging	14
5.2.3 Spagaat score.....	14
5.3 Geïsoleerde ROM testen	14
5.4 Dataverwerking en uitkomstmaten	16
5.4.1 Plane of elevation	16
5.4.2 Matlab.....	17
5.4.3 SPSS.....	17
6. Resultaten	18
6.1 Analyse spagaat	18
6.1.1 Rechter heup	18
6.1.2 Linker heup	18
6.1.3 Knieën	19
6.1.4 Wervelkolom	19
6.2 Complete spagaat vs. incomplete spagaat.....	20
6.3 Maximale ROM vs. tophoek score	23
7. Discussie.....	25
8. Conclusie	27
9. Literatuurlijst.....	28
10. Bijlage I.....	29
ROM testen	29
Bijlage II	40
Spagaat grafieken.....	40
ROM grafieken	51
Spagaat vs. score	66
Bijlage III	72
ROM testen	72
Bijlage III	84
Matlab scripten	84
Bijlage IV	99
Projectvoorstel.....	99
Competentieprofiel Jeroen	105

3. Figuren- en tabellenlijst

Afbeeldingen

Afbeelding 1 De tophoek is de hoek tussen de twee bovenbenen.

Afbeelding 2 Het verschil tussen de spagaat (geroteerde romp) en de split (romp recht).

Afbeelding 3 De lenigheid in een door poly-articulaire spieren overspannen keten.

Afbeelding 4 De lenigheid in een geïsoleerd gewricht. Er is een grotere anteflexie mogelijk.

Afbeelding 5 De spagaat als het bekken recht blijft staan. De retroflexie die gemaakt moet worden is anatomisch niet haalbaar.

Afbeelding 6 De spagaat als het bekken voor over gekanteld is. De retroflexie is nu wel haalbaar.

Afbeelding 7 Bovenaanzicht van de spagaat. De invloed van het draaien van het bekken.

Afbeelding 8 De clusters frontaal van de proefpersoon. Het linker been gaat naar voren bij de spagaat.

Afbeelding 9 De clusters dorsaal op de proefpersoon.

Afbeelding 10 Het globaal assenstelsel bij het uitvoeren van de spagaat.

Afbeelding 11 Plaatsing van de clusters bij de ROM testen in ruglig als het rechterbeen gemeten wordt.

Afbeelding 12 Het globaal assenstelsel bij de ROM testen.

Tabellen

Tabel 1 De gegevens van alle proefpersonen.

Tabel 2 De tophoek score per proefpersoon met het voorkeursbeen voor.

Tabel 3 De bewegingsuitslagen in de heup van het been dat naar voren gericht is bij de meest incomplete spagaat (proefpersoon 2) en de meest complete spagaat (proefpersoon 4).

Tabel 4 De bewegingsuitslagen in de heup van het been dat naar achteren gericht is bij de meest incomplete spagaat (proefpersoon 2) en de meest complete spagaat (proefpersoon 4).

Tabel 5 De gemiddelde bewegingsuitslagen in het naar voren gerichte been van de groep die een complete spagaat heeft uitgevoerd en de groep die een incomplete spagaat heeft uitgevoerd.

Tabel 6 De gemiddelde bewegingsuitslagen in het naar achteren gerichte been van de groep die een complete spagaat heeft uitgevoerd en de groep die een incomplete spagaat heeft uitgevoerd.

Tabel 7 De resultaten van de score tov de bewegingsuitslagen bij het maken van de spagaat. in dit tabel staan de resultaten van het voorste been.

Tabel 8 De resultaten van de score tov de bewegingsuitslagen bij het maken van de spagaat. in dit tabel staan de resultaten van het been dat naar achteren gaat.

Tabel 9 Alle ROM testen zijn genummerd van 1 t/m 12.

Tabel 10 De correlatie tussen de ROM testen de score van de proefpersonen.

Grafieken

Grafiek 1 De bewegingsuitslagen van de rechter heup bij een complete spagaat.

Grafiek 2 De bewegingsuitslagen van de linker heup.

Grafiek 3 De bewegingsuitslagen van het rechter kniegewricht.

Grafiek 4 De bewegingsuitslagen van het linker kniegewricht.

Grafiek 5 De bewegingsuitslagen tussen thoracaal en lumbaal.

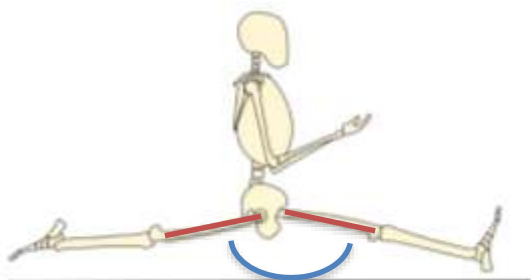
Grafiek 6 De bewegingsuitslagen tussen lumbaal en de pelvis.

Grafiek 7 De gemiddelde bewegingsuitslagen in het heupgewricht van het naar voren gerichte been. De blauwe staafdiagrammen geven de complete spagaat weer en de groene staafdiagrammen de incomplete spagaat.

Grafiek 8 De gemiddelde bewegingsuitslagen in het heupgewricht van het naar achteren gerichte been. De blauwe staafdiagrammen geven de complete spagaat weer en de groene staafdiagrammen de incomplete spagaat.

4. Inleiding

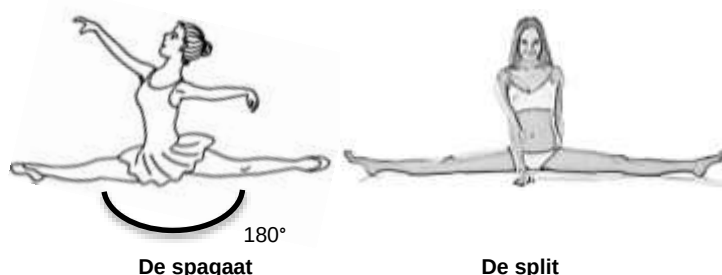
De spagaat (*gymnastic splits*) is een interessante beweging die niet iedereen beheerst. Volgens www.woorden.org wordt de spagaat gedefinieerd als: 'een gymnastische houding waarbij men het ene been plat en gestrekt naar voren steekt en het andere been plat en gestrekt naar achteren'. Op basis van deze beschrijving lijkt het er op dat de spagaat gemaakt wordt door het ene been in anteflexie te brengen en het andere been in retroflexie te brengen. Hierdoor komen de benen in het verlengde van elkaar en dat zorgt voor een hoek van 180° tussen beide benen, dit wordt de tophoek genoemd. De tophoek is de hoek tussen beide bovenbenen in het sagittale vlak, afbeelding 1.



Afbeelding 1 De tophoek is de hoek tussen de twee bovenbenen.

Als de romp voorwaarts gericht is (met andere woorden de verbindingslijn tussen de beide schouders staat haaks op de lengterichting van de benen) spreken we van een spagaat. Als deze verbindingslijn evenwijdig loopt met de benen, is er sprake van de split (straddle split), zie afbeelding 2. De split en/of de spagaat komen in veel turnonderdelen en in het ballet voor. In trainingen wordt al op jonge leeftijd veel aandacht besteed aan het “rekken en strekken” om de uitvoering te verbeteren. Er is immers een grote lenigheid vereist. Een dergelijke training heeft echter grenzen. Het maken van een spagaat is ook met intensieve training niet voor iedereen weggelegd. Uit gesprekken met verschillende coaches kan een succesvolle spagaat gedefinieerd worden als een houding waarbij een been naar voren ligt en het andere been naar achteren. In een perfecte spagaat liggen zowel het voorste als het achterste been geheel op de grond, met de knieschijf van het voorste been recht omhoog en de knieschijf van het achterste been naar beneden. Het bekken dient hierbij zo min mogelijk te roteren en dus zoveel mogelijk in het frontale vlak te blijven. Ook is het noodzakelijk dat de voet van het voorste been in plantairflexie staat.

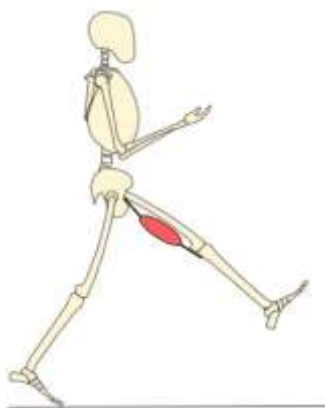
Bij het maken van de spagaat zijn er voornamelijk extreme bewegingen in het heupgewricht, het kniegewricht, het thoracale deel van de rug, het lumbale deel van de rug, en het enkel gewricht.



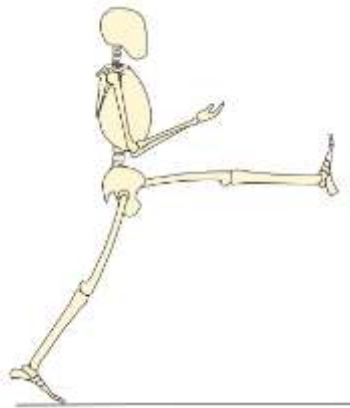
Afbeelding 2 Het verschil tussen de spagaat (geroteerde romp) en de split (romp recht).

De beschrijving van het woordenboek stuit echter op een aantal anatomische bezwaren. De beschrijving suggereert dat de tophoek van 180 graden tot stand komt door een evenredige flexie en extensie in de heupen. In 1968 beschrijft Rozendal echter de algemeen geaccepteerde opvatting dat vanuit de anatomische stand de extensie in het heupgewricht maximaal 13 graden is. Dat is aanzienlijk veel kleiner dan de maximale flexie die 120 graden is (Rozendal, 1968). De tophoek kan dan dus (bij gemiddeld lenige mensen) nooit groter zijn dan 133 graden. De flexie die Rozendal bedoelt is de maximale anatomische anteflexie, zonder rekening te houden met poly-articulaire spieren.

Anatomisch gezien zijn er twee beperkende factoren om een spagaat succesvol uit te voeren: de lenigheid in een door poly-articulaire spieren overspannen keten en de lenigheid in een geïsoleerd gewricht, zie afbeelding 2 en 3. Als er rekening wordt gehouden met de poly-articulaire spieren (de hamstrings), dan is bij gemiddeld lenige mensen de maximale anteflexie maar 50 graden (Lagerberg, 2000).

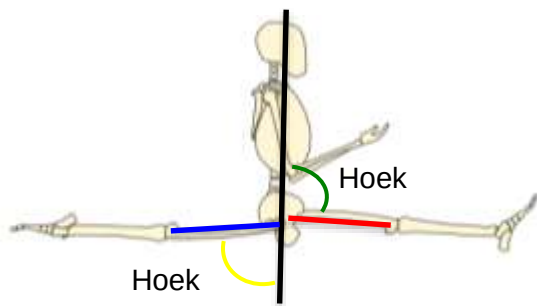


Afbeelding 3 De lenigheid in een door poly-articulaire spieren overspannen keten.

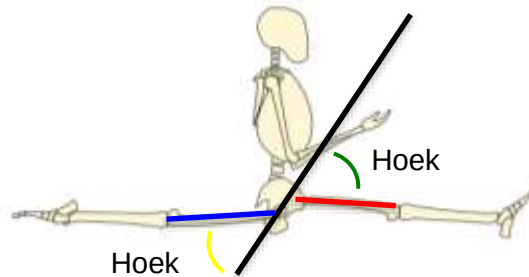


Afbeelding 4 De lenigheid in een geïsoleerd gewricht. Er is een grotere anteflexie mogelijk.

Door de beperkte retroflexie is het noodzakelijk dat bij het uitvoeren van de spagaat het bekken voorover gekanteld is. Hierdoor kan het been naar achter plat op de grond liggen. Dit principe is weergegeven in afbeelding 5 en 6. In afbeelding 5 is de situatie te zien als het bekken niet kantelt. De zwarte lijn geeft de rotatie van het bekken weer. De retroflexie hoek (hoek a) is te groot om in werkelijkheid gemaakt te kunnen worden. Daarom kan worden geconcludeerd dat het bekken voorover gekanteld moet worden, afbeelding 6. Het gevolg hiervan is dat hoek b van het voorwaarts gerichte been kleiner wordt. Dit betekent dat er een grotere anteflexie gemaakt moet worden. Om de hoek van 180° te bereiken zijn er dus hoogstwaarschijnlijk andere bewegingsrichtingen nodig.



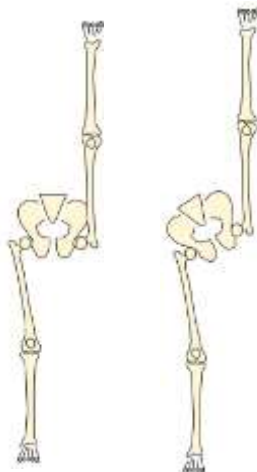
Afbeelding 5 De spagaat als het bekken recht blijft staan. De retroflexie die gemaakt moet worden is anatomisch niet haalbaar.



Afbeelding 6 De spagaat als het bekken voor over gekanteld is. De retroflexie is nu wel haalbaar.

De turnsters en dansers die de spagaat doorgaans maken zijn over het algemeen veel leniger dan de gemiddelde mens. Irurtia, Busquets, Carrasco, Ferrer, en Marina hebben in 2010 de verandering van de lenigheid gevolgd van 15 turners. Hierbij is er voornamelijk gekeken naar de tophoek. De tophoek in dit onderzoek is berekend met behulp van de beenlengte en de afstand van de grond tot aan het bekken. Het resultaat is een tophoek bij de spagaat van 172.0 ± 8.7 graden. Bij de oefeningen is bij het gestrekt heffen van het been geen rekening gehouden met het meekantelen van het bekken (Irurtia et al, 2010). Daardoor is alleen de totale lenigheid bepaald en niet per gewricht. Op deze manier is niet te bepalen welke lenigheid uit het heupgewricht wordt gehaald en welke lenigheid uit de rug.

Als een grote anteflexie niet gemaakt kan worden, is een andere logische compensatie om het bekken te draaien om een longitudinale as. Indien het been ruimtelijk gezien nog steeds naar voren wordt gebracht, vindt dit niet langer plaats via zuivere anteflexie. Door het draaien van het bekken wordt dit voor het naar voren gericht been nu een combinatie van flexie en (horizontale) abductie. In afbeelding 6 staat weergegeven wat de invloed is van het draaien van de pelvis.



Afbeelding 7 Bovenaanzicht van de spagaat. De invloed van het draaien van het bekken.

Door het draaien en het kantelen van het bekken is uitsluitend het meten van de tophoek in het sagittale vlak niet voldoende om de spagaat goed in kaart te brengen. Daarom is het interessant om de spagaat in kaart te brengen met een 3d studie. Hiermee kan nauwkeurig

gekeken worden hoeveel lenigheid er nodig is in welk gewricht. Wat zich werkelijk afspeelt in de diverse betrokken gewrichten is nog nauwelijks onderzocht. Het zoeken van literatuur op Pubmed met de zoektermen “split kinematics”, “splits”, “gymnastics split” [Mesh gymnastics and split] en “biomechanical analysis split” laat zien dat er tot op heden geen 3d studies zijn gepubliceerd met betrekking tot de spagaat. Er werden wel meerdere onderzoeken gevonden waarbij de hoogte van de heup werd gemeten als maat voor de volledigheid van de spagaat, wat niet als 3d studie werd gerekend.

Wat zijn de bepalende factoren om de spagaat uit te voeren? Om antwoord te vinden op deze vraag worden in dit onderzoek een aantal turnsters die de spagaat beheersen en een aantal turnsters die de spagaat (nog) niet volledig beheersen met elkaar vergeleken. Met behulp van een 3d optokinetisch systeem worden de optredende bewegingen in de onderste extremiteit en de lumbale wervelkolom bij het uitvoeren van een spagaat vastgelegd. Tevens worden er testen uitgevoerd om de maximale ROM van de betrokken gewrichten vast te stellen. Met behulp van die informatie wordt een antwoord gezocht op de volgende vragen:

Wat zijn qua bewegingsuitslagen in de heupgewrichten de overeenkomsten en verschillen tussen turnsters die een complete spagaat kunnen maken en turnsters die de spagaat niet volledig beheersen?

Is er een geïsoleerde maximale ROM test die een goede voorspeller is voor de uitvoering van de spagaat?

Het is de verwachting dat de horizontale abductie, zoals gemeten met de ROM test, een positieve voorspellende waarde geeft voor de compleetheid van de spagaat. Hierbij is horizontale abductie de combinatie van het tegelijkertijd uitvoeren van anteflexie en abductie. Het wordt verwacht dat het niet tegelijkertijd kunnen uitvoeren van deze twee bewegingen leidt tot een incomplete spagaat.

5. Methode

5.1 Meetgroep

De meetgroep bestond uit 6 turnsters van verschillende niveaus en verschillende turnverenigingen. In tabel 1 staat de informatie van elke proefpersoon. Hierbij wordt het voorkeursbeen gezien als het been dat de proefpersoon zonder na te denken als eerste naar voren zou doen.

Tabel 1 De gegevens van alle proefpersonen.

Proefpersoon	Leeftijd	Voorkeursbeen	Turn ervaring
Pp 1	9	Links	2
Pp 2	21	Rechts	5 jaar niet geturnd
Pp 3	22	Links	12 jaar
Pp 4	14	Rechts	6
Pp 5	21	Links	12
Pp 6	17	Rechts	9

Het onderzoek bestond uit twee onderdelen. Allereerst werd de spagaat onderzocht, waarbij de ROM van de relevante gewrichten gemeten werd. Vervolgens werden de maximale bewegingsuitslagen gemeten door middel van fysiotherapeutische testen.

5.2 Spagaat onderzoek

De spagaat werd geanalyseerd met behulp van het 3d camera systeem 'Optitrack Motion Capture System'. De metingen werden verricht in het 'B&A lokaal' van de opleiding Bewegingstechnologie. Om de bewegingen die optreden in de heupgewrichten tijdens de spagaat te kunnen beschrijven volstaat het om clusters aan te brengen op het bekken en beide bovenbenen. In verband met de wens om een compleet beeld van de bewegingsuitvoering te krijgen is echter besloten om ook andere relevante gewrichten te meten. De overige relevante gewrichten zijn: het heupgewicht, het kniegewricht, de wervelkolom en het enkelgewricht. Voor de meting werden clusters met reflecterende ronde markers aangebracht op de proefpersoon. Om te meten wat er in de relevante gewrichten gebeurt, werden er clusters geplaatst op de volgende plaatsen op het lichaam:

- Op het **bekken** en het **bovenbeen**; om de hoeken van het heupgewricht te meten
- Op **onderbeen**; tezamen met het cluster op het bovenbeen is dit een maat voor de knie hoek.
- Op de **voetwreef**; samen met het cluster op het onderbeen kan de hoek van het enkelgewricht bepaald worden.
- Op **lumbaal** ter hoogte van L1 en **thoracaal** tussen de schouderbladen. Samen met het cluster op het bekken werd op deze manier de wervelkolom in kaart gebracht.

De plaatsing van de clusters verschilde per been. Op het been dat naar voren is gericht, werden de clusters frontaal bevestigd. Op het achterste been werden de clusters dorsaal geplaatst. In afbeelding 8 en 9 zijn de locaties van de markers te zien van zowel frontaal als dorsaal. De afgebeelde proefpersoon deed bij het uitvoeren van de spagaat haar linker been naar voren.

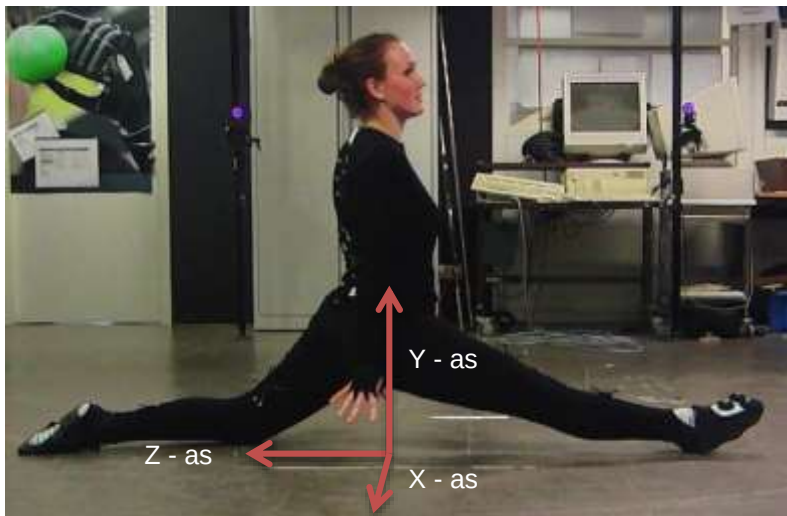


Afbeelding 8 De clusters frontaal van de proefpersoon. Het linker been gaat naar voren bij de spagaat.



Afbeelding 9 De clusters dorsaal op de proefpersoon.

De oriëntatie van het globaal assenstelsel van het Optitrack systeem is weergegeven in afbeelding 10.



Afbeelding 10 Het globaal assenstelsel bij het uitvoeren van de spagaat.

5.2.1 Beweging

De testpersoon begon in een rechtopstaande referentiepositie. Bij de start van de meting bleef de testpersoon 5 seconden rechtop staan. Vervolgens werd de spagaat gemaakt, zoals de testpersoon dit normaal gesproken ook doet. Na 5 seconden in de uiterste stand gezeten te hebben, werd de meting gestopt en mocht de proefpersoon weer gaan staan. De spagaat is zowel met het voorkeursbeen naar voren uitgevoerd, als met het niet voorkeursbeen naar voren. De beweging werd per testpersoon in totaal 6x uitgevoerd, 3x met het voorkeursbeen voor en 3x met het niet voorkeursbeen naar voren.

5.2.3 Spagaat score

Om een vergelijking te maken tussen verschillende proefpersonen werd voor welke individuele proefpersoon een score aan de spagaat gegeven. Deze score is een maat voor hoe volledig de spagaat is uitgevoerd. Een volledige spagaat wordt hierbij gedefinieerd als een tophoek van 180 graden, waarbij de benen in het verlengde van elkaar liggen. Het verschil in de tophoek met deze 180 graden geeft aan hoe onvolledig de spagaat werd uitgevoerd en geeft een lagere score.

5.3 Geïsoleerde ROM testen

De maximale bewegingsmogelijkheden van de relevante gewrichten die meespelen bij de spagaat werden gemeten door middel van lenigheidstesten. Deze testen zijn gebaseerd op bestaande fysiotherapeutische testen welke reeds eerder zijn beschreven (fysiovaardig (2015)). De lenigheid werd eveneens gemeten met de Optitrack 3d camera's. Alle testen werden uitgevoerd op een behandeltafel waar de testpersoon op ligt. De flexie en rotatie testen van de wervelkolom werden staand gemeten.

De volgende bewegingen werden gemeten:

Heup:

- Anteflexie/retroflexie
- Abductie/adductie
- Exorotatie/endorotatie
- Horizontale abductie

Wervelkolom:

- Flexie
- Rotatie

De testen van de heup werden passief uitgevoerd. De maximale anteflexie werd met een gestrekte knie gemeten. De wervelkolomtesten waren actief uitgevoerd door de proefpersoon zelf.

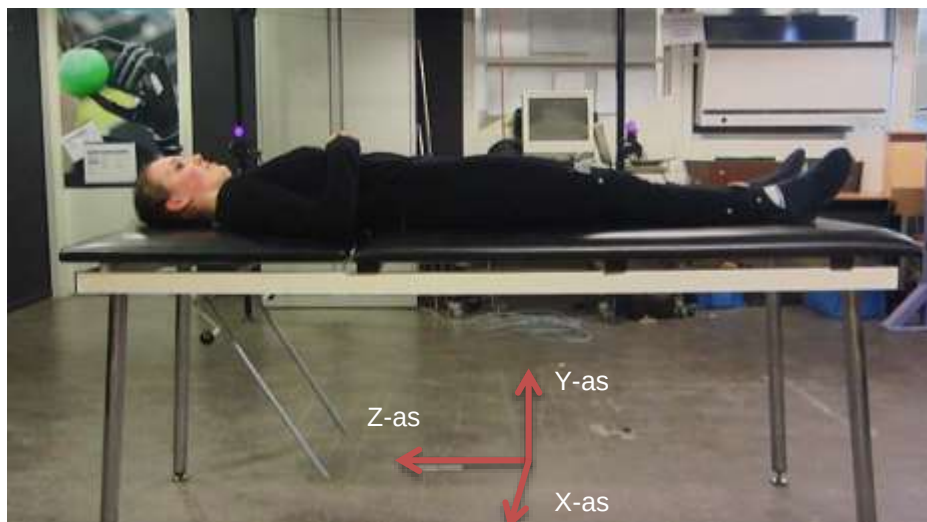
In bijlage I staan alle lenigheidstesten uitgebreid weergegeven en beschreven.

Doordat de lenigheid gemeten wordt met 3d camera's is het niet noodzakelijk dat het bekken wordt gefixeerd, wat wel nodig zou zijn bij gelijksoortige metingen met een goniometer. De camera's registreren de bewegingen van zowel het been als het bekken. Vervolgens werd het programma Matlab gebruikt om de hoeken te bepalen.

In afbeelding 11 is te zien waar de clusters geplakt worden voor de ROM testen van de heup in ruglig. Dezelfde cluster opstelling wordt gebruikt voor de lenigheidstest van de retroflexie, maar dan aan de achterzijde van het been. Afbeelding 13 toont het globale assenstelsel met daarin de behandeltafel. De x-as loopt horizontaal, de y-as verticaal en de z-as loop over de grond haakt op x-as. De ROM testen vinden plaats in een ander vlak dan de spagaat. Hierdoor is anteflexie nog steeds om de x-as, maar ab-/adductie en exo-/endorotatie zijn gedefinieerd om een andere as.



Afbeelding 11 Plaatsing van de clusters bij de ROM testen in ruglig als het rechterbeen gemeten wordt.



Afbeelding 12 Het globaal assenstelsel bij de ROM testen.

5.4 Dataverwerking en uitkomstmaten

5.4.1 Plane of elevation

De tophoek is bij een 3d studie niet simpelweg te berekenen door de anteflexie van het voorste been te nemen en de retroflexie van het achterste been. Ook (horizontale) abductie kan immers bijdragen aan de totstandkoming van de tophoek. Dit komt omdat het bekken ruimtelijk gezien gedraaid kan worden. Daardoor wordt er een combinatie gemaakt van anteflexie en abductie. Het berekenen van de tophoek door de anteflexie en retroflexie bij elkaar op te tellen is onder die omstandigheden niet juist. Alleen als de benen ten opzichte van het bekken in zuivere anteflexie bewegen (als bij de spagaat het bekken zuiver frontaal

zou blijven staan) bestaat de tophoek uit pure anteflexie en retroflexie. In het theoretische geval waarin het bekken 90 graden geroteerd wordt (om een longitudinale as) bestaat de spagaat echter uit zuivere ab- en adductie. De hoek van de anteflexie en retroflexie is dan nul, terwijl er wel degelijk een tophoek is ontstaan. Daarom is er gebruik gemaakt van het principe 'plane of elevation'. Hierbij wordt eerst de rotatie van het been bepaald (om een longitudinale as). Vervolgens wordt na de rotatie bekeken hoeveel graden het been heft (elevation). De totale tophoek is berekend door de elevatie van beide benen bij elkaar op te tellen. De decompositie die nodig om de 'plane of elevation' te bepalen is $z \times z$ (plane of elevation, elevation, rotation). De decompositie om de data van de spagaat te analyseren is flexie, abductie, rotatie. Ook voor de maximale ROM testen is de decompositie flexie, abductie, rotatie gebruikt.

5.4.2 Matlab

De data uit het Optitrack systeem is verwerkt door middel van een Matlab script. De ruwe data is gefilterd met een vierde orde butterworth low-pass filter. Vervolgens zijn met behulp van de markers op de clusters lokale assenstelsels gedefinieerd. De hoeken tussen deze lokale assenstelsels in de startpositie (rechttopstaand) zijn vervolgens op 0 graden gesteld. Met behulp van de rotatiematrices die per cluster en per frame van de opname bekeken zijn werden vervolgens de onderlinge hoekstanden van de clusters tijdens de bewegingen berekend. De hoeken zijn vervolgens omgezet naar graden. Van elk gewricht is een grafiek gemaakt. In het geval dat er markers onzichtbaar werden tijdens de meting is in de Optitrack software de functie 'gap fill' gebruikt. Gaps van maximaal 20 frames zijn opgevuld. In de bijlage is het gehele script te vinden. Er zijn twee verschillende scripts gebruikt: een script voor de analyse van de spagaat en een script voor de ROM testen. Deze twee scripts zijn over het algemeen hetzelfde, alleen het aantal clusters verschilt.

5.4.3 SPSS

De statistiek is uitgevoerd met behulp van IBM SPSS software. De correlatie en significantie tussen de tophoek score van de spagaat en de maximale bewegingsuitslagen van de ROM testen is bepaald met een pearson correlatie toets die vervolgens in het kwadraat is gezet (R^2). De correlatie toets is apart uitgevoerd voor elke ROM test.

Om de optredende bewegingen in het heupgewricht bij de succesvolle spagaat te vergelijken met een incomplete spagaat zijn alle turnsters verdeeld in twee groepen (succesvolle en niet succesvolle spagaat). Per groep is het gemiddelde en de standaard deviatie in de heup bepaald. De gemiddelde van de twee groepen zijn vervolgens met elkaar vergeleken door middel staafdiagrammen. Ook zijn de correlatie en significantie bepaald tussen de bewegingsuitslagen in de heup bij de uitvoering van de spagaat en de tophoek score bepaald.

6. Resultaten

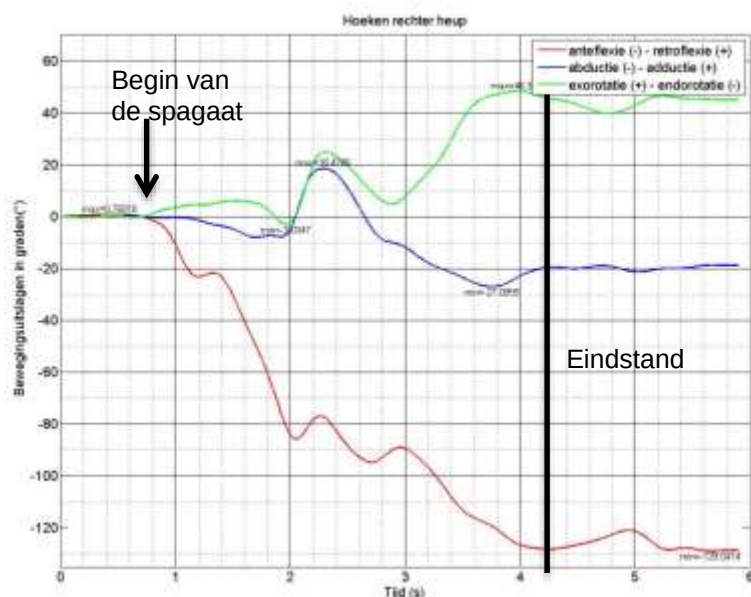
De resultaten zullen hieronder worden besproken aan de hand van drie analysethema's. Ten eerste zal, om een beeld te geven van een typische spagaat, worden gekeken naar de testuitslagen van een proefpersoon die in staat was een complete spagaat uit te voeren. Vervolgens zullen meerdere proefpersonen worden vergeleken, waarbij het verschil tussen een complete en een incomplete spagaat centraal staat. Door hier een score aan te verbinden zal een vergelijking worden gemaakt tussen de verschillende proefpersonen in dit onderzoek. Tenslotte worden de maximale ROM testen vergeleken met de spagaat score van de proefpersonen. Overige grafieken van de resultaten zijn te vinden in de bijlage.

6.1 Analyse spagaat

Voor de analyse van de spagaat zijn de verschillende gewrichten gemeten welke bewegingen worden gemaakt tussen de begin- en eindstand. De resultaten van deze metingen laten zien dat proefpersoon 4 het meest van alle proefpersonen in staat is een complete spagaat te maken. Het wordt derhalve aangenomen dat de meetgegevens van deze proefpersoon het beste overeenkomen met een daadwerkelijke complete spagaat.

6.1.1 Rechter heup

De proefpersoon voerde een spagaat uit. De uitslag van het rechter heup gewricht wordt weergegeven in grafiek 1. De rechter heup is het been dat ruimtelijk gezien naar voren gericht is. De pijl en de zwarte verticale lijn laten respectievelijk het begin- en eindpunt van de spagaat zien. Uit grafiek 1 blijkt dat er een redelijk constante anteflexie plaats vindt van 0 tot 129 graden. Halverwege wordt een kortdurende adductie gemaakt, waarna de beweging eindigt in een abductie van ongeveer 20 graden. Het been is flink geëxoroteerd (40 graden) in de eindstand.

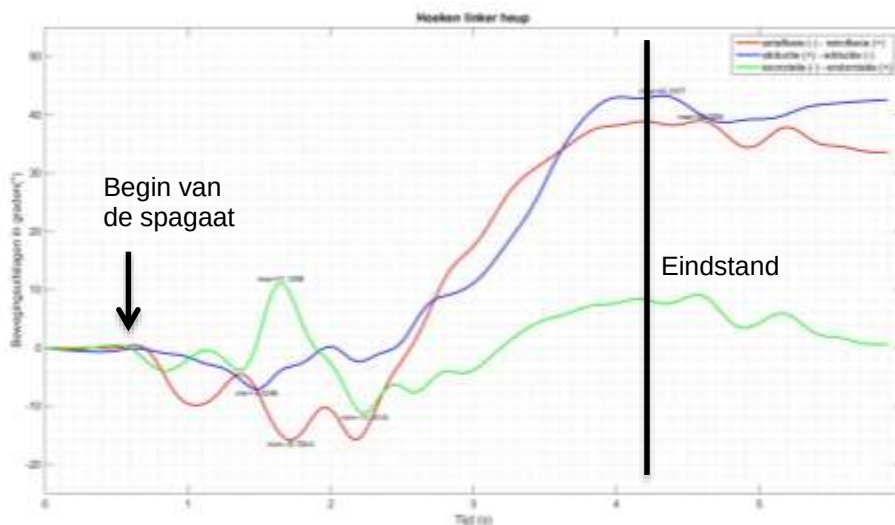


Grafiek 1 De bewegingsuitslagen van de rechter heup bij een complete spagaat.

6.1.2 Linker heup

De uitslag van het linker heupgewricht is weergegeven in grafiek 2. Het linkerbeen gaat ruimtelijk gezien naar achter en maakt daarom retroflexie. De retroflexie wordt in een constante beweging gemaakt van 0 tot 40 graden. Daarnaast vindt er een constante

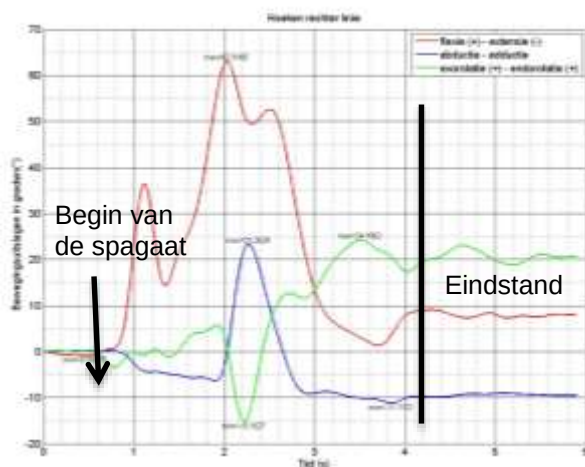
abductie plaatst van 0 tot 43 graden. Het been endoroteert eerst 11 graden waarna er exorotatie plaats vindt. Vervolgens eindigt het been in een lichte endorotatie (7 graden)



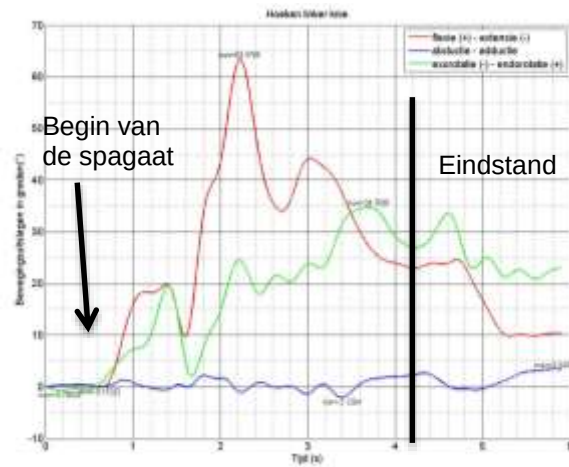
Grafiek 2 De bewegingsuitslagen van de linker heup.

6.1.3 Knieën

In grafiek 3 laat de bewegingsuitslagen van het rechter kniegewricht zien, het been dat ruimtelijk naar voren gericht is. Het rechter kniegewricht, dat ruimtelijk gezien naar achteren is gericht, is weergegeven in grafiek 4. Beide knieën hebben ongeveer hetzelfde verloop. Zowel in het voorste als achterste been wordt de knie flink gebogen (63 graden), waarna de knie volledig gestrekt wordt.



Grafiek 4 De bewegingsuitslagen van het rechter kniegewricht.



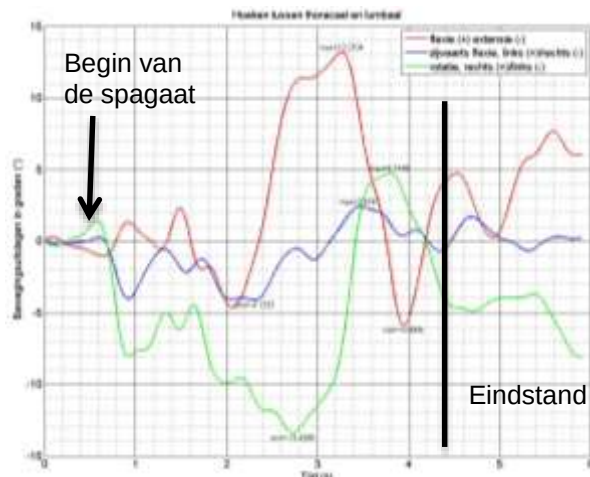
Grafiek 3 De bewegingsuitslagen van het linker kniegewricht.

6.1.4 Wervelkolom

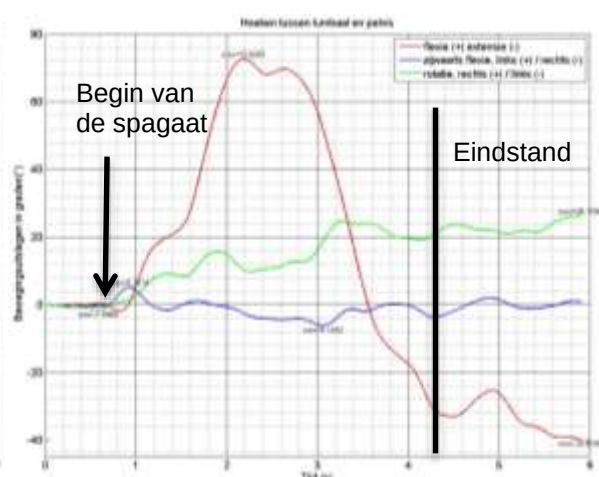
Eén van de klassieke kenmerken van de spagaat is dat het bovenlichaam richting het voorste been wordt geroteerd. Wanneer deze draaiing niet zou gebeuren spreekt men van een split in plaats van een spagaat. De rotatie van het bovenlichaam kan tot stand komen vanuit het bovenste deel van het wervelkolom (thoracaal) of vanuit het gedeelte van het wervelkolom net boven het bekken (lumbaal). In grafiek 5 wordt het verschil in uitslag weergegeven tussen thoracaal en lumbaal, wat een maat is voor thoracale rotatie. Grafiek 6 laat het verschil in relatieve beweging tussen het bekken en lumbaal, wat lumbale rotatie

weergeeft. De data laat zien dat lumbale en thoracale rotatie in geen van gevallen niet tegelijkertijd plaatsvindt. De proefpersoon laat óf thoracale rotatie óf lumbale rotatie zien, waarbij beide vormen rotatie wordt gezien per proefpersoon. Als regel kan echter wel worden gezien dat de som van thoracale en lumbale rotatie (totale rotatie van de wervelkolom) per individu gelijk is bij herhaling van het experiment.

De extensie in de wervelkolom wordt voornamelijk gehaald in het thoracale deel van de wervelkolom.



Grafiek 5 De bewegingsuitslagen tussen thoracaal en lumbaal.



Grafiek 6 De bewegingsuitslagen tussen lumbaal en de pelvis.

6.2 Complete spagaat vs. incomplete spagaat

Om een complete spagaat te vergelijken met een incomplete spagaat, zijn de eindstanden van de spagaat vergeleken met de tophoek score van de proefpersonen. In tabel 2 staat een overzicht met de tophoek score per proefpersoon. Alle proefpersonen scoorde het best met hun voorkeursbeen voorwaarts. In onderstaande tabel is de beste score (van de drie pogingen) weergegeven. Ook in de overige analyses is steeds de beste score per proefpersoon gebruikt.

Tabel 2 De tophoek score per proefpersoon met het voorkeursbeen voor.

Proefpersoon	Score voorkeursbeen voor
1	137
2	123
3	165
4	173
5	160
6	165

Allereerst is de proefpersoon met de hoogste tophoek score (proefpersoon 4) vergeleken met de proefpersoon met de laagste tophoek score (proefpersoon 2). Bij het been naar voren is te zien in tabel 3 dat bij een completere spagaat meer anteflexie wordt gemaakt en minder abductie. De exorotatie is hoger bij de incomplete spagaat. In tabel 4 staan de bewegingsuitslagen van het been dat ruimtelijk gezien naar achteren gaat. De retroflexie is 14,8 graden hoger bij een complete spagaat. Ook is de abductie hoger bij een complete spagaat.

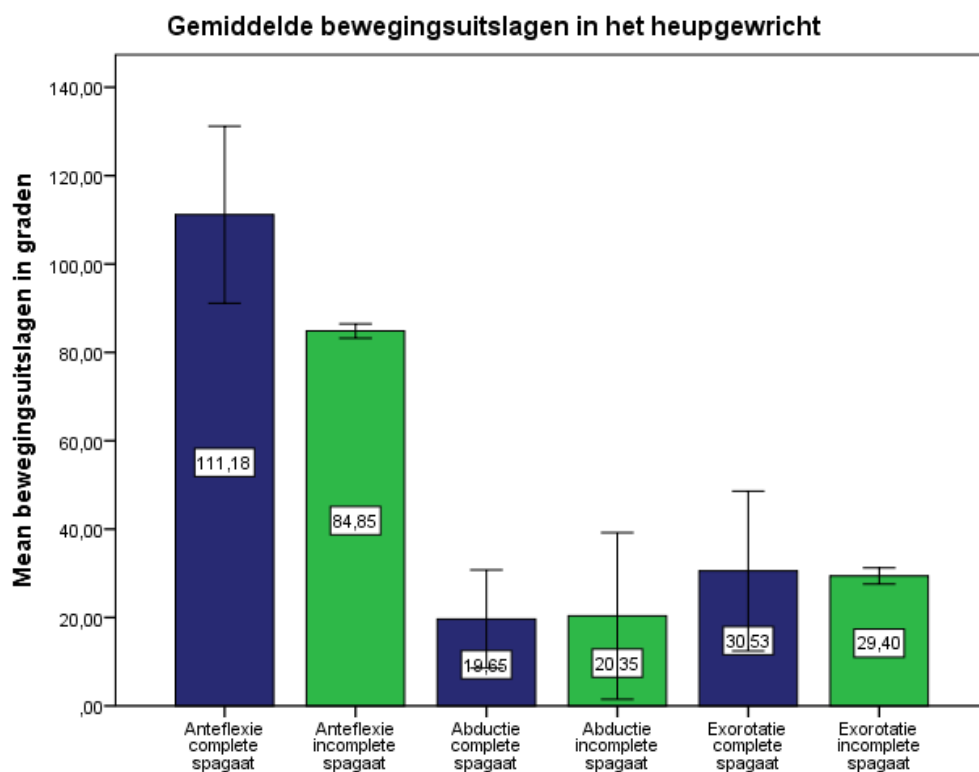
Tabel 3 De bewegingsuitslagen in de heup van het been dat naar voren gericht is bij de meest incomplete spagaat (proefpersoon 2) en de meest complete spagaat (proefpersoon 4).

Beweging in de heup	Proefpersoon 2	Proefpersoon 4
Anteflexie	83,7	114,8
Abductie	33,7	4,5
Exorotatie	28,1	20,1

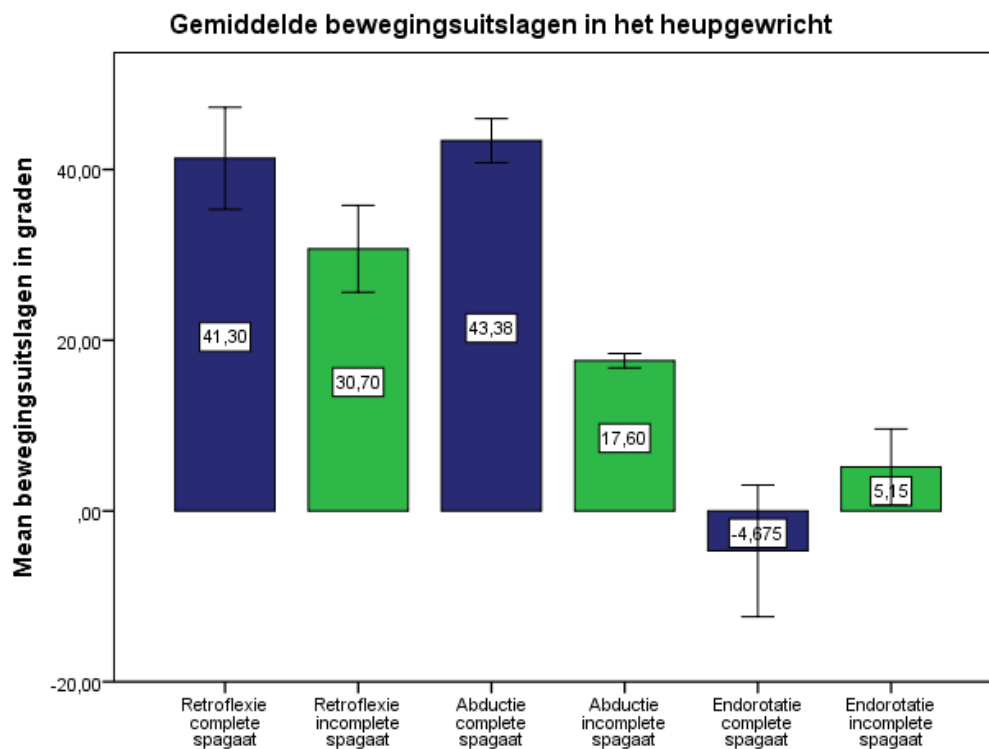
Tabel 4 De bewegingsuitslagen in de heup van het been dat naar achteren gericht is bij de meest incomplete spagaat (proefpersoon 2) en de meest complete spagaat (proefpersoon 4).

Beweging in de heup	Proefpersoon 2	Proefpersoon 4
Retroflexie	34,3	49,1
Abductie	17	45,8
Exorotatie	-8,3	5,7

De proefpersonen zijn vervolgens in twee groepen verdeeld, de proefpersonen die in staat waren tot een complete spagaat en de proefpersonen die slechts een incomplete spagaat konden uitvoeren. Hierbij werd een complete spagaat gedefinieerd als een tophoek score >160. Op basis van deze grenswaarde waren proefpersonen 3, 4, 5 en 6 in staat tot een complete spagaat. Proefpersonen 1 en 2 hebben tijdens de meting slechts een incomplete spagaat laten zien. De twee groepen zijn onderling vergeleken op basis van de bewegingsuitslagen in het heupgewricht, waarvan de resultaten zijn weergegeven in grafiek 7 en 8. De resultaten laten zien dat er bij een complete spagaat meer anteflexie plaatsvindt bij naar voren gerichte been en meer retroflexie en abductie bij het naar achteren gerichte been. Dit resultaat komt overeen met het resultaat tussen de meest complete spagaat (proefpersoon 4) en de minst complete spagaat (proefpersoon 2), zoals eerder is besproken



Grafiek 7 De gemiddelde bewegingsuitslagen in het heupgewricht van het naar voren gerichte been. De blauwe staafdiagrammen geven de complete spagaat weer en de groene staafdiagrammen de incomplete spagaat.



Grafiek 8 De gemiddelde bewegingsuitslagen in het heupgewricht van het naar achteren gerichte been. De blauwe staafdiagrammen geven de complete spagaat weer en de groene staafdiagrammen de incomplete spagaat.

Naast de grafieken van de gemiddelde bewegingsuitslagen in de heup zijn de gemiddelde bewegingsuitslagen weergegeven in tabel 5 en 6.

Tabel 5 De gemiddelde bewegingsuitslagen in het naar voren gerichte been van de groep die een complete spagaat heeft uitgevoerd en de groep die een incomplete spagaat heeft uitgevoerd.

Beweging in de heup	Incomplete spagaat		Complete spagaat	
	Gemiddelde	Std	Gemiddelde	Std
Anteflexie	84,9	1,6	111,2	20
Abductie	20,4	18,9	19,7	11,1
Exorotatie	29,4	1,8	30,5	18,1

Tabel 6 De gemiddelde bewegingsuitslagen in het naar achteren gerichte been van de groep die een complete spagaat heeft uitgevoerd en de groep die een incomplete spagaat heeft uitgevoerd.

Beweging in de heup	Incomplete spagaat		Complete spagaat	
	Gemiddelde	Std	Gemiddelde	Std
Retroflexie	30,7	5,1	41,3	6
Abductie	17,6	0,6	43,4	2,6
Endorotatie	5,2	4,5	-4,7	7,7

In tabel 7 en 8 staan de correlaties tussen de tophoek score en de bewegingsuitslagen in het heupgewricht. Er is één bewegingsuitslag die hoog correleert: de abductie in het been dat ruimtelijk gezien naar achteren gaat ($R^2 = 0,908$). Daarnaast zijn er twee bewegingsuitslagen met een middelmatige correlatie: de anteflexie ($R^2 = 0,518$) en de retroflexie ($R^2 = 0,507$). De overige bewegingsuitslagen in het heupgewricht hebben

nauwelijks of geen correlatie met de tophoek score. Alleen de abductie in het extenderende been blijkt significant. De overige bewegingsuitslagen hebben een hogere significantie dan ,05.

Tabel 7 De resultaten van de score tov de bewegingsuitslagen bij het maken van de spagaat. in deze tabel staan de resultaten van het voorste been.

Beweging	Correlatie (R ²)	Sig.
Anteflexie	0,518	,107
Abductie	0,114	,514
Exorotatie heup	0,004	,902

Tabel 8 De resultaten van de tophoek score tov de bewegingsuitslagen bij het maken van de spagaat. in deze tabel staan de resultaten van het been dat naar achteren gaat.

Beweging	Correlatie (R ²)	Sig.
Retroflexie	0,507	,112
Abductie	0,908	,003
Endorotatie heup	0,277	,284

6.3 Maximale ROM vs. tophoek score

Om de tweede hoofdvraag te beantwoorden wordt er gekeken of er een voorspelende range of motion test bestaat die een goede spagaat kan voorspellen. Dit is gedaan door de bewegingsuitslagen van de maximale ROM testen te vergelijken met de tophoek score tijdens de spagaat. Elke ROM test is genummerd van 1 t/m 12. In tabel 9 staat een overzicht welke ROM test welke beweging is.

Tabel 9 Alle ROM testen zijn genummerd van 1 t/m 12.

Test	Beweging
ROM test 1	Anteflexie met gestrekte knie
ROM test 2	Retroflexie
ROM test 3	Abductie
ROM test 4	Adductie
ROM test 5	Exorotatie
ROM test 6	Endorotatie
ROM test 7	Horizontale abductie
ROM test 8	Flexie thoracaal
ROM test 9	Flexie lumbaal
ROM test 10	Rotatie thoracaal
ROM test 11	Rotatie lumbaal
ROM test 12	Totale rug rotatie

In tabel 10 staan de resultaten van de ROM testen tegenover de tophoek score. De volgende ROM testen hebben een hoge correlatie ($0.7 < R^2 < 0.9$): de anteflexie, de abductie, de endorotatie en de totale rug rotatie. De ROM testen van de abductie en de rotatie lumbaal in de rug hebben een middelmatige correlatie ($0.5 < R^2 < 0.7$). De flexie in thoracaal heeft een lage correlatie ($0.3 < R^2 < 0.5$). De overige testen hebben nauwelijks of geen correlatie ($R^2 < 0.3$). Als er gekeken wordt naar de significantie zijn er 6 ROM testen die onder de ,05 uitkomen. Dit zijn de anteflexie (,037), de abductie (,005), de adductie (,049),

de endorotatie (,015), de rotatie in het lumbale deel van de wervelkolom (,047) en de totale rotatie van het wervelkolom (,035).

Tabel 10 De correlatie tussen de ROM testen de score van de proefpersonen.

Beweging	Correlatie (R ²)	Sig.
ROM test 1	0,703	,037
ROM test 2	0,106	,592
ROM test 3	0,888	,005
ROM test 4	0,661	,049
ROM test 5	0,076	,596
ROM test 6	0,810	,015
ROM test 7	0,015	,820
ROM test 8	0,470	,314
ROM test 9	0,003	,932
ROM test 10	0,044	,735
ROM test 11	0,669	,047
ROM test 12	0,818	,035

7. Discussie

In deze studie is de spagaat onderzocht op basis van twee hoofdvragen. Allereerst is er een analyse gemaakt van een complete spagaat, welke door proefpersoon 4 werd uitgevoerd. Op deze manier kan er een globaal beeld gemaakt worden wat er in alle gewrichten plaatsvindt. Opvallend bij deze analyse is de grote hoeveelheid exorotatie in het rechter heup gewricht. Deze was in dit geval zelfs groter dan de maximale exorotatie die werd vastgesteld bij de maximale ROM test. Dit blijkt overigens bij alle proefpersonen het geval te zijn. Dit duidt erop dat de maximale ROM test mogelijkwerwijs niet de uiterste bewegingsuitslag weergeeft. Dit zou kunnen betekenen dat de spagaat meer belasting op de gewrichten geeft dan tijdens de ROM test wordt gedaan. Dit zou eventueel kunnen komen doordat een neerwaartse beweging met het hele lichaam wordt gemaakt, waarbij de benen wellicht verder uit elkaar worden geduwd. Hier is echter in dit onderzoek niet nader op ingegaan, waardoor niet met zekerheid kan worden gezegd of dit het geval is. De exorotatie van het voorste been is overigens niet direct zichtbaar als een ruimtelijke rotatie van het been, de voet van de turnsters wijst immers omhoog. Dit moet dus betekenen dat het bekken zelf geroteerd is. Wanneer wordt gekeken naar het achterste been valt op dat beperkte retroflexie plaatsvindt, wat reeds beschreven was in de literatuur (zie inleiding). Er blijkt echter wel meer abductie plaats te vinden, die ervoor zorgt dat het been ruimtelijk gezien naar achter kan bewegen.

Op basis van de resultaten van de eerste hoofdvraag blijkt dat alle proefpersonen in ieder geval anteflexie, abductie en exorotatie in de heup aan de zijde van het voorste been uitvoeren. De mate waarin abductie en exorotatie plaatsvindt in het voorste been, komen bij zowel een complete als incomplete spagaat overeen. Als de proefpersonen worden verdeeld in twee groepen (complete spagaat en incomplete spagaat) is er meer anteflexie bij een de groep die een complete spagaat hebben uitgevoerd. Ook maken de proefpersonen die een complete spagaat hebben gemaakt meer retroflexie en abductie in het been dat naar achteren is gericht. De hypothese dat bij het voorste been een sterke abductie het verschil zou maken tussen een geslaagde en een minder succesvolle spagaat is dus niet bevestigd. Voor de retroflexie lijkt het vermogen om tegelijkertijd te abducen wel van belang.

Er zijn vier range of motion testen die een hoge correlatie hebben (boven 0,7) met de maximale tophoek en significant zijn. De turnsters met een grotere tophoek tijdens de spagaat hebben een grotere maximale range of motion van de anteflexie van de heup, de abductie in de heup, de endorotatie in de heup en de totale rotatie van het wervelkolom (lumbale rotatie plus thoracale rotatie). Hierbij dient te worden opgemerkt dat de overige testen wellicht minstens net zo belangrijk zijn voor het uitvoeren van de spagaat, maar dat deze niet het verschil maken tussen de proefpersonen in deze studie. Voor het verbeteren van de compleetheid van de spagaat zouden de anteflexie, abductie en de endorotatie van de heup alsmede ook de totale rotatie van de wervelkolom moeten worden verbeterd. De vraag of dit door middel van training te verbeteren is valt buiten de vraagstelling van dit onderzoek. Dit zou interessant zijn voor een vervolgstudie.

Dit onderzoek geeft op enkele punten nog mogelijkheid tot verbetering. Ten eerste worden het aantal graden van de bewegingsuitslagen berekend ten opzichte van het eerste frame. Dit betekent dat de proefpersoon in de goede beginhouding moet staan. Zodra de

proefpersoon niet in de anatomische houding staat, worden alle berekeningen gedaan vanuit een verkeerde referentie positie. Hierdoor kunnen de resultaten mogelijk beïnvloed worden door de houding van de proefpersoon. Dit zou mogelijk kunnen worden verbeterd door van tevoren een vaste referentiepositie te bepalen. Verder kwamen de proefpersonen niet allemaal uit dezelfde trainingsgroep. Hierdoor blijft de methode die wordt gebruikt om de spagaat te trainen een extra variabele. Mogelijk heeft de techniek die gebruikt wordt bij het uitvoeren van de spagaat een effect op de resultaten, wat kan worden beïnvloed door de manier waarop de proefpersoon de spagaat getraind heeft. Intrinsieke lenigheid kan hierdoor mogelijk worden gecompenseerd door betere training. Een grote studie zou kunnen worden uitgevoerd om verschillende trainingsgroepen met elkaar te vergelijken. Als laatste moesten de proefpersonen een zwart pak dragen om de clusters te bevestigen. Dit pak was echter slechts in twee maten beschikbaar. Eén van de proefpersonen was dusdanig klein dat het pak niet goed paste, waardoor het niet strak om het lichaam zat. In dit geval is gekozen om de clusters met tape rechtstreeks op het lichaam te plakken. Dit zorgde ervoor dat de clusters mogelijk losser zaten dan bij andere proefpersonen. Bij een aantal andere proefpersonen sloot het pak ook niet nauwkeurig aan op het lichaam, wat extra beweging zou kunnen hebben veroorzaakt. Hoewel dit de resultaten waarschijnlijk niet ernstig heeft beïnvloed kan dit wel extra variatie hebben veroorzaakt. In een vervolgonderzoek zou hier een passende oplossing voor moeten worden gevonden. Hiervoor zal moeten worden gekeken naar een alternatieve manier van bevestigen van de clusters.

In de inleiding is besproken dat er twee beperkende factoren zijn om de spagaat te maken, namelijk de lenigheid in een door poly-articulaire spieren overspannen keten en de lenigheid in een geïsoleerd gewricht. Hier is in deze studie niet verder op ingegaan, omdat de meetgroep niet uit een homogene groep bestond. In een vervolg onderzoek zou het aan te raden zijn om hier verder naar te kijken. Daarvoor is het essentieel dat er een homogene meetgroep wordt gebruikt met proefpersonen die enige jaren ervaring hebben en een vergelijkbare training hebben gehad.

Dit onderzoek kan worden beschouwd als een pilot studie, onder andere doordat er een relatief klein aantal proefpersonen is gebruikt. Op basis van de data wordt echter aanbevolen een aantal vervolgonderzoeken uit te voeren. Ten eerste zou in een grotere studie kunnen blijken of de gevonden correlatie van de ROM testen met de spagaat score van deze studie ook blijven bestaan met een grotere populatie. Verder wordt aanbevolen om een onderzoek te doen naar de “trainbaarheid” van de spagaat, waarbij de mogelijkheid tot aanleren centraal staat. Hierbij zullen meerdere trainingsgroepen met elkaar moeten worden vergeleken. Binnen deze homogene trainingsgroepen kan vervolgens worden gekeken naar de lenigheid van de door poly-articulaire spieren overspannen keten en de lenigheid in een geïsoleerd gewricht.

8. Conclusie

In dit onderzoek is als eerste gezocht naar de overeenkomsten en verschillen in bewegingsuitslagen in het heupgewricht tussen proefpersonen die een complete spagaat konden uitvoeren en proefpersonen die slechts een incomplete spagaat konden maken. Uit de resultaten blijkt dat zowel bij een incomplete als een complete spagaat een vergelijkbare abductie en exorotatie van het voorwaarts gerichte been plaatsvindt en ook endorotatie in het achterwaarts gerichte been. Er worden echter ook een aantal verschillen gezien, namelijk de anteflexie in het naar voren gerichte been en de retroflexie en de abductie van het been dat naar achteren gericht is.

De tweede hoofdvraag van dit onderzoek is of een geïsoleerde maximale range of motion test kan voorspellen of iemand in staat is een complete spagaat uit te voeren. Vier van deze ROM testen hebben daadwerkelijk deze voorspellende waarde, namelijk de anteflexie (met gestrekt been) van het heupgewricht, de abductie van het heupgewricht, de endorotatie van het heupgewricht en de totale rotatie in het wervelkolom (de thoracale rotatie plus de lumbale rotatie). Hiermee kan worden gesteld dat de hypothese dat de ROM test van de horizontale abductie een goede voorspeller is voor de spagaat onjuist is. Het blijkt dat deze waarde bij zowel een complete als een incomplete spagaat vrijwel gelijk is.

9. Literatuurlijst

- Apostolopoulos, N., Metsios, G. S., Flouris, A. D., Flouris, Y., & Wyon, M. A. (2015). The relevance of stretch intensity and position—a systematic review. *Frontiers in Psychology*, 6(1128), 1-25.
- Cicchella, A. (2009). Kinematics analysis of selected rhythmic gymnastic leaps.. *Journal of human sport and exercise online*, 4, 40-47.
- Fysiovaardig (z.d.). Articulaire beweging. Geraadpleegd op 17 april 2015 , van http://fysiovaardig.boom.nl/articulaire_beweging
- Irurtia, A., Busquets, A., Carrasco, M., Ferrer, B., & Marina, M. (2010). Flexibility testing in young competing gymnasts using a trigonometric method: one-year follow-up. *Isevier España*, 45, 235-242.
- Lagerberg, A. H. (2000). Short hamstrings? VERSUS, 5, 1-15.
- Rozendal, R. H., Heerkens, Y. F., Huijing, P. A. J. B. M., & Woittiez, R. D. (1968). *Inleiding in de kinesiologie van de mens* (4e ed.). Culemborg, Nederland: Educaboek b.v..
- Uzunov, V. (2008). Stretching Scientifically Part II: the Pros and Cons to Modern Methods. *The Gym Press*, 2, 6-14.

10. Bijlage I

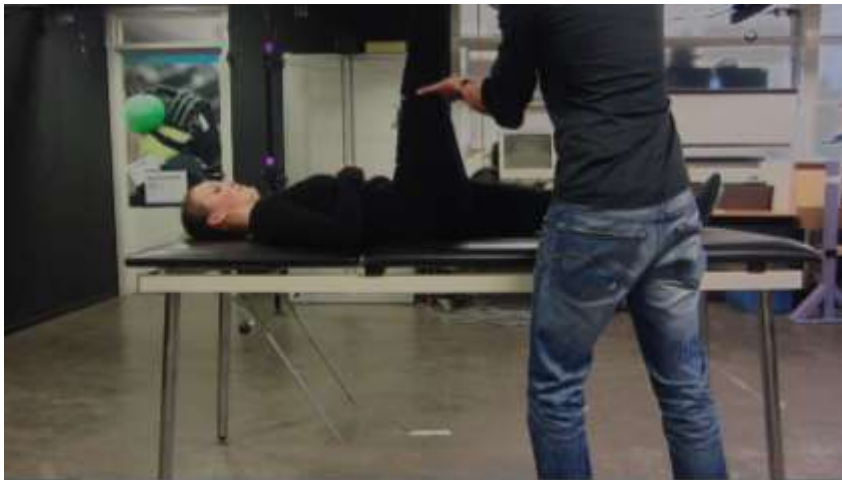
ROM testen

ROM test 1 anteflexie met gestrekte knie:

Beginhouding



Eindhouding:



De proefpersoon begint in ruglig. De testafnemer staat aan de kant van het te meten been en pakt het been vast. Vervolgens tilt hij het been met gestrekte knie op (anteflexie). De proefpersoon laat het been ontspannen liggen in de hand van de testafnemer. Als het bekken achterover kantelt wordt de beweging gestopt en de meting geëindigd. Het is niet erg dat het bekken achterover kantelt.

ROM test 2 retroflexie:

Beginhouding:



Eindhouding:



De proefpersoon begint in buiklig. De testafnemer staat aan de kant van het te meten been en pakt het been vast. Vervolgens tilt hij het been met gestrekte knie op (retroflexie). De proefpersoon laat het been ontspannen liggen in de hand van de testafnemer. Als het bekken voorover kantelt wordt de beweging gestopt en de meting geëindigd. (Op de foto wordt het been niet vastgehouden door de testafnemer, dit is bij de werkelijke meting wel gebeurd.)

ROM test 3 abductie:

Beginhouding:



Eindhouding:



De proefpersoon begint in ruglig. De testafnemer staat aan de kant van het te meten been en pakt het been vast. Vervolgens brengt de testafnemer het been abductie. De proefpersoon laat het been ontspannen liggen in de handen van de testafnemer. Als het bekken zijwaarts verplaatst wordt de beweging gestopt en de meting geëindigd. (Op de foto wordt het been niet vastgehouden, dit is bij de werkelijke meting wel gebeurd.)

ROM test 4 adductie:

Beginhouding:



Eindhouding:



Eerst wordt het been wat niet wordt gemeten aan de kant gelegd, zodat er ruimte beschikbaar komt om het te meten been in adductie te leggen. Vervolgens pakt de testafnemer het te meten been en brengt het been in adductie. Als het bekken meebeweegt

wordt de beweging gestopt en de meting geëindigd. (Op de foto wordt het been niet vastgehouden, dit is bij de werkelijke meting wel gebeurd.)

ROM test 5 exorotatie

Begin houding:



Eind houding:



Allereerst brengt de proefpersoon zijn been in de beginhouding: 90 graden flexie in het heupgewricht en 90 graden flexie in de knie. Vervolgens pakt de testafnemer met een hand het bovenbeen onder de knie en met de andere hand pakt hij de voet en roteert het onderbeen van het lichaam af. (Op de foto wordt het been niet vastgehouden, dit is bij de werkelijke meting wel gebeurd.)

ROM test 6 endorotatie

Begin houding:





Eindhouding:



Allereerst brengt de proefpersoon zijn been in de beginhouding: 90 graden flexie in het heupgewricht en 90 graden flexie in de knie. Vervolgens pakt de testafnemer met een hand het bovenbeen onder de knie en met de andere hand wordt de voet vastgehouden en wordt het onderbeen naar het lichaam toe geroteerd. (Op de foto wordt het been niet vastgehouden, dit is bij de werkelijke meting wel gebeurd.)

ROM test 7 horizontale abductie:

Beginhouding:



Eindhouding:





Allereerst brengt de proefpersoon zijn been in de beginhouding: 90 graden flexie in het heupgewricht en 90 graden flexie in de knie. Vervolgens pakt de testafnemer met een hand het bovenbeen vast en met de andere hand het onderbeen en brengt vervolgens het been via abductie naar beneden. Het is belangrijk dat de heup en de knie in 90 graden blijven. (Op de foto wordt het been niet vastgehouden, dit is bij de werkelijke meting wel gebeurd.)s

ROM test 8 en 9 flexie wervelkolom

Begin houding:



Eind houding:



De proefpersoon begint rechtop. Vervolgens gaat de proefpersoon met zijn vingers langs zijn benen omlaag naar de grond. De knieën blijven gestrekt en de voeten blijven staan.

ROM test 10, 11 en 12 rotatie wervelkolom

Begin houding:



Eind houding:

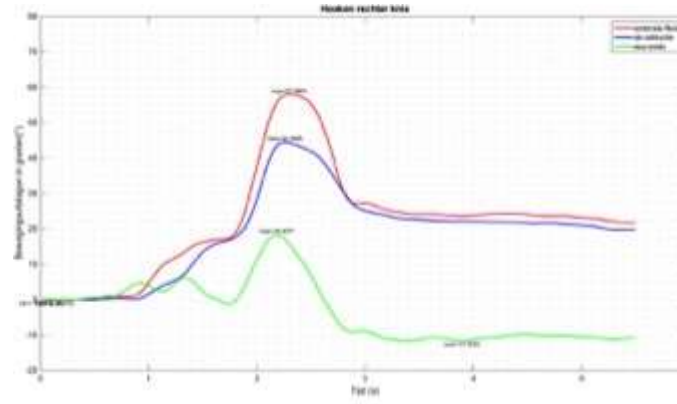
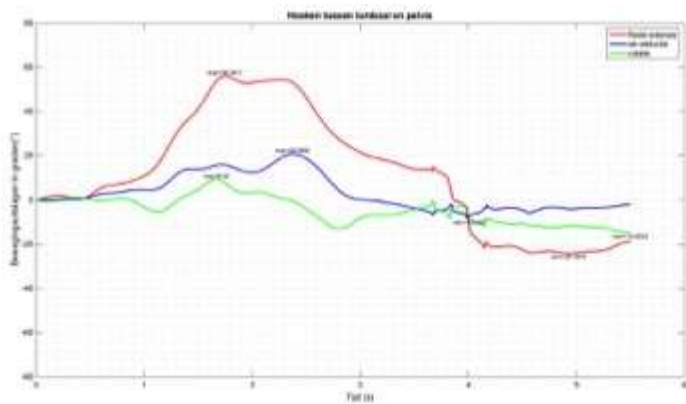
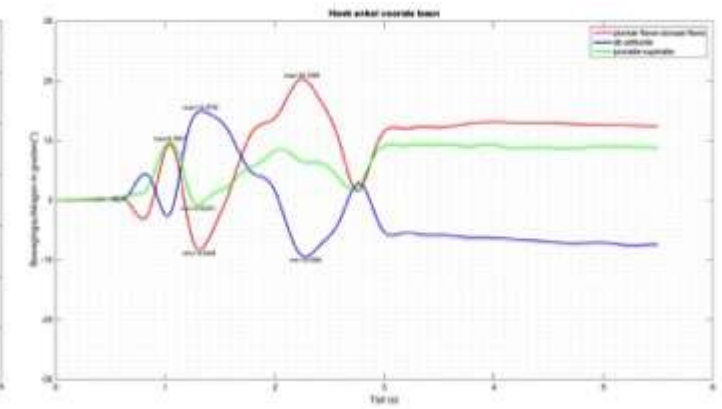
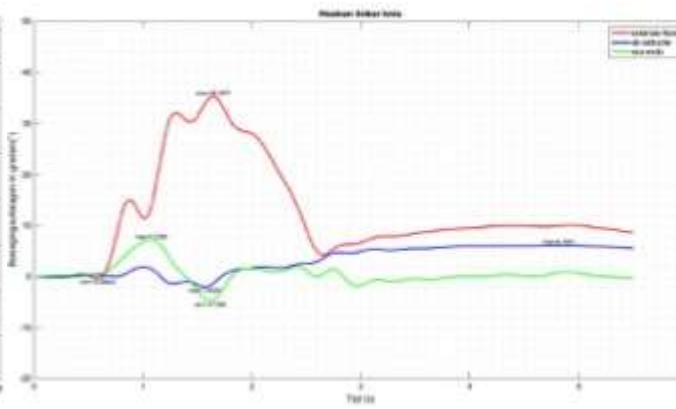
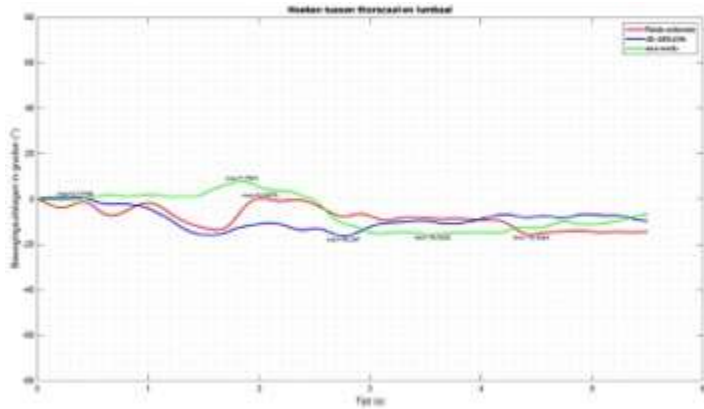
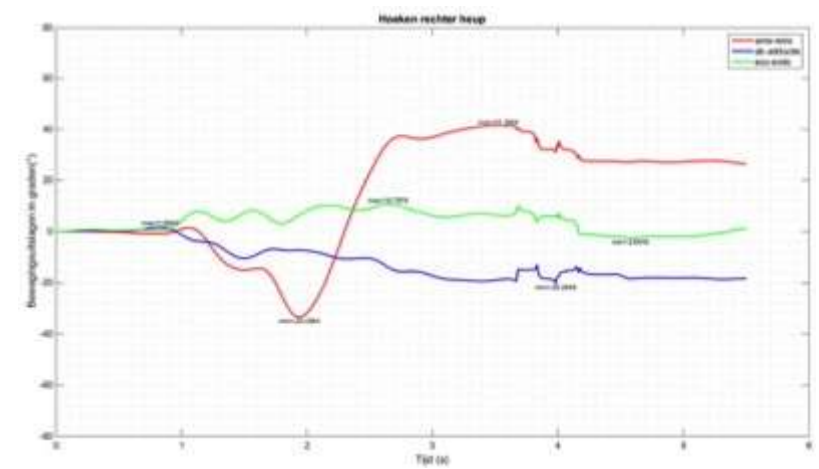
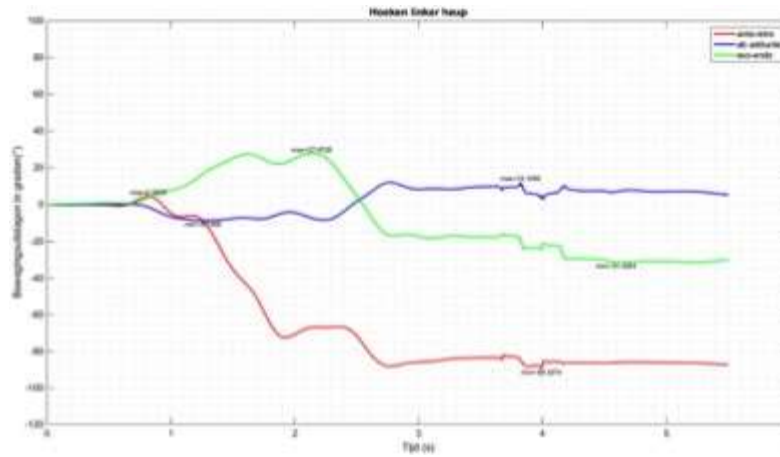


De proefpersoon begint recht op. Vervolgens roteert de proefpersoon zo ver als hij kan naar rechts. Hierbij verplaatst hij niet met zijn voeten en probeert hij zijn bekken niet mee te bewegen. Als de proefpersoon helemaal naar rechts is geroteerd, roteert hij zover als mogelijk naar links.

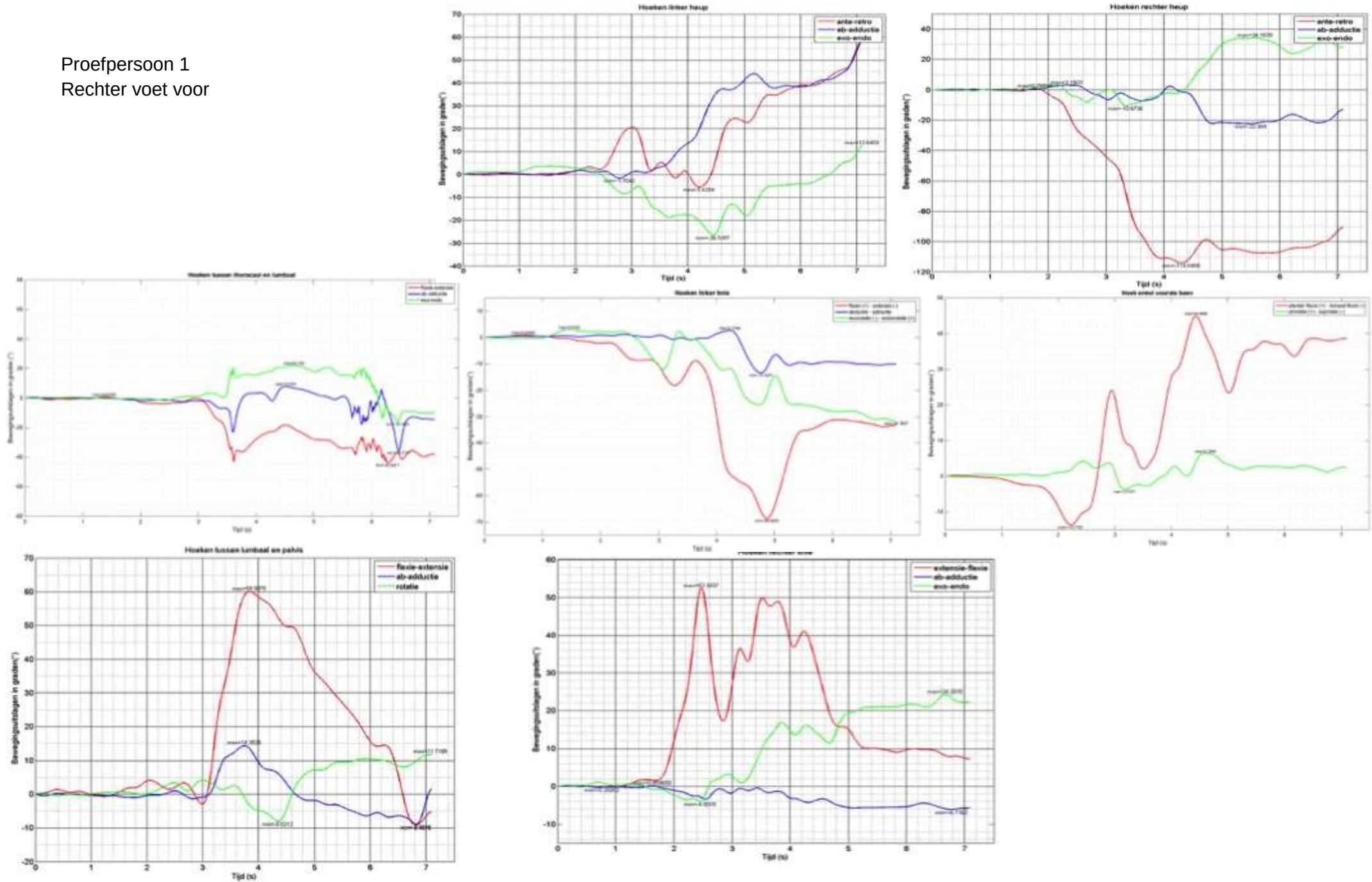
Bijlage II

Spagaat grafieken

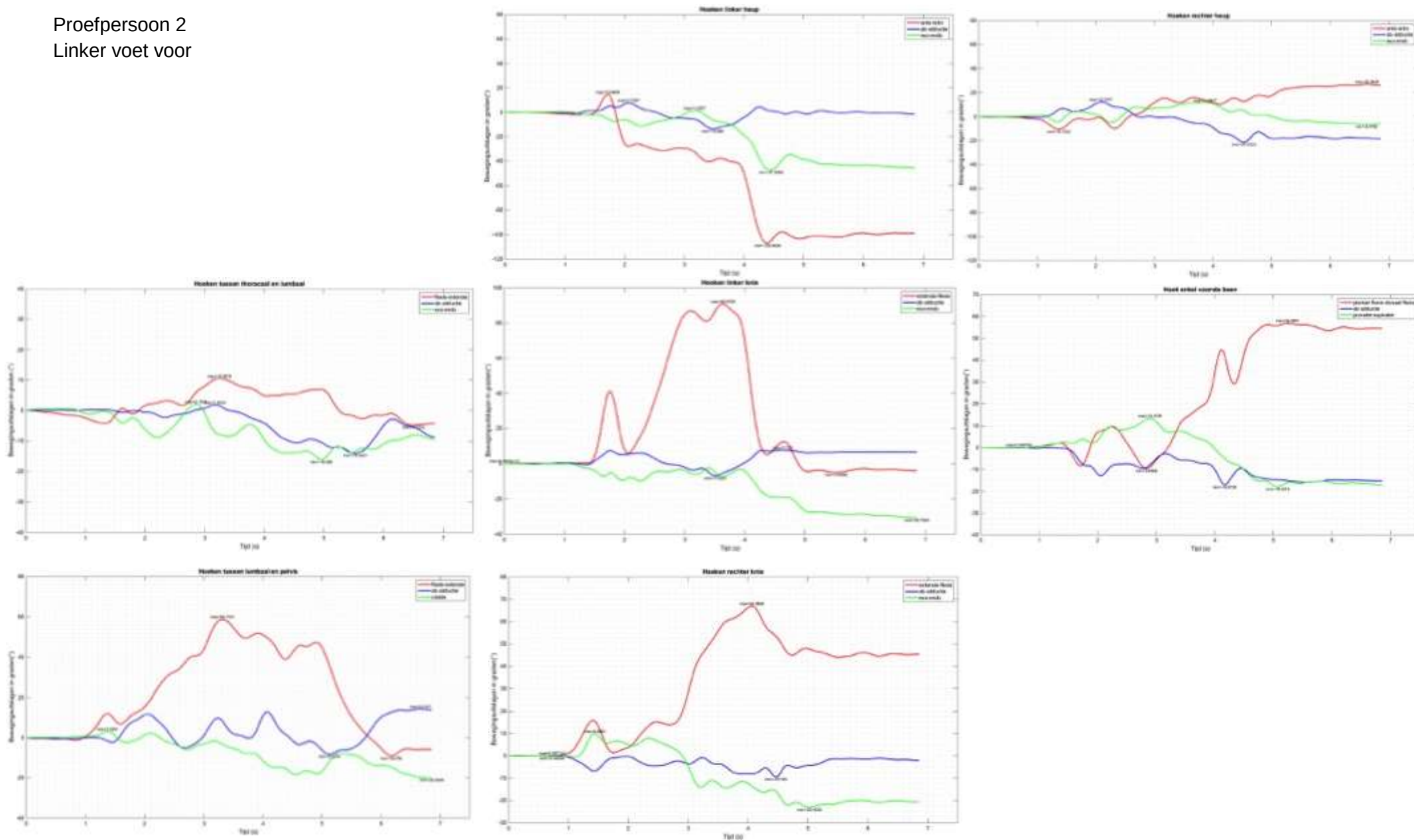
Proefpersoon 1
Linker voet voor



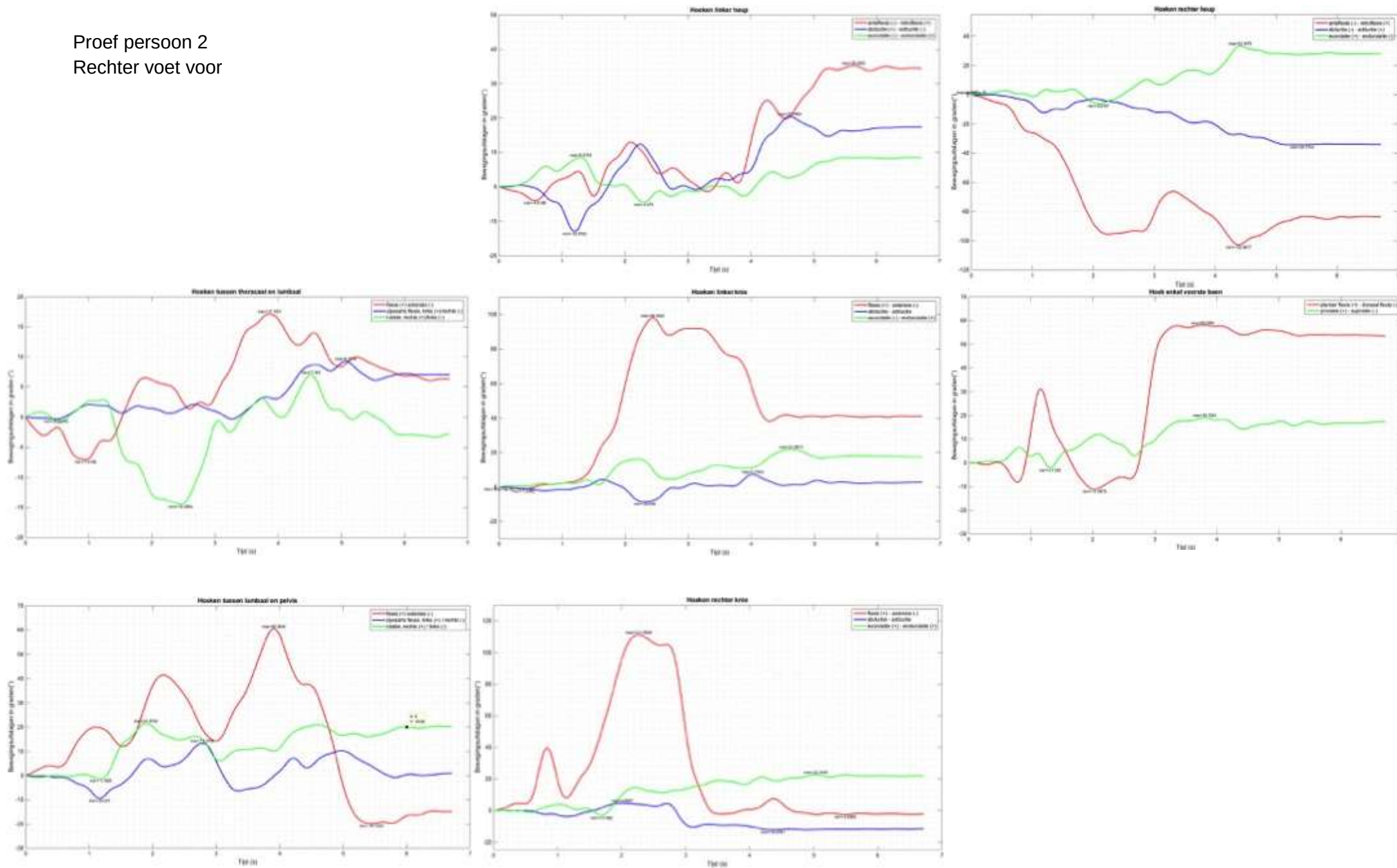
Proefpersoon 1
Rechter voet voor



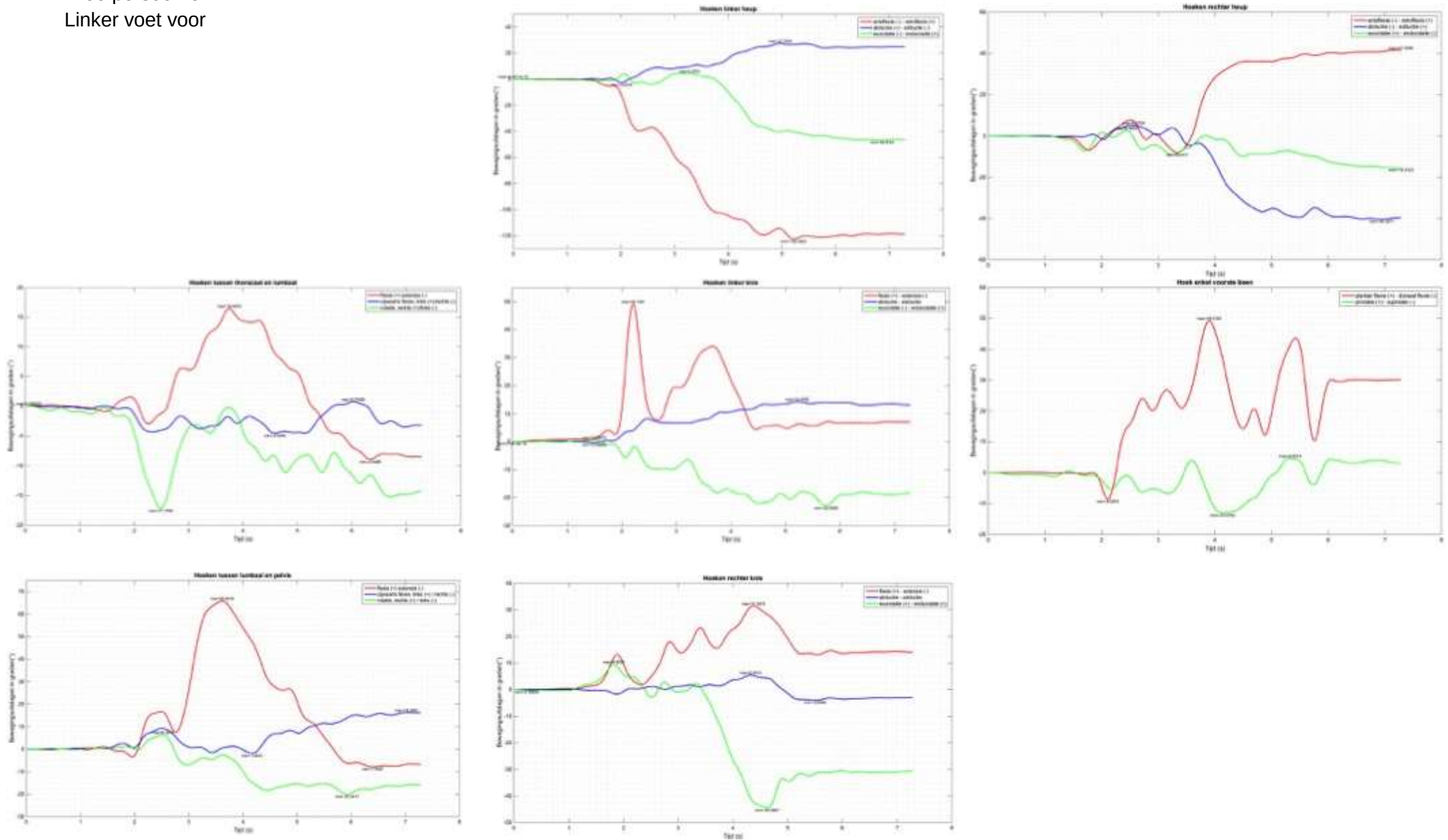
Proefpersoon 2
Linker voet voor



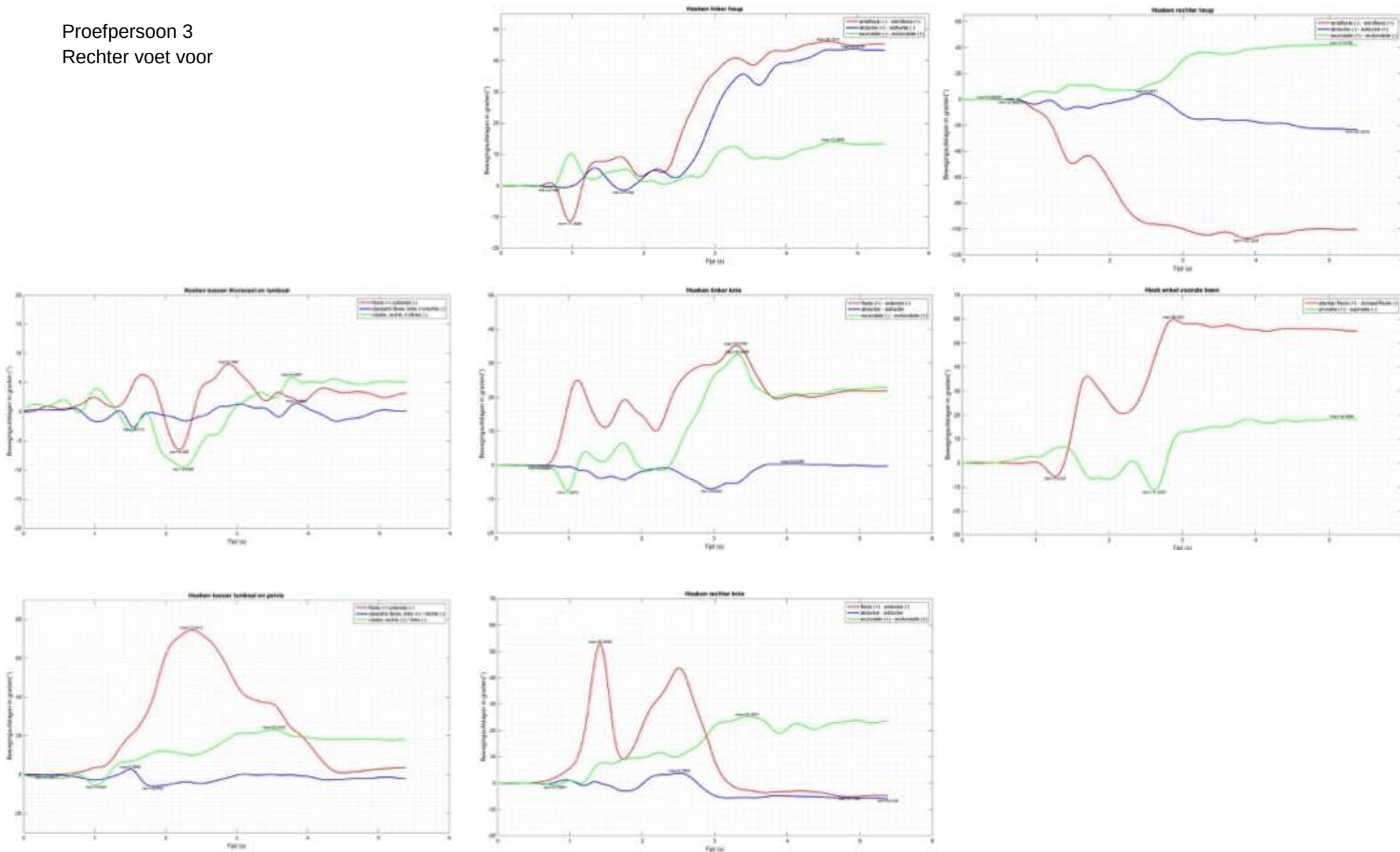
Proef persoon 2
Rechter voet voor



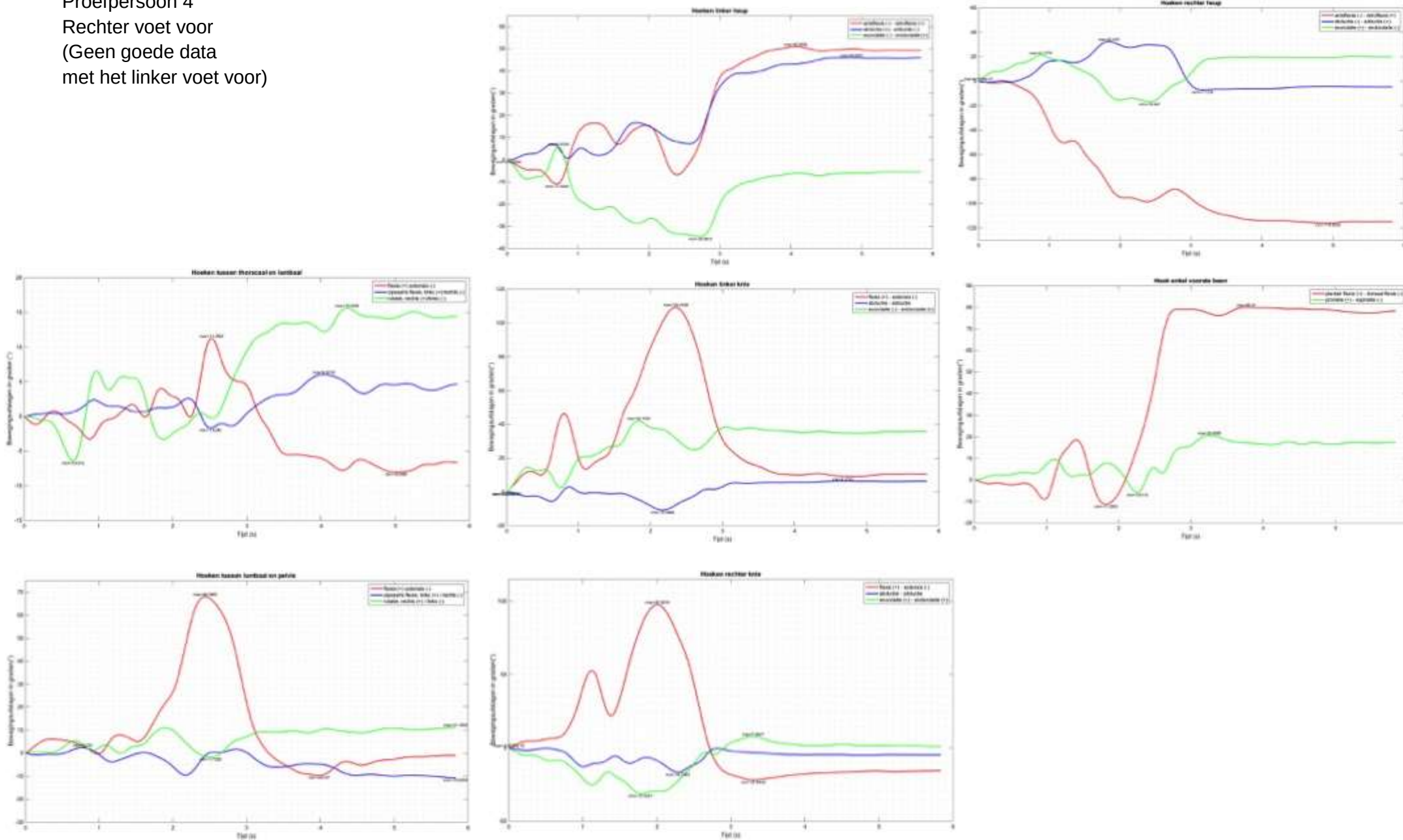
Proefpersoon 3 Linker voet voor



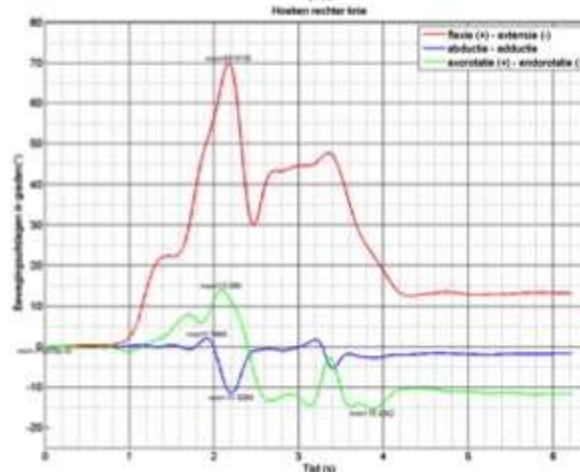
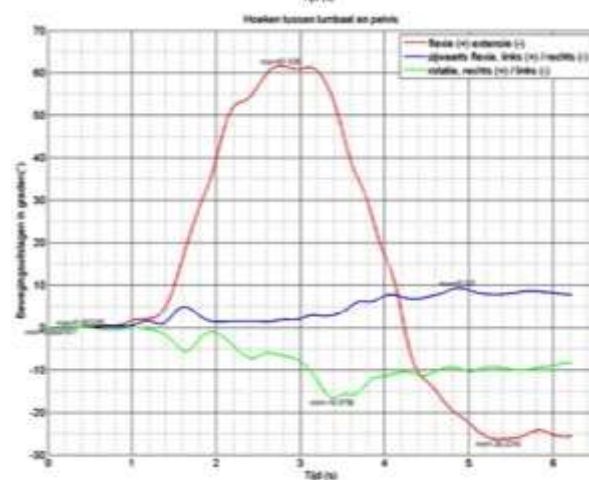
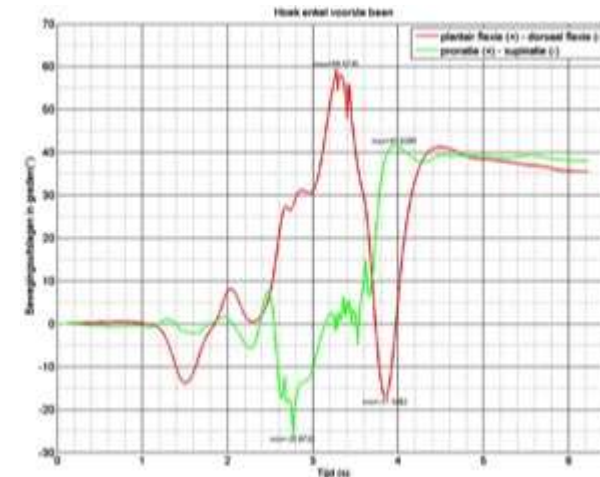
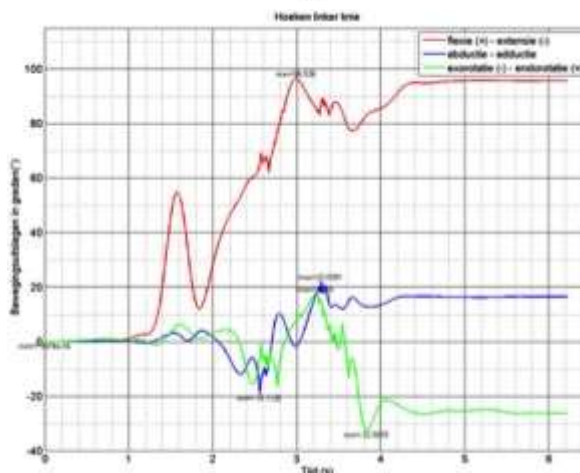
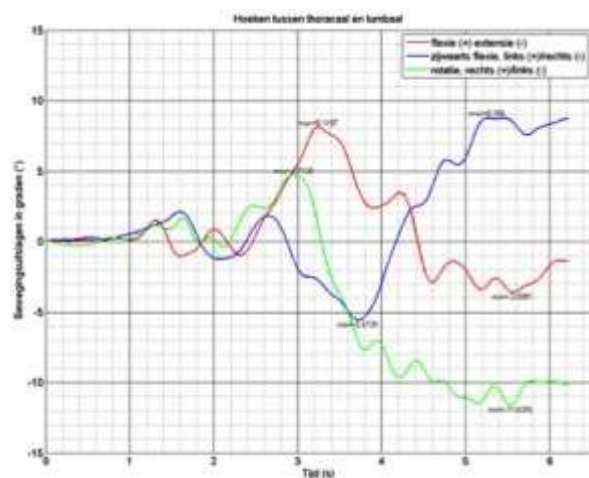
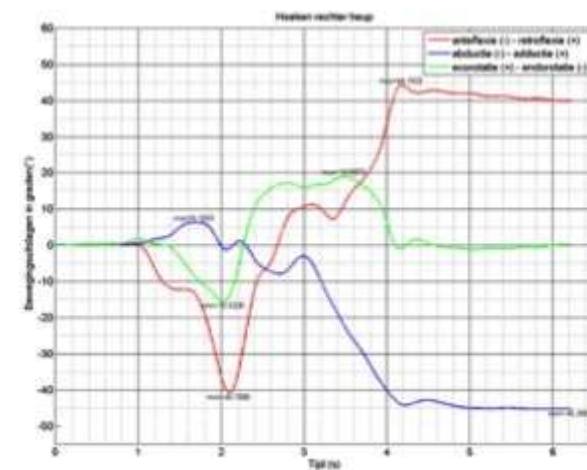
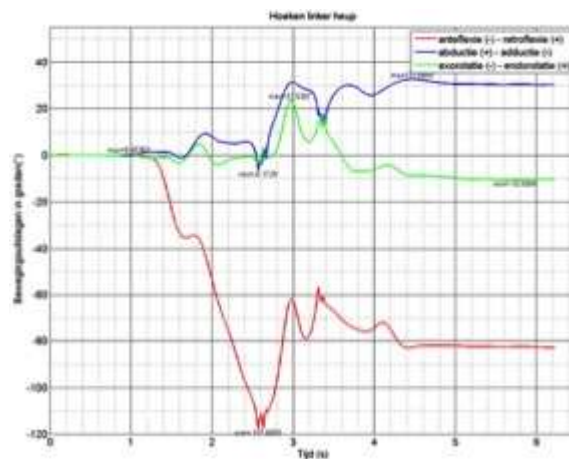
Proefpersoon 3 Rechter voet voor



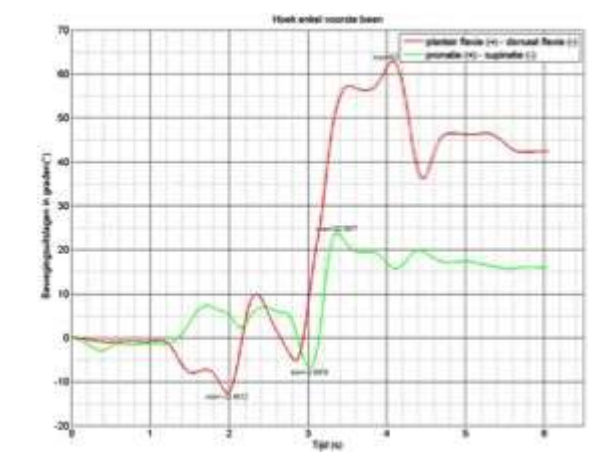
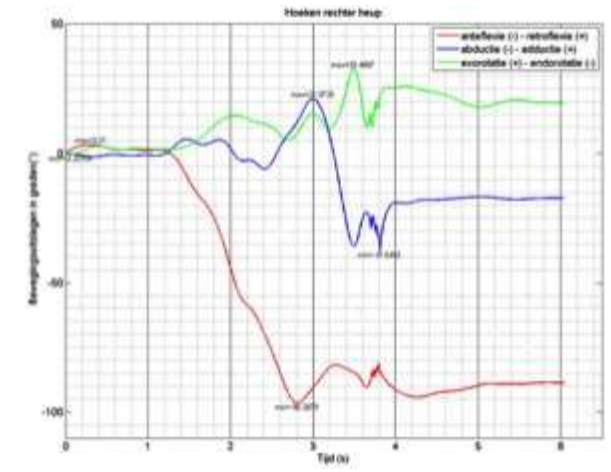
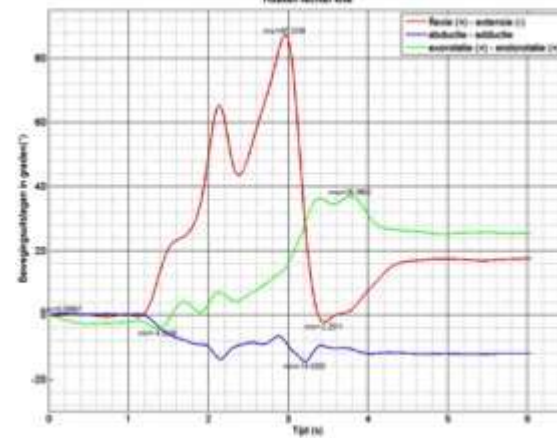
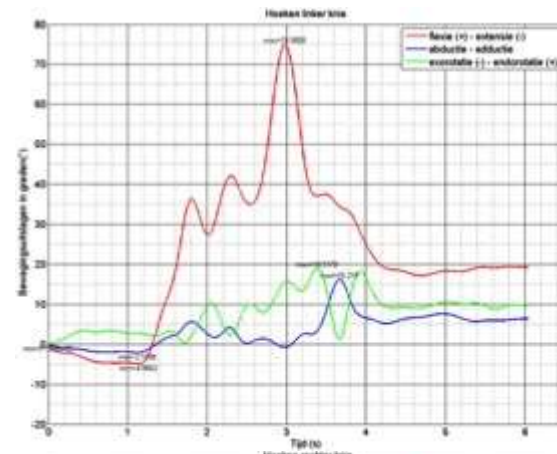
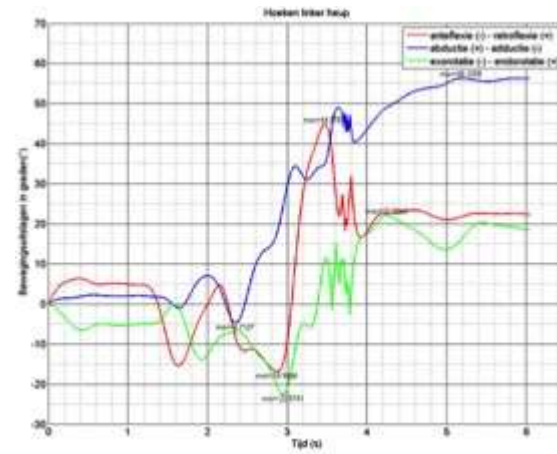
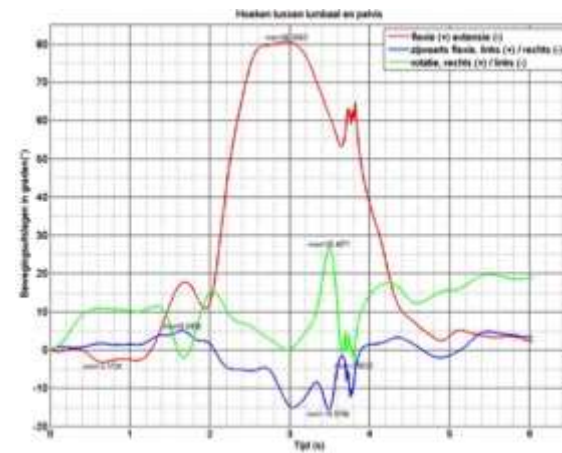
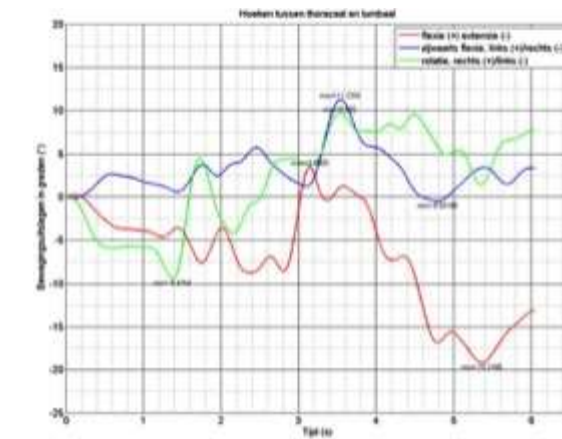
Proefpersoon 4
 Rechter voet voor
 (Geen goede data
 met het linker voet voor)



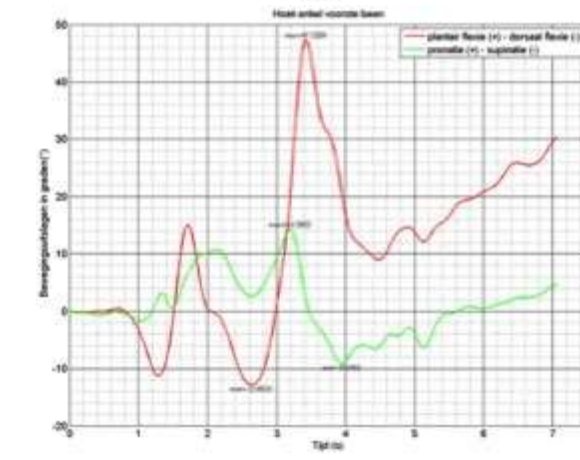
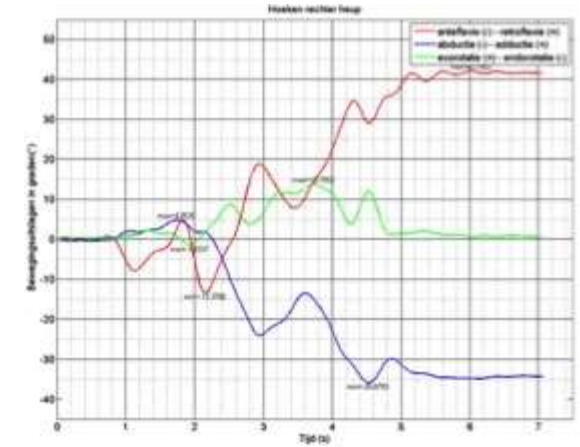
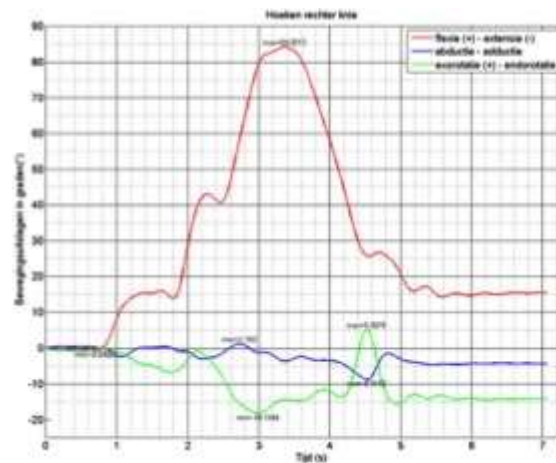
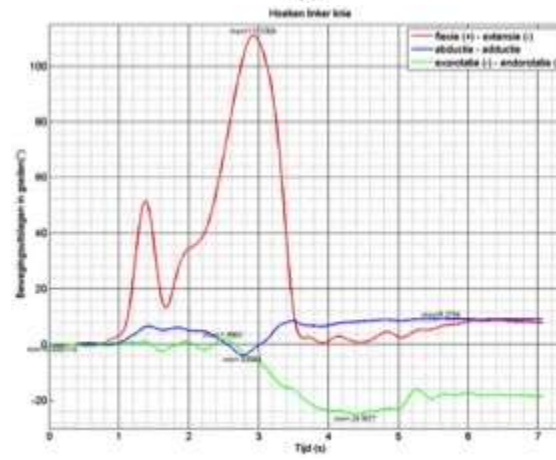
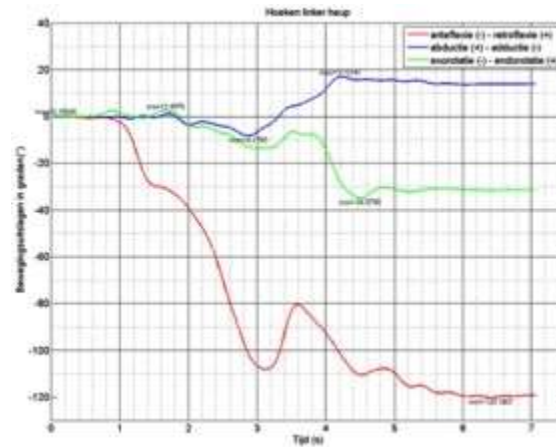
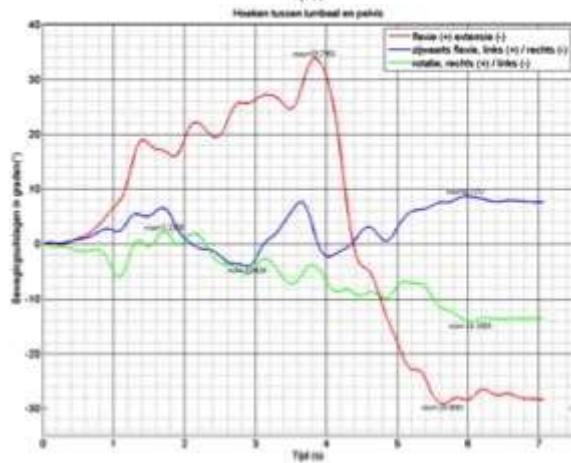
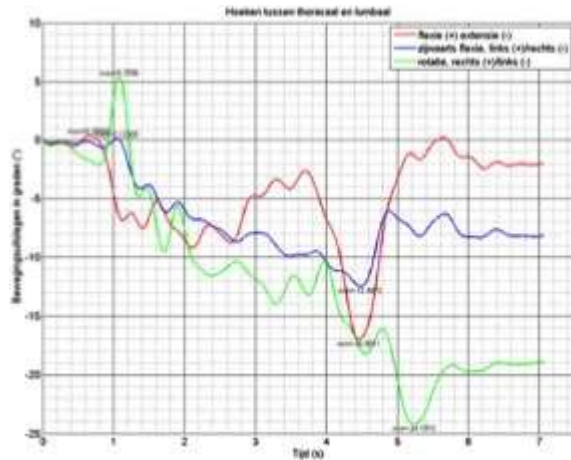
Proefpersoon 5 Linker voet voor



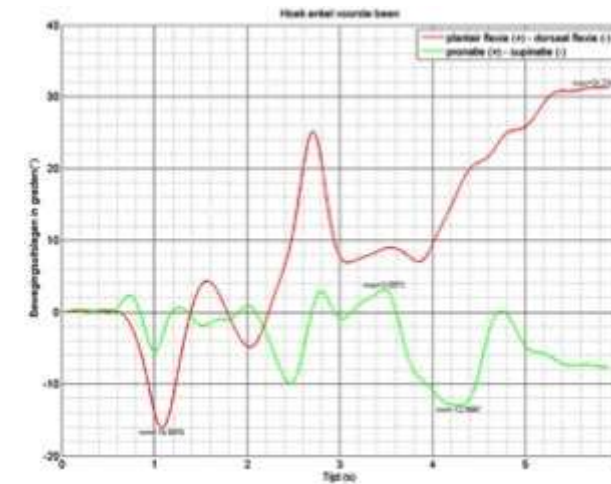
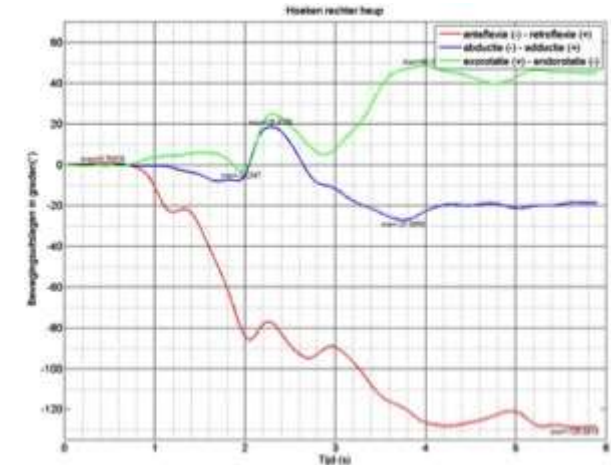
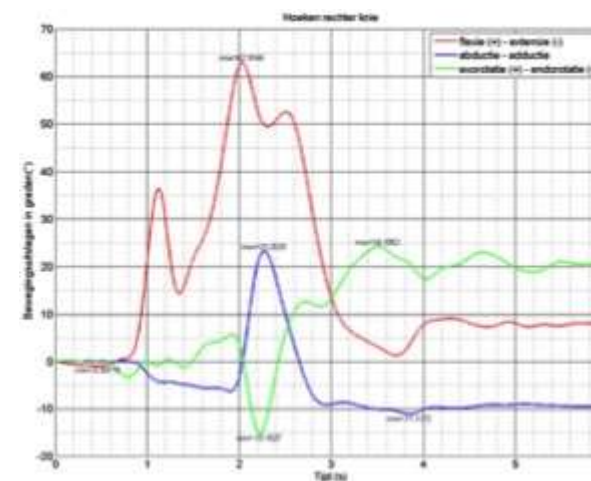
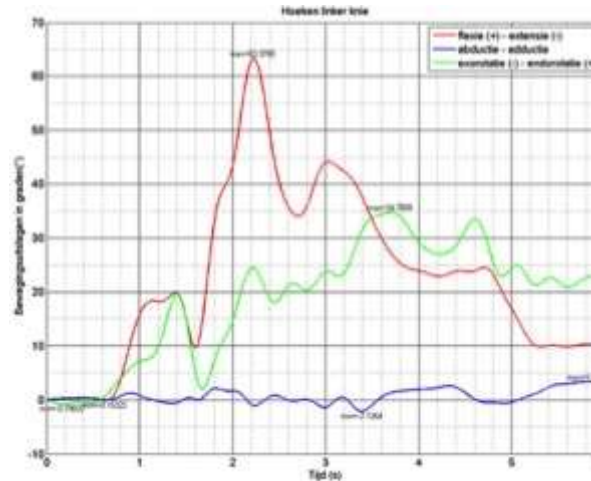
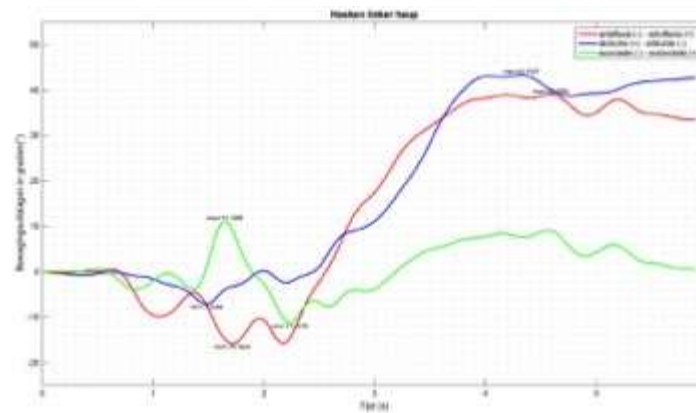
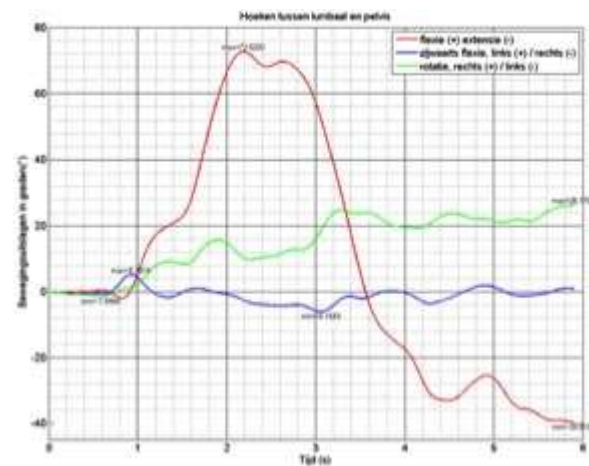
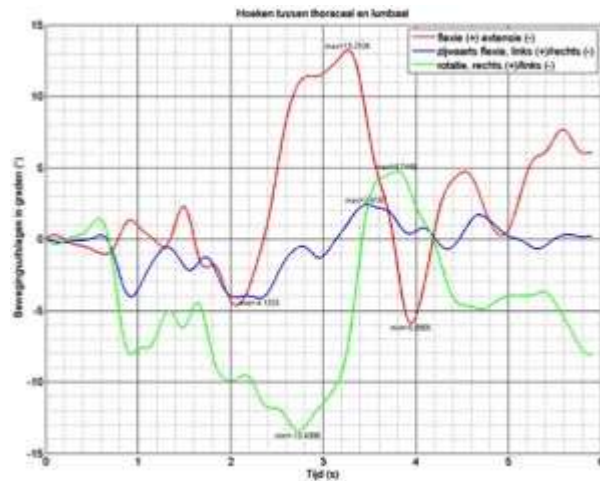
Proefpersoon 5
Rechter voet voor



Proefpersoon 6
Linker voet voor



Proefpersoon 6
Rechter voet voor



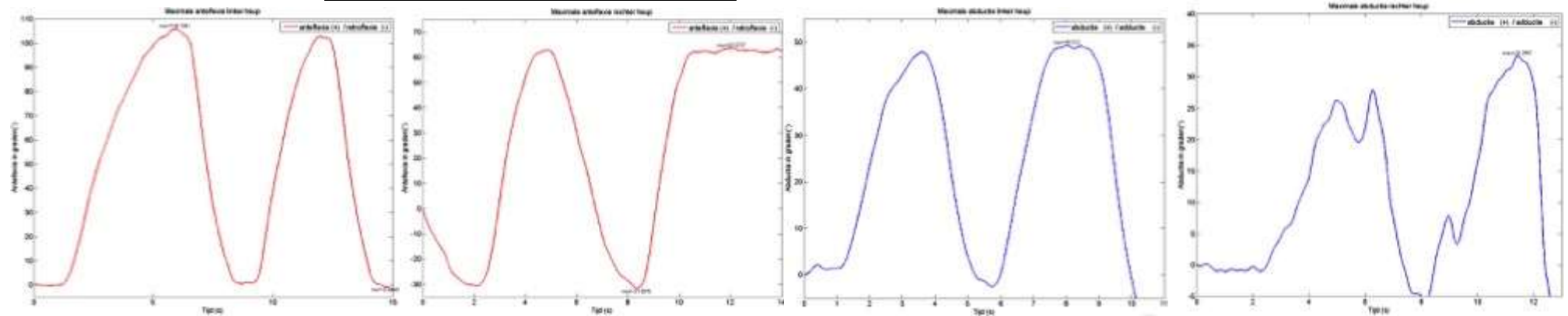
ROM grafieken

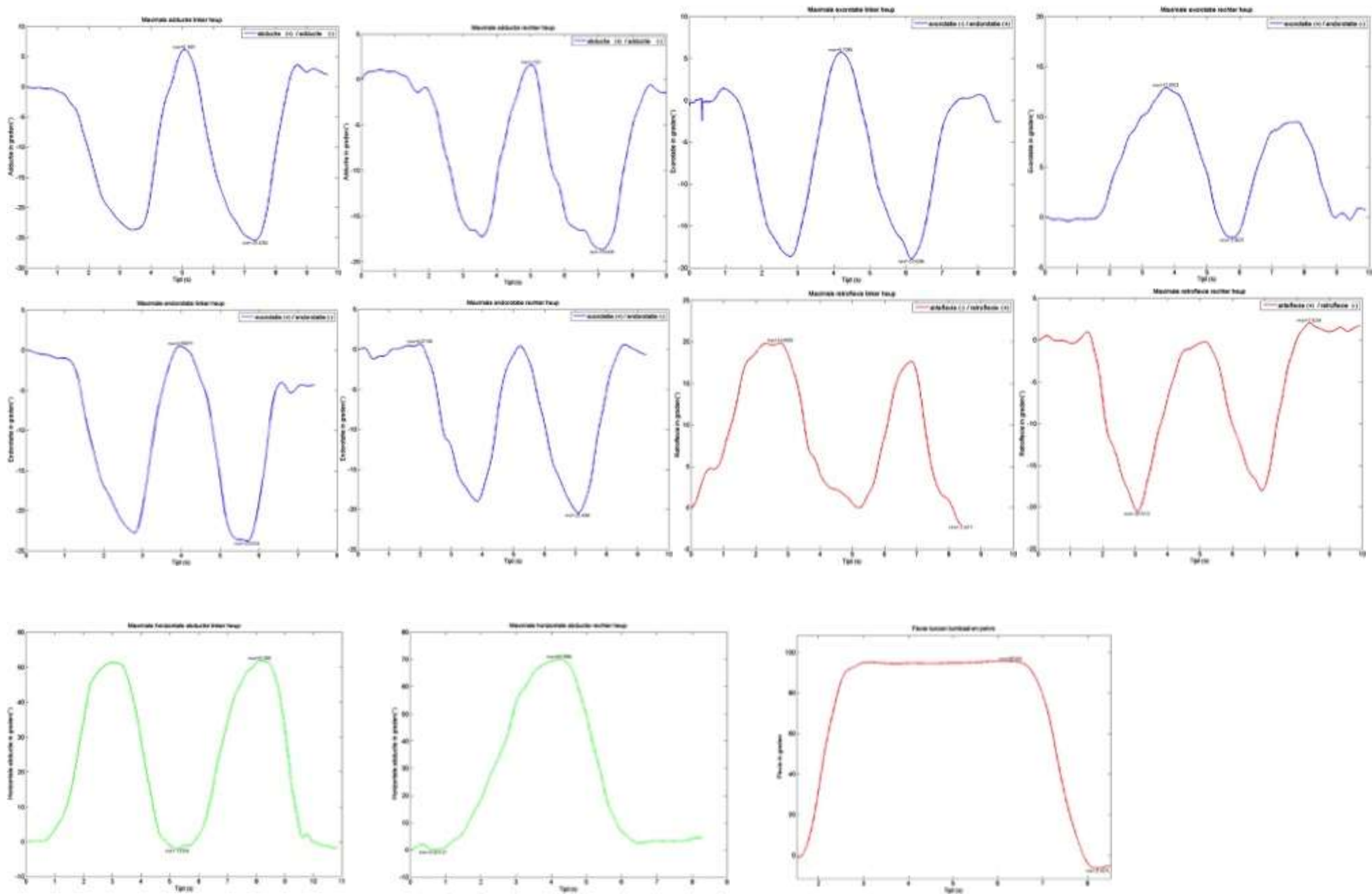
Proefpersoon 1

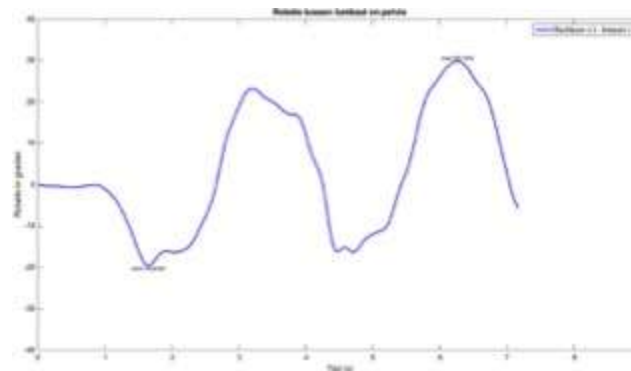
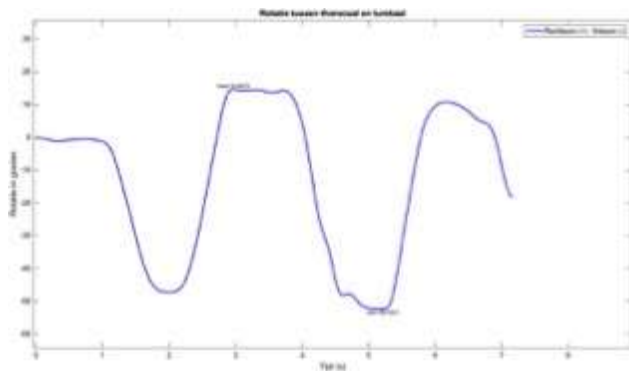
Maximale ROM proefpersoon 1

Rechts Links

Heup	Anteflexie	95,3	105,8
	Retroflexie	20,5	19,8
	Abductie	33,3	49,3
	Adductie	18,6	25,4
	Exorotatie	12,9	18,9
	Endorotatie	20,4	23,8
	Horizontale abductie	70	51,9
Rug thorecaal	Flexie	17,8	
	Rotatie	14,6	52,5
Rug lumbaal	Flexie	95,6	
	Rotatie	30	19,6
	Rotatie totaal	44,6	72,1





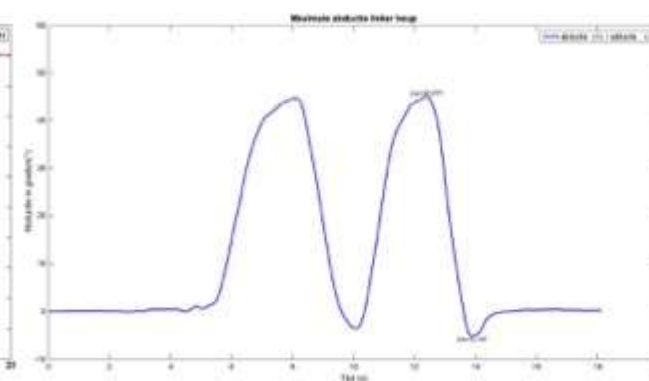
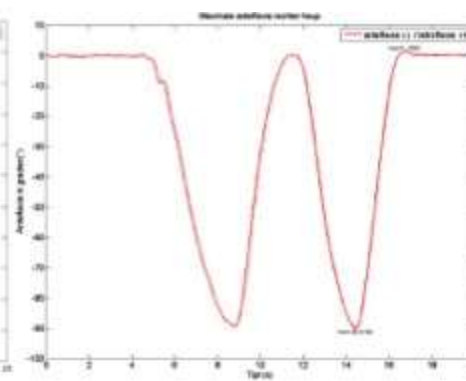
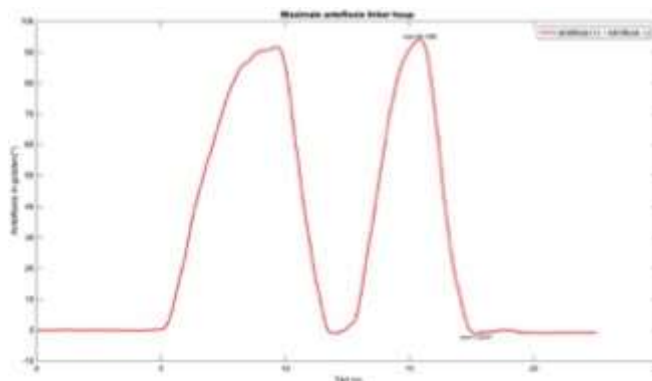


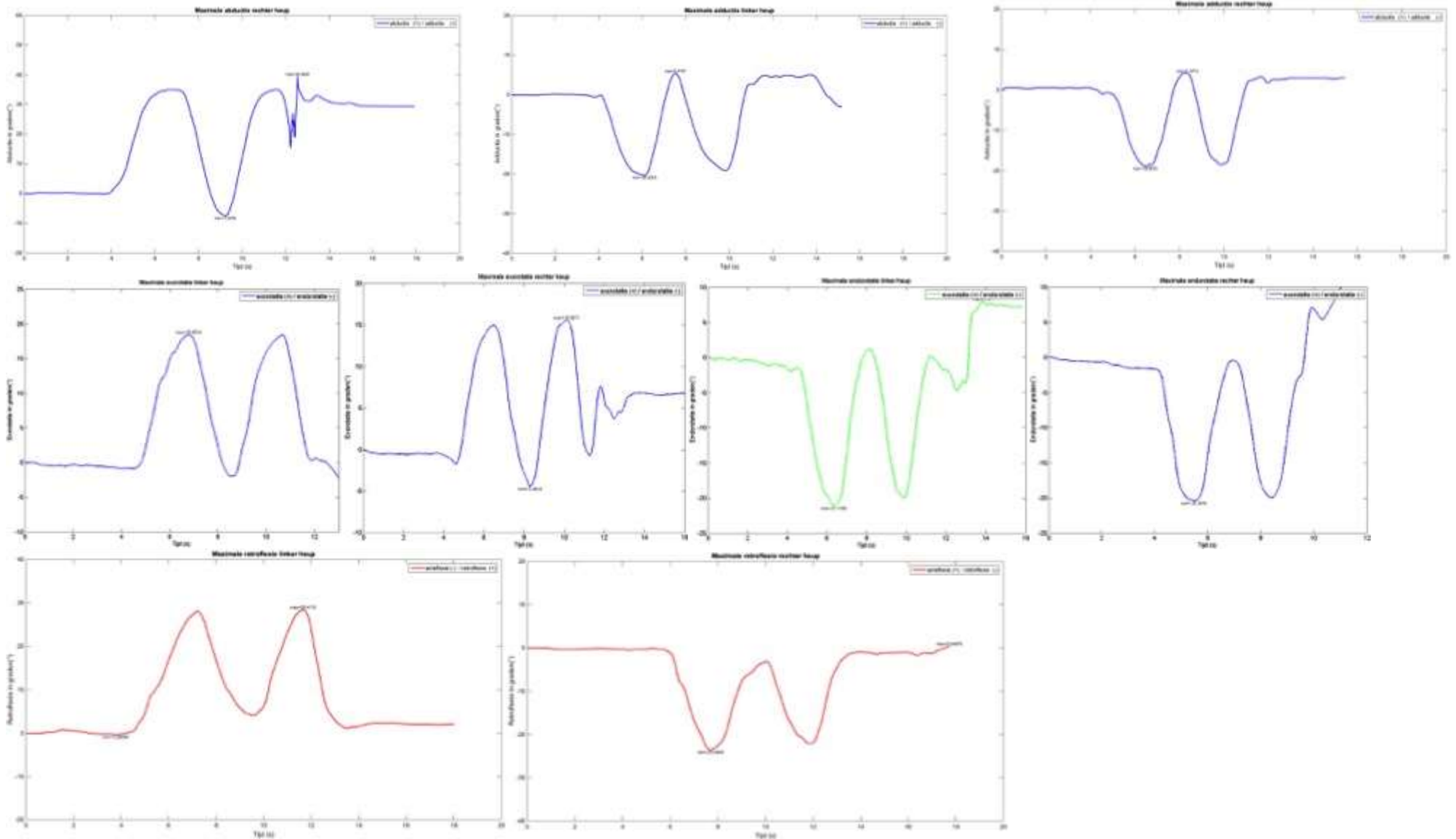
Proefpersoon 2

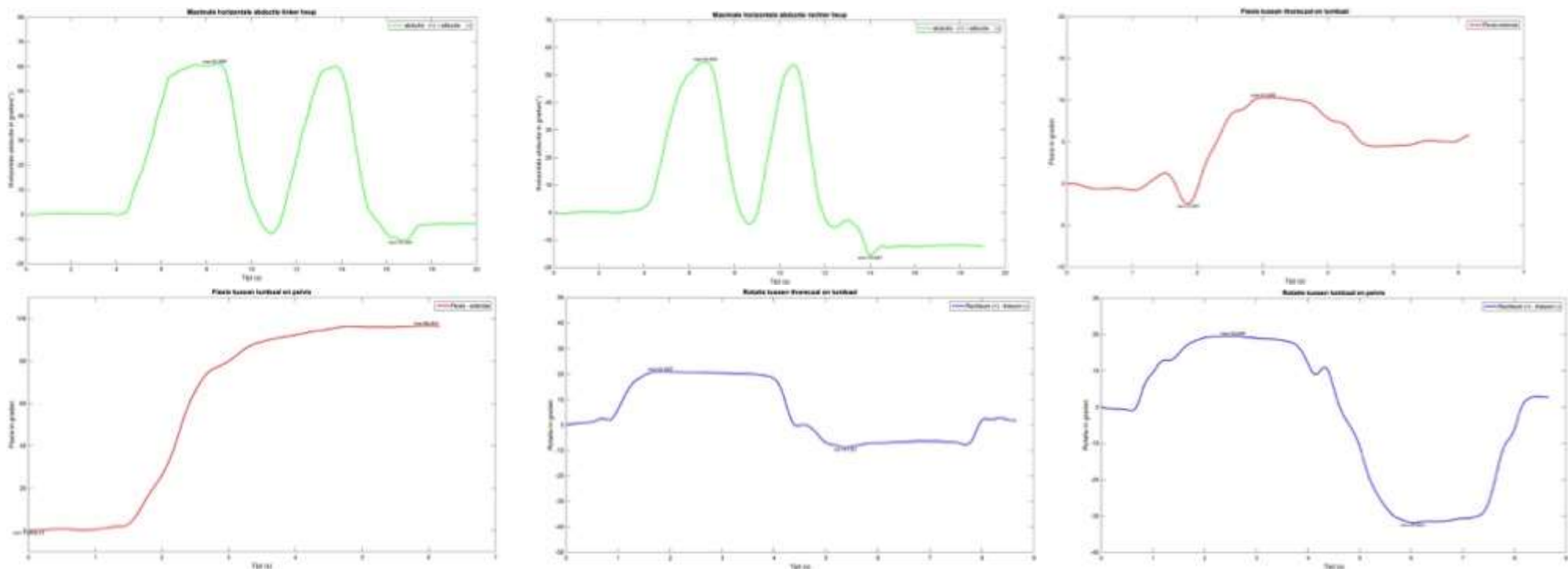
Maximale ROM proefpersoon2

Rechts Links

Heup	Anteflexie	90	94,2
	Retroflexie	23,5	28,4
	Abductie	35	45
	Adductie	18,9	20,3
	Exorotatie	15,5	18,5
	Endorotatie	20,4	21,2
	Horizontale abductie	54,8	61
Rug thorecaal	Flexie	10,3	
	Rotatie	21	8,8
Rug lumbaal	Flexie	93,6	
	Rotatie	19,6	31,8
	Rotatie totaal	40,6	40,6



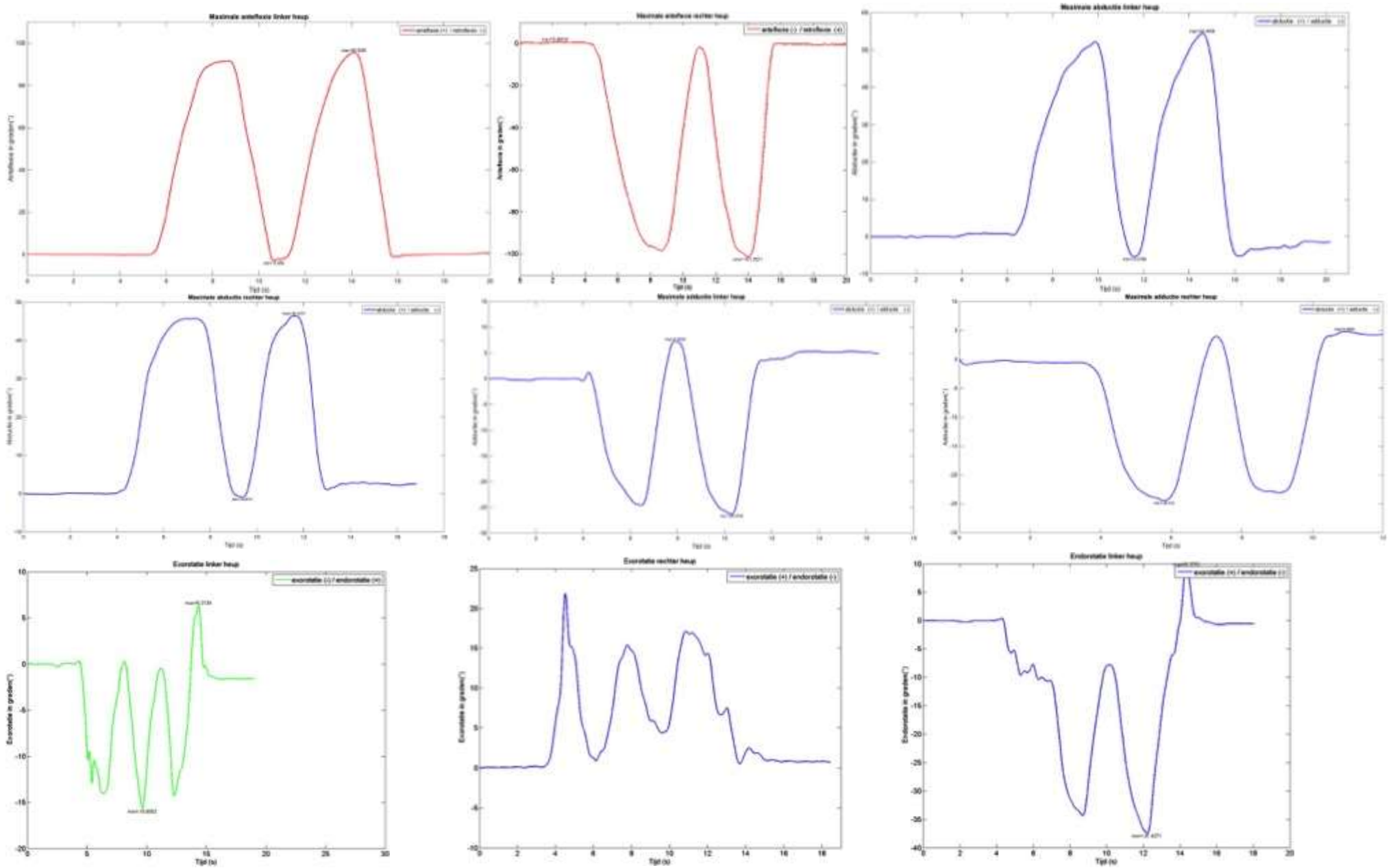


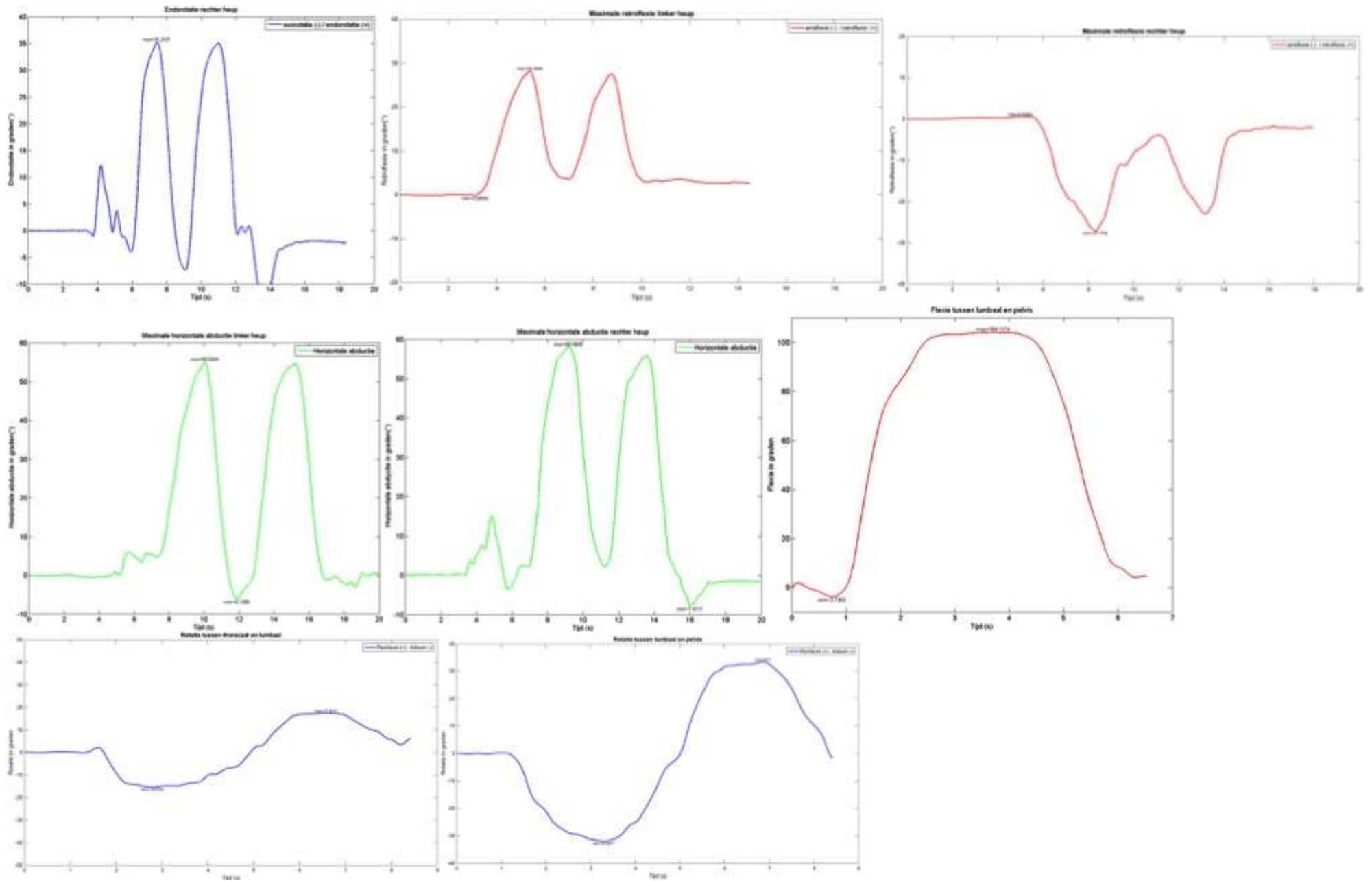


Proefpersoon 3

Maximale ROM proefpersoon 3

		Rechts	Links
Heup	Anteflexie	101,3	95,5
	Retroflexie	27,2	28,8
	Abductie	46,5	54,4
	Adductie	24,5	26,3
	Exorotatie	17,1	15,7
	Endorotatie	35,2	37,4
	Horizontale abductie	58	55
Rug thorecaal	Flexie	/	/
	Rotatie	17,5	15,4
Rug lumbaal	Flexie	104	
	Rotatie	33,4	32
	rotatie totaal	50,9	47,4



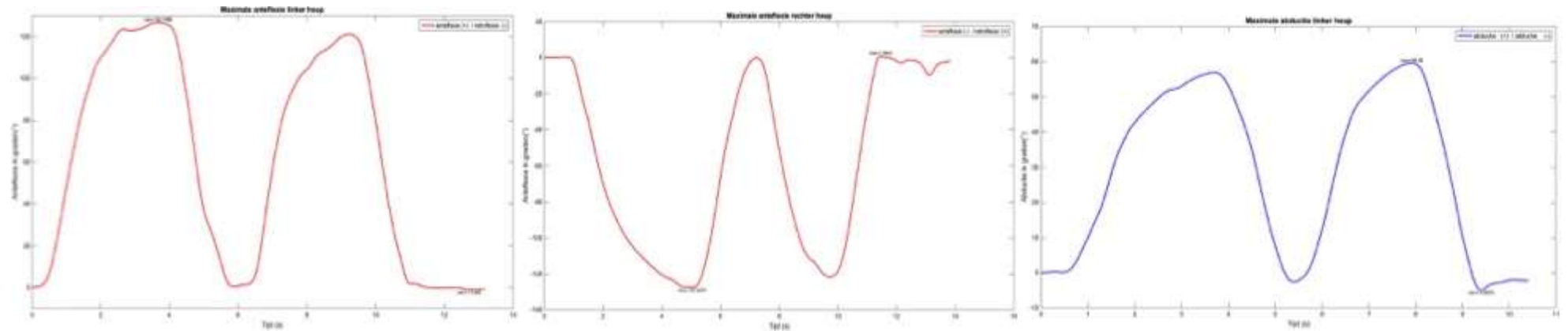


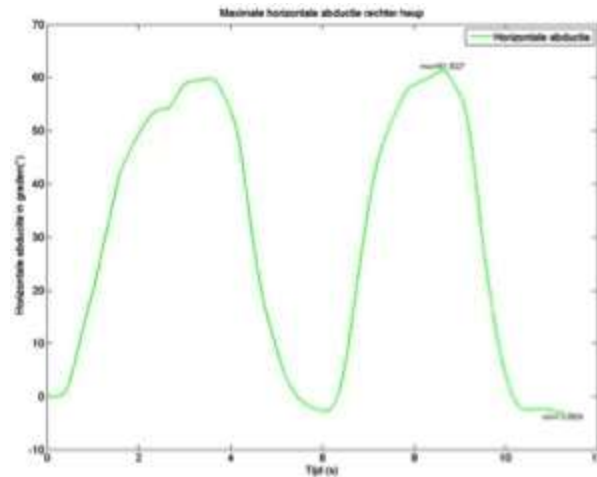
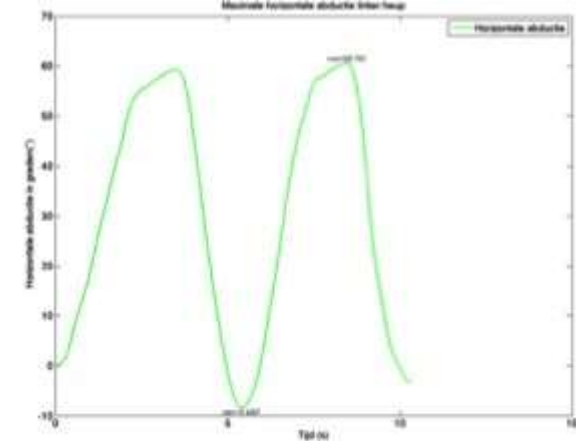
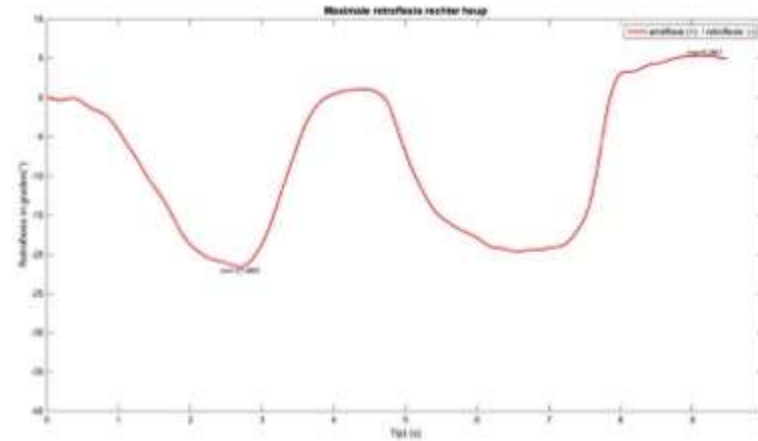
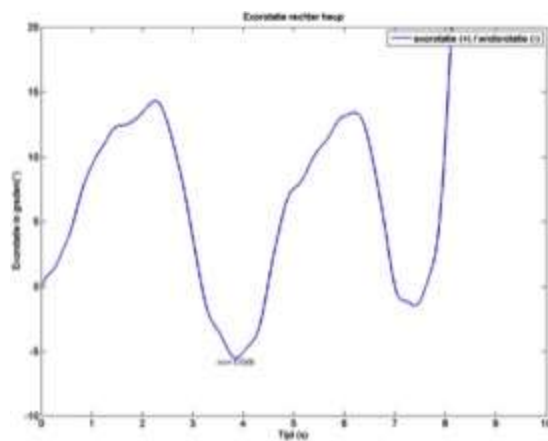
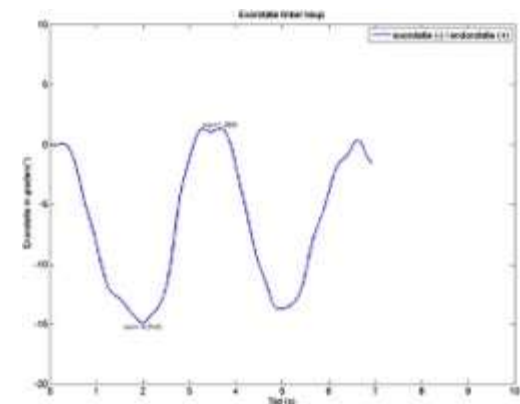
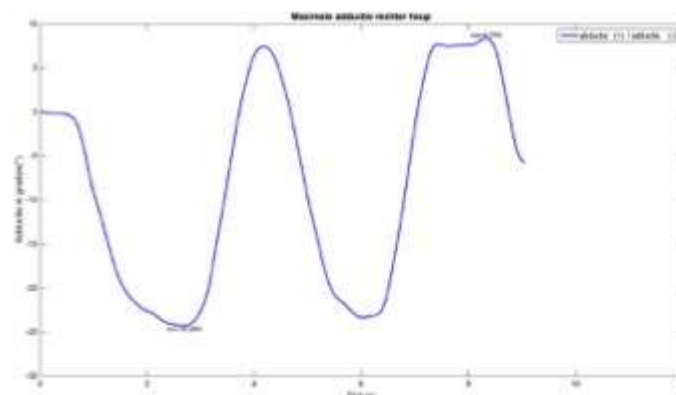
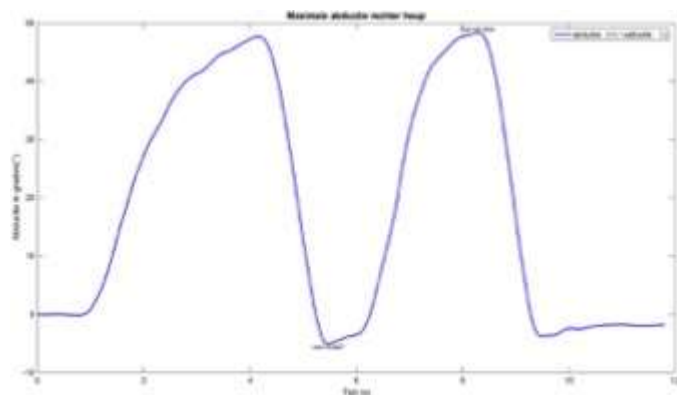
Proefpersoon 4

Maximale ROM proefpersoon 4

Rechts Links

Heup	Anteflexie	127,6	126,8
	Retroflexie	21,6	PELVIS NIET GOED
	Abductie	48,4	59,7
	Adductie	24,3	KAN NIET OPENEN..
	Exorotatie	14,3	14,9
	Endorotatie	41,4	31,5
	Horizontale abductie	61,3	60,7
Rug thorecaal	Flexie	/	
	Rotatie	/	/
Rug lumbaal	Flexie		
	Rotatie	41,3	12,7
	rotatie totaal	54	



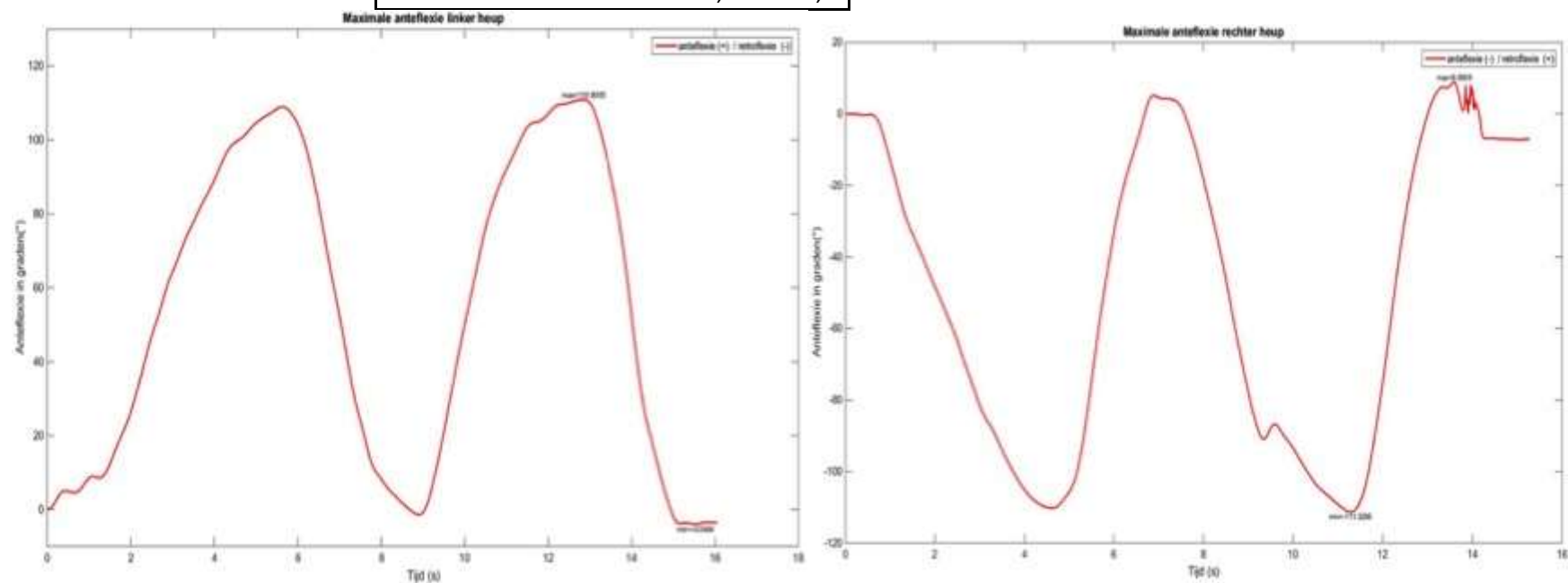


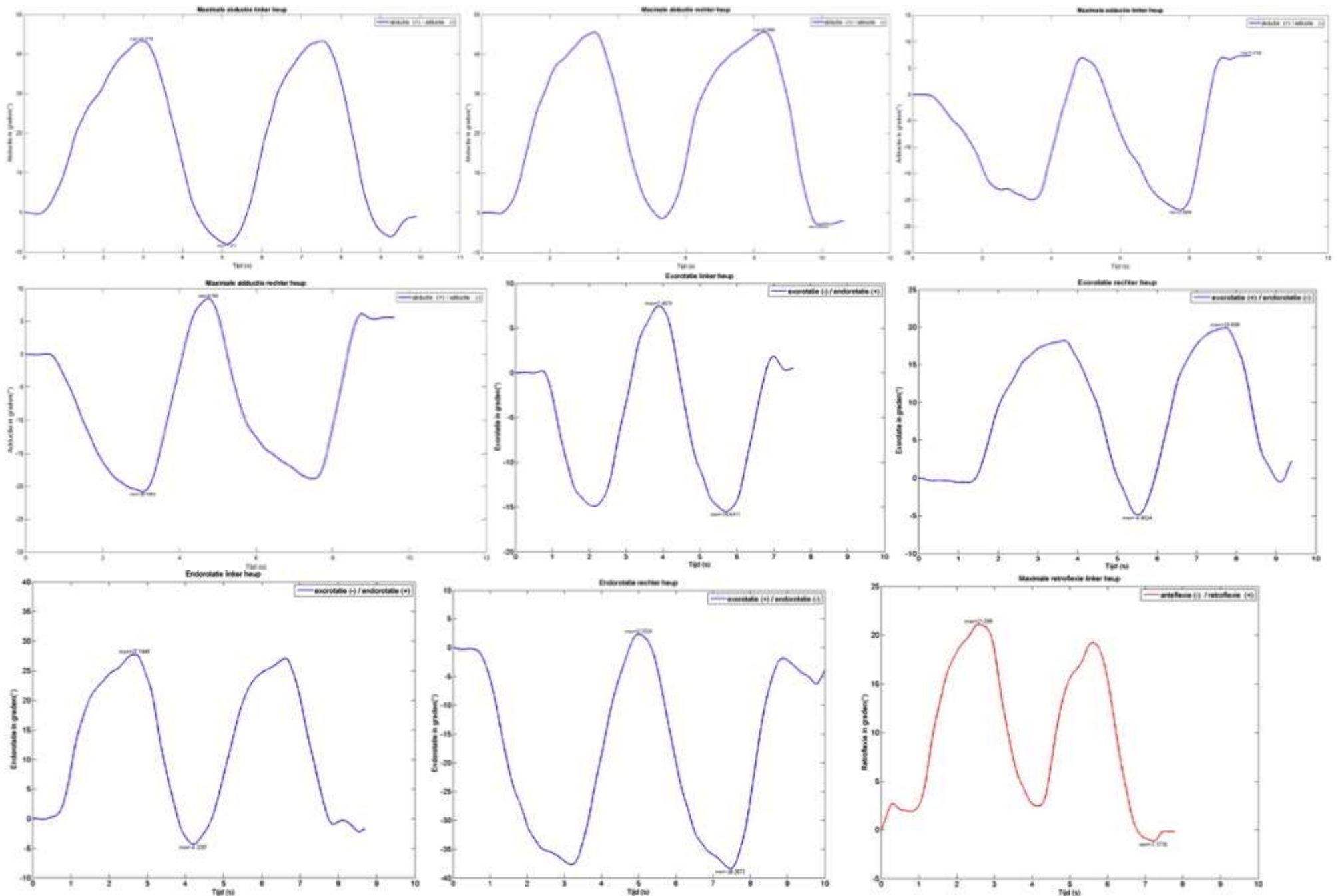
Proefpersoon 5

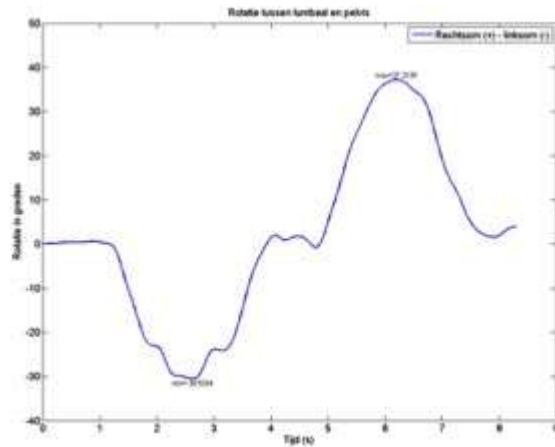
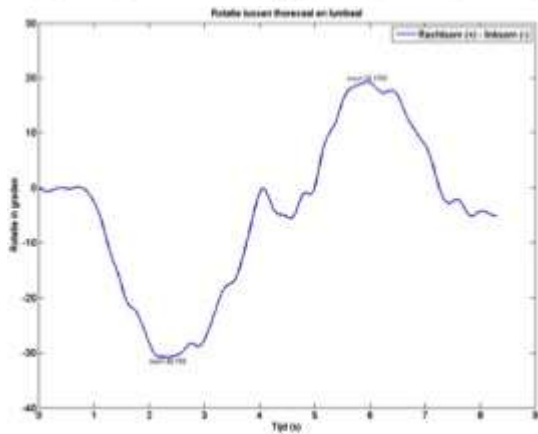
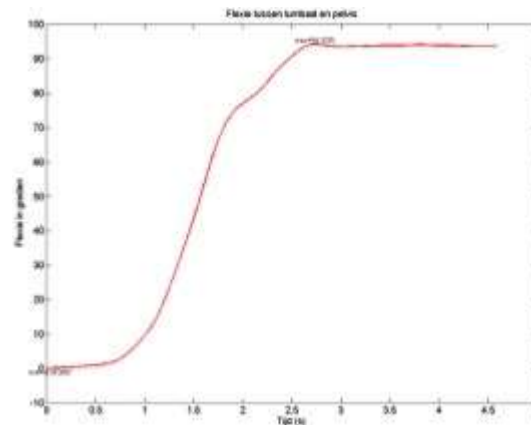
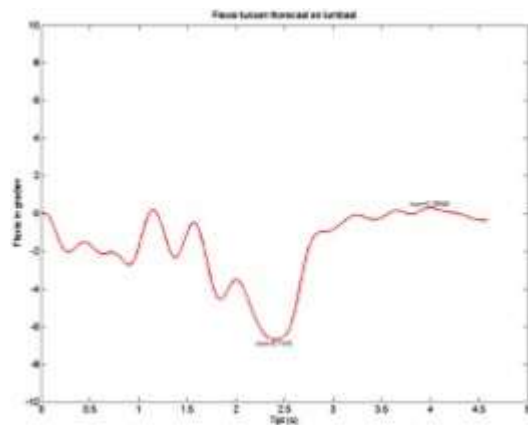
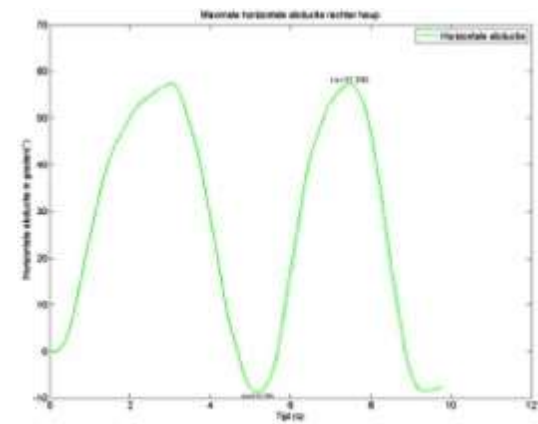
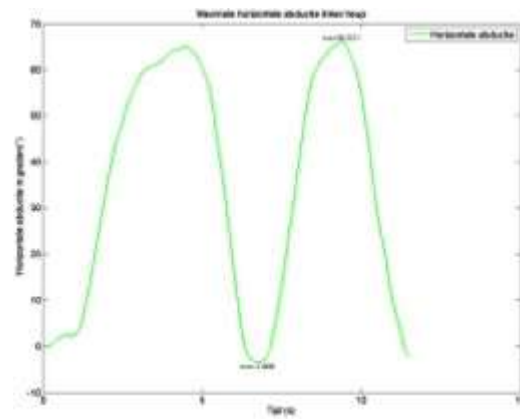
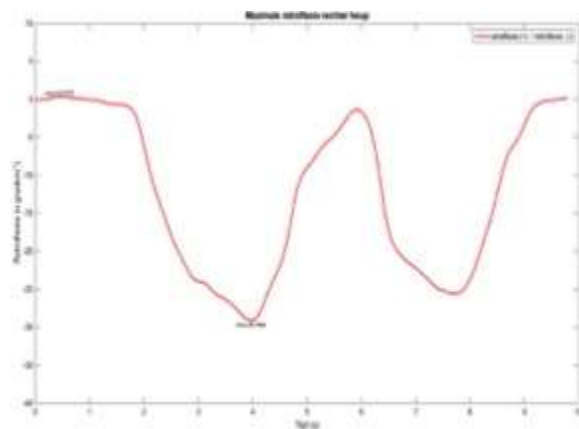
Maximale ROM proefpersoon 5

Rechts Links

Heup	Anteflexie	111,3	110,9
	Retroflexie	29,2	21,1
	Abductie	45,6	43,3
	Adductie	20,8	21,9
	Exorotatie	19,9	15,5
	Endorotatie	38,4	27,7
	Horizontale abductie	57,4	66
Rug thorecaal	Flexie	0,3	
	Rotatie	19,2	30,8
Rug lumbaal	Flexie	94,1	
	Rotatie	37,2	30,5
	rotatie totaal	56,4	61,3







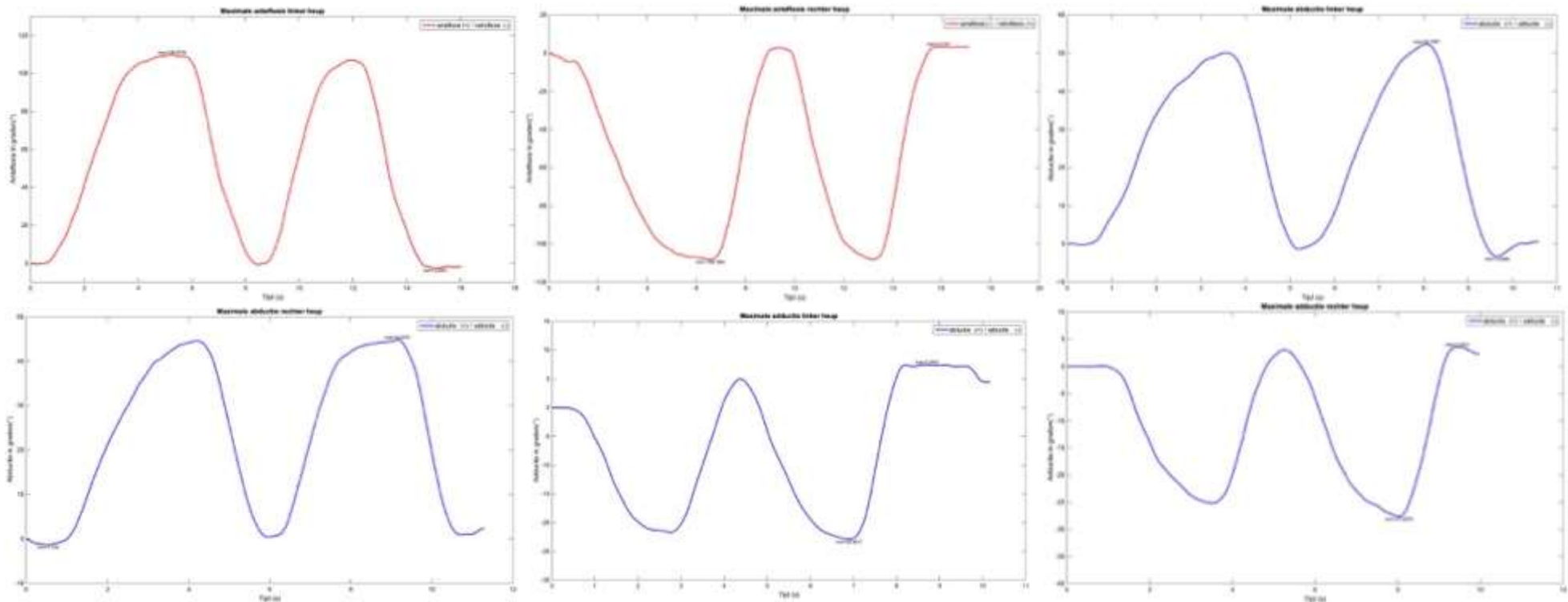
Proefpersoon 6

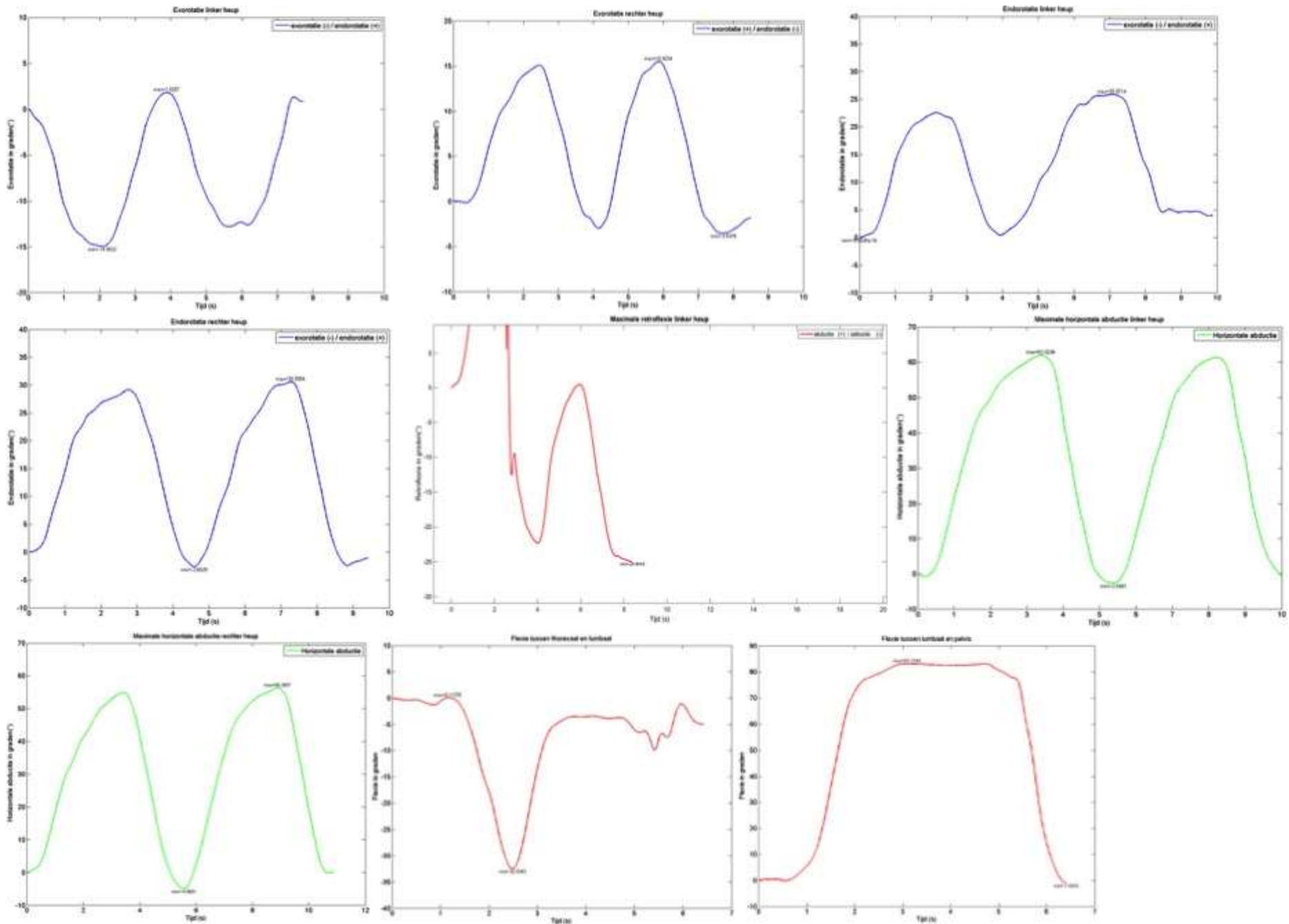
Maximale ROM proefpersoon 6

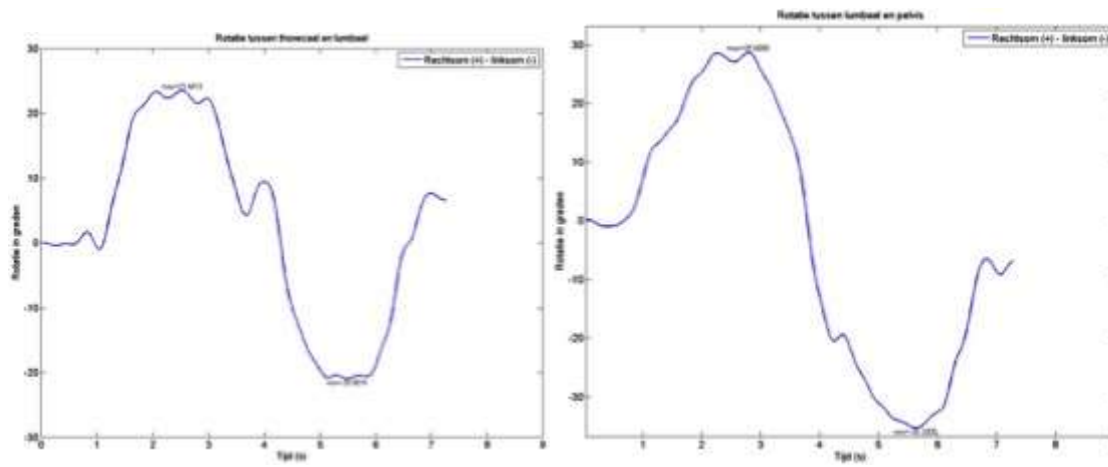
Rechts

Links

Heup	Anteflexie	108,2	109,9
	Retroflexie	PELVIS NIET GOED	24,9
	Abductie	44,9	52,3
	Adductie	27,6	22,9
	Exorotatie	15,5	14,9
	Endorotatie	30,6	25,9
	Horizontale abductie	56,4	62
Rug thorecaal	Flexie	32,5	
Rug lumbaal	Rotatie	23,5	20,9
	Flexie	83,3	
	Rotatie	28,7	35,3
	rotatie totaal	52,2	56,2



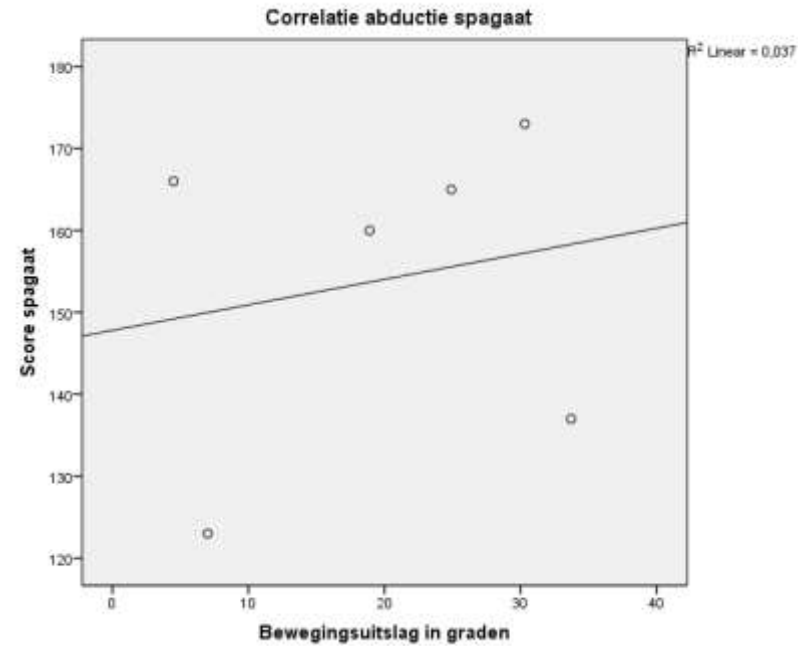
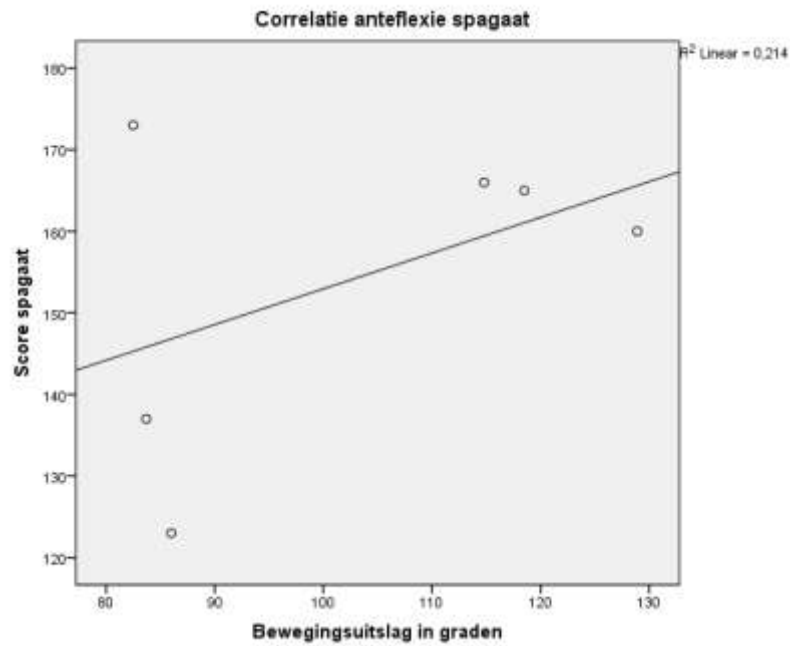


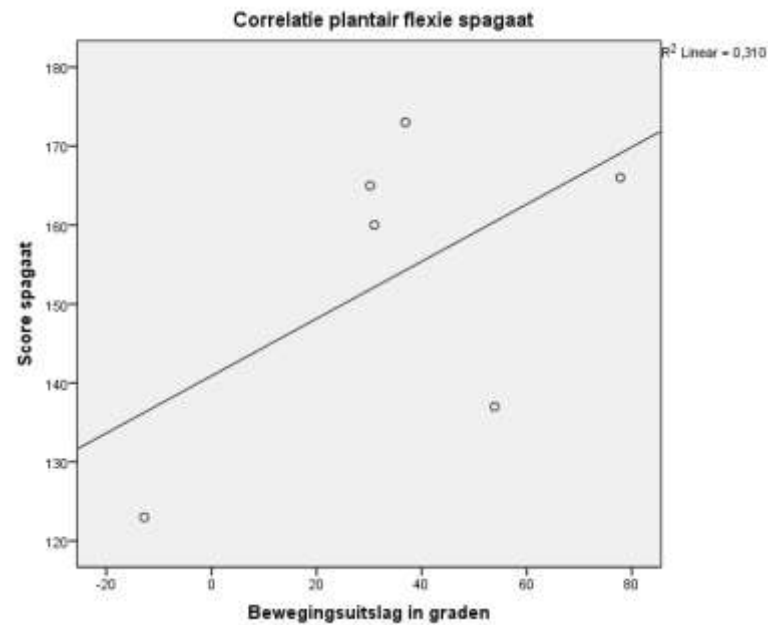
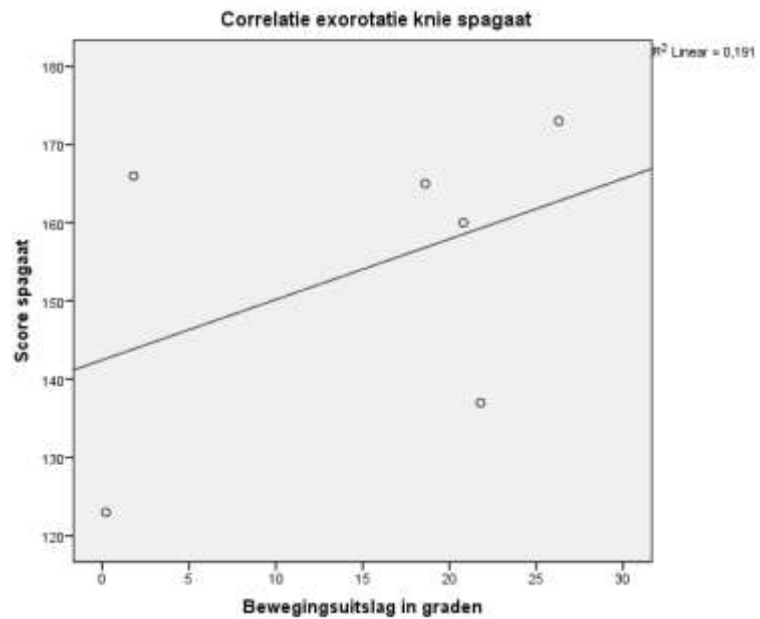
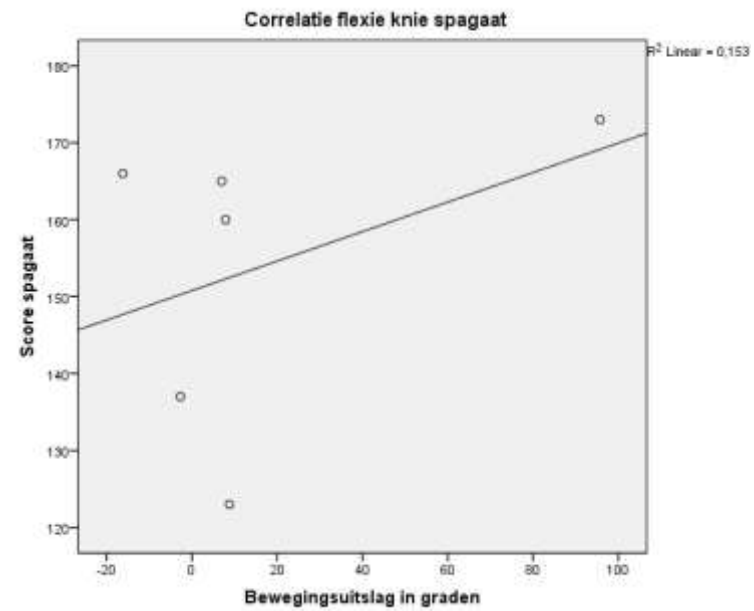
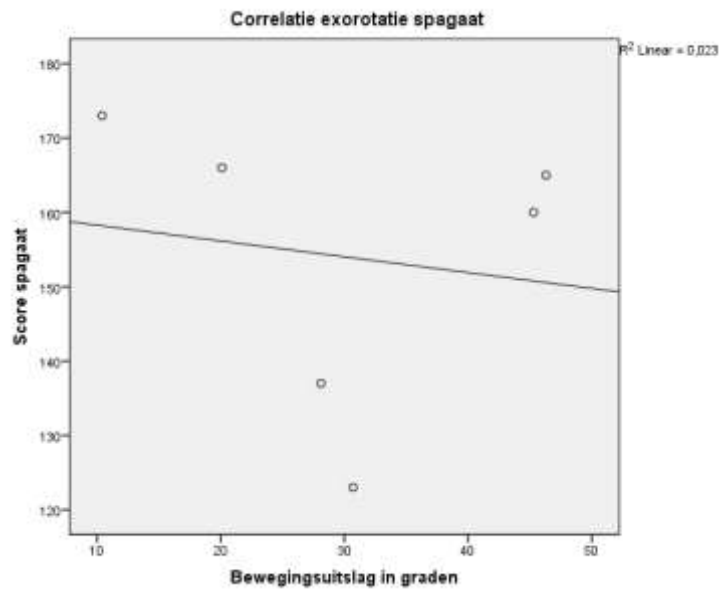


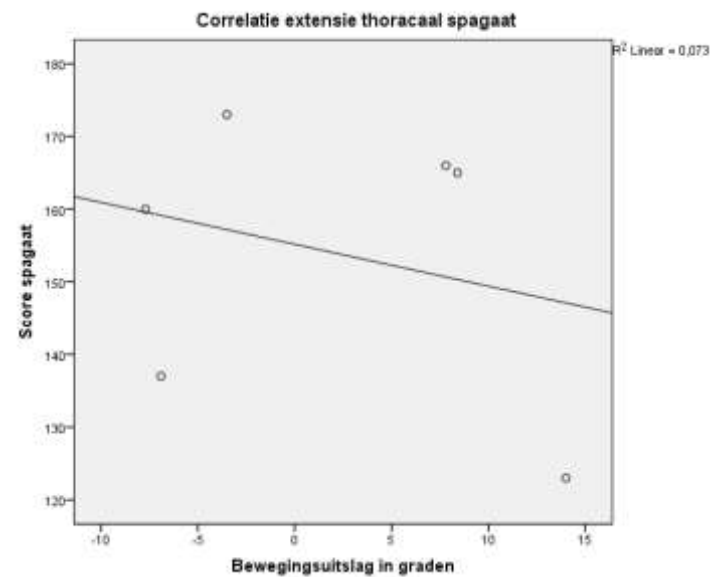
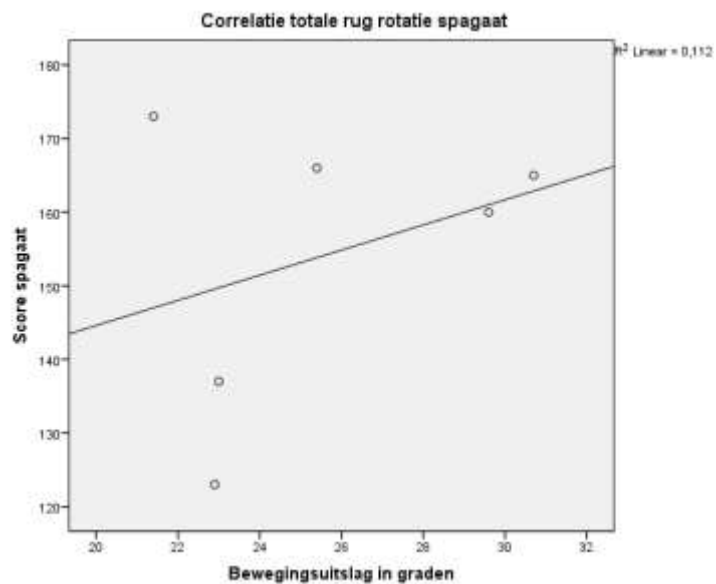
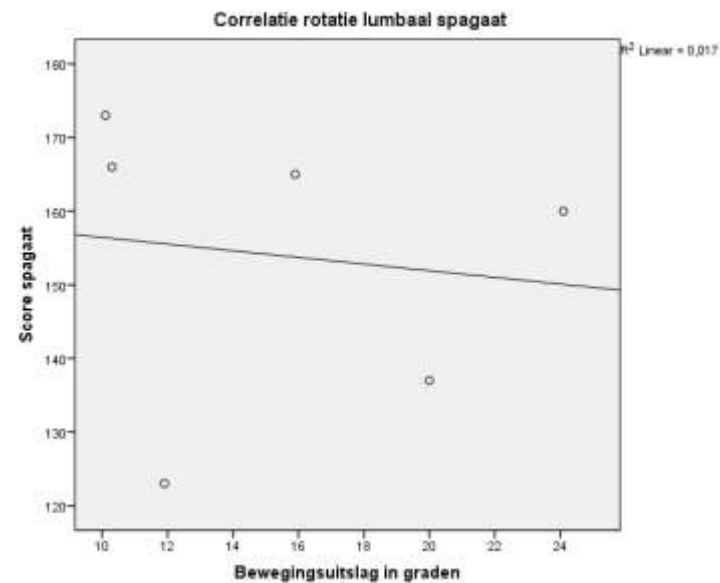
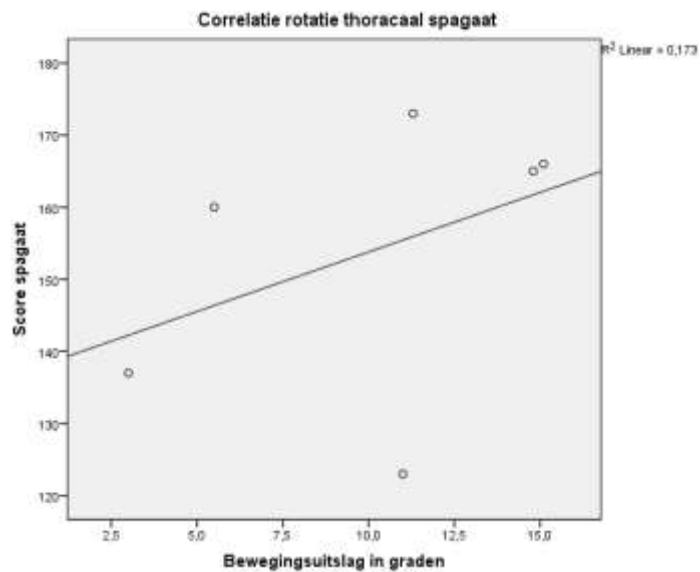
Spagaat vs. score

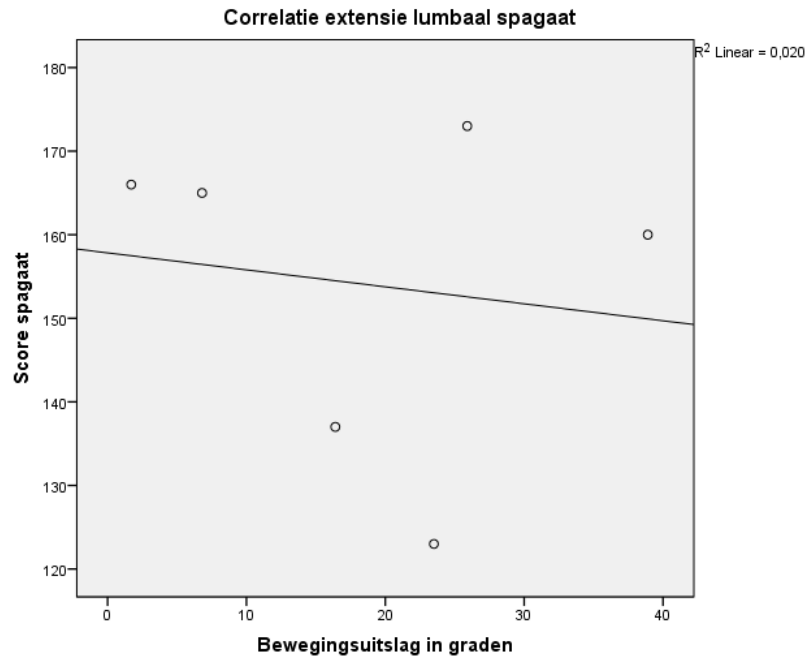
Voorkeursbeen voor

Voorste been:

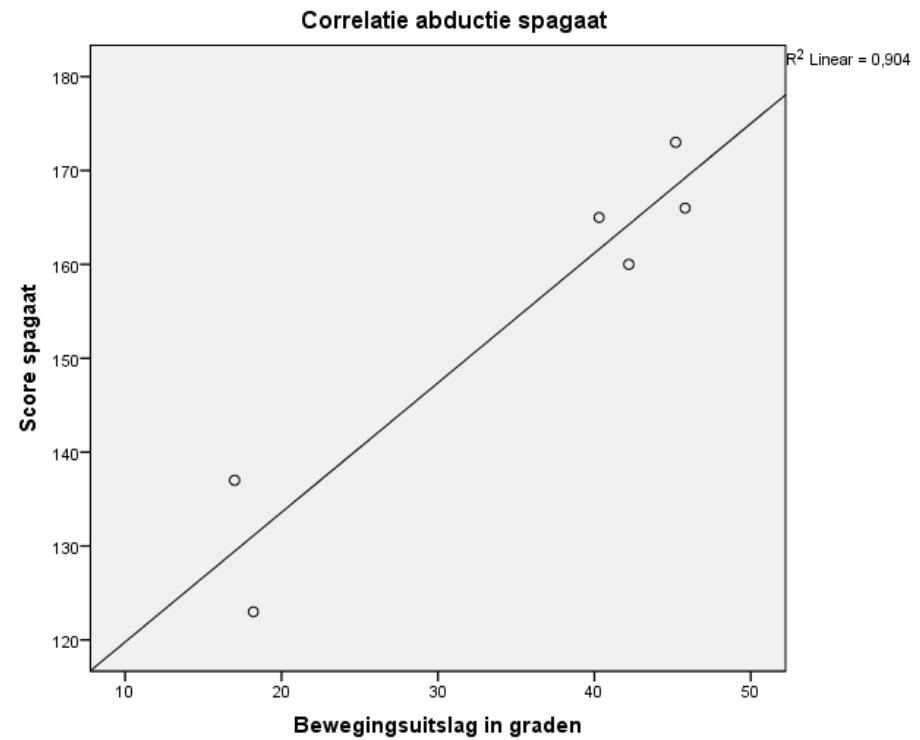
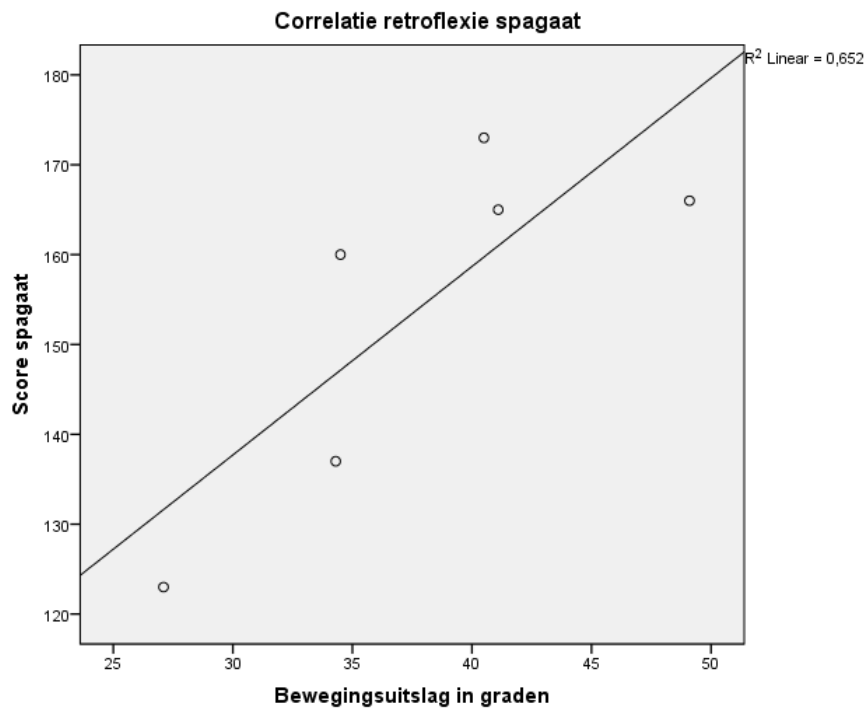


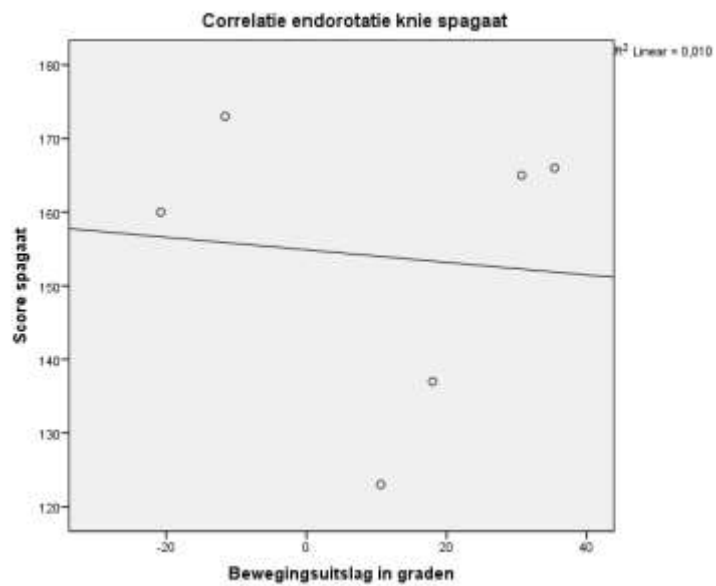
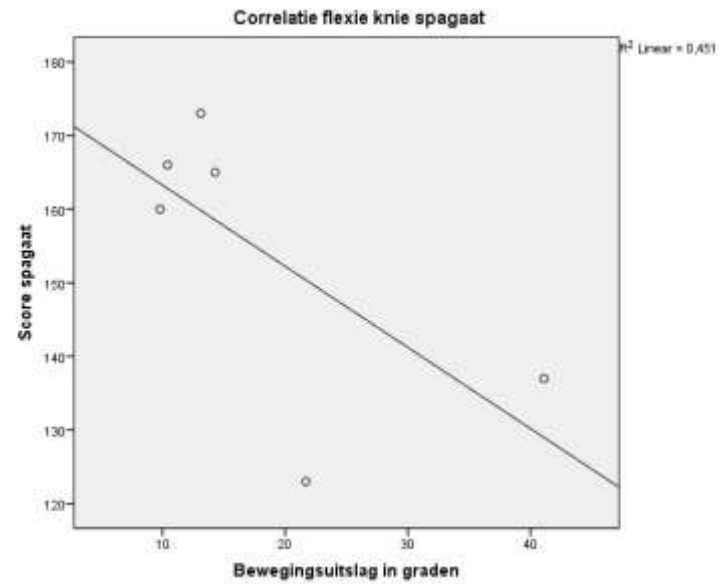
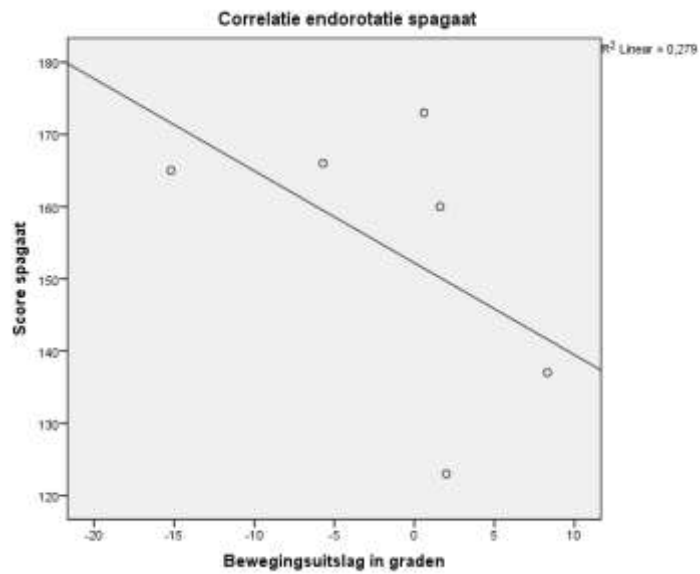






Achterste been:

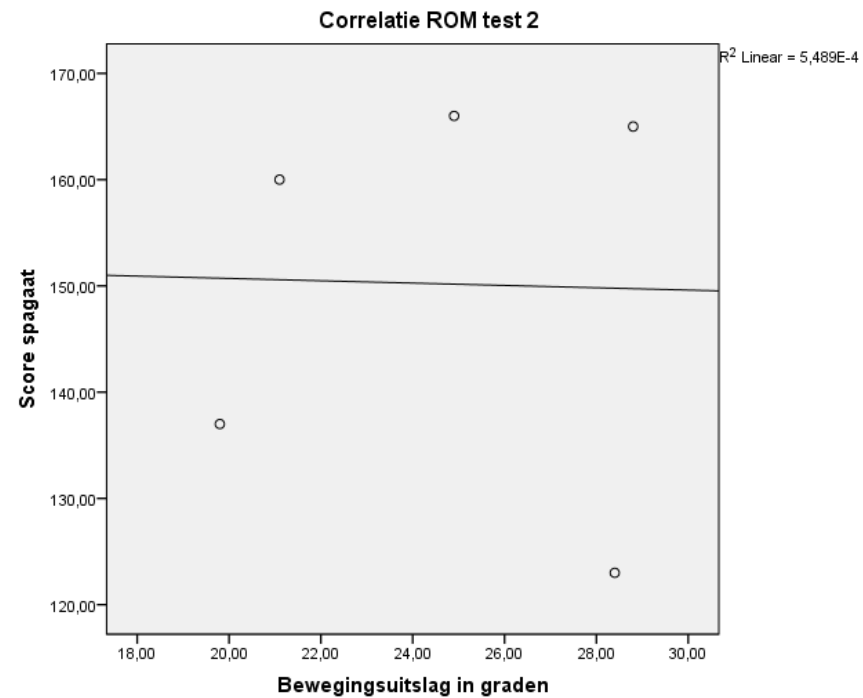
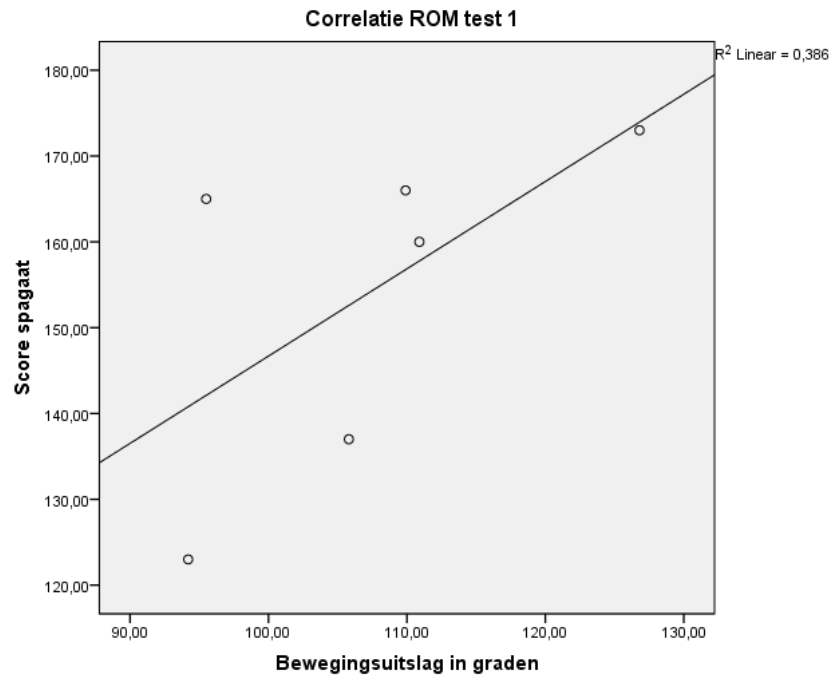


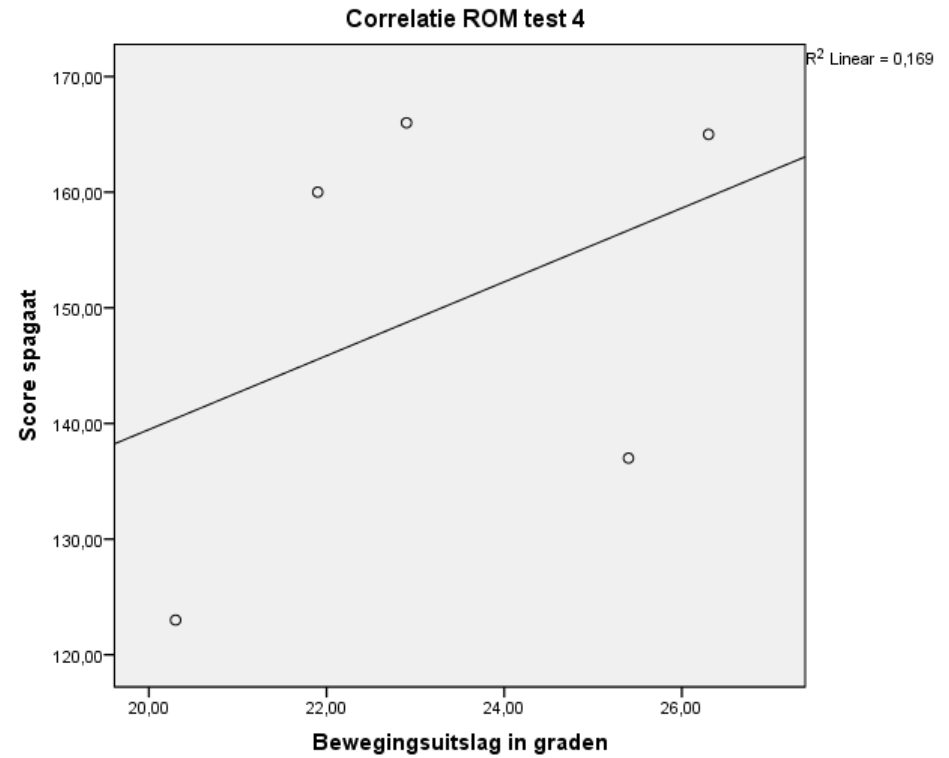
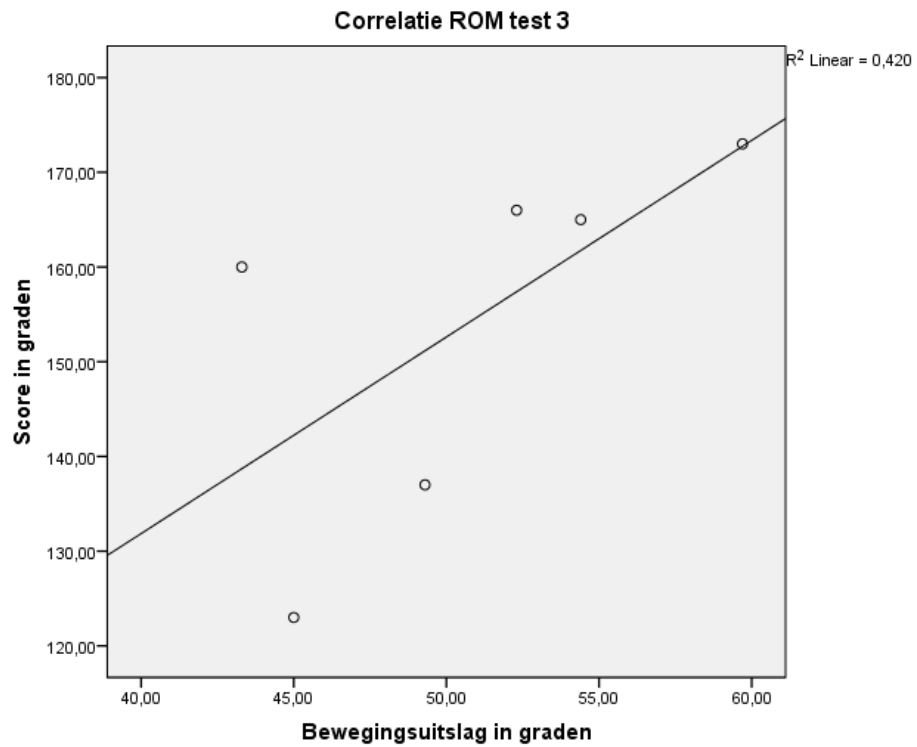


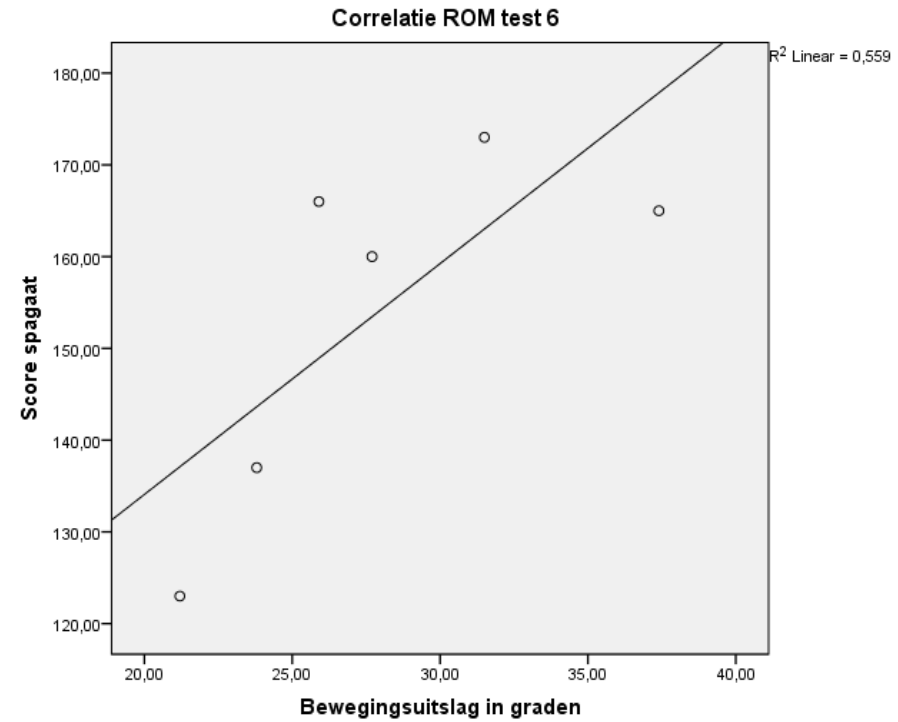
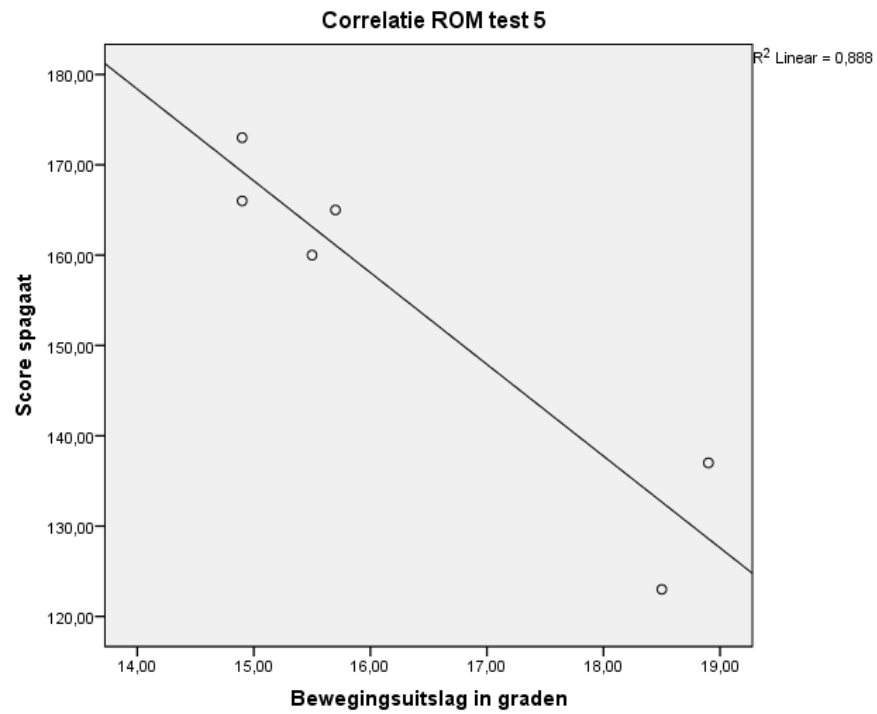
Bijlage III

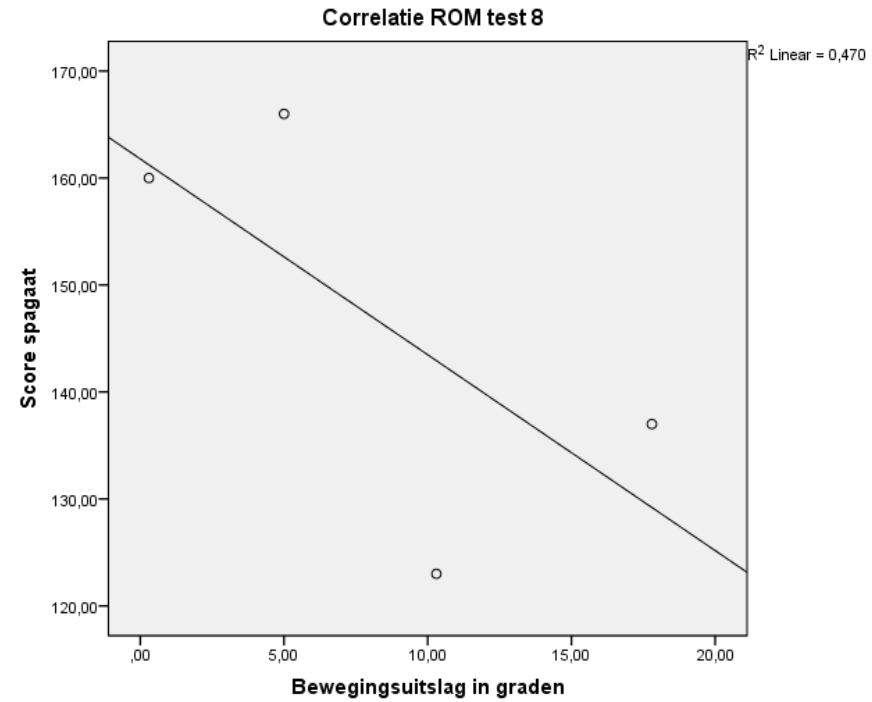
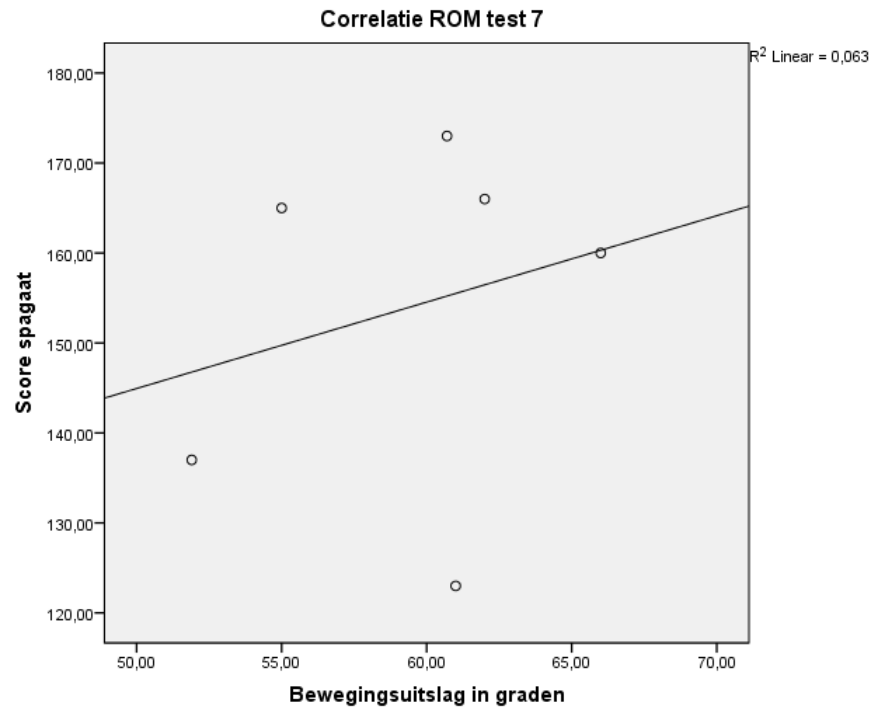
ROM testen

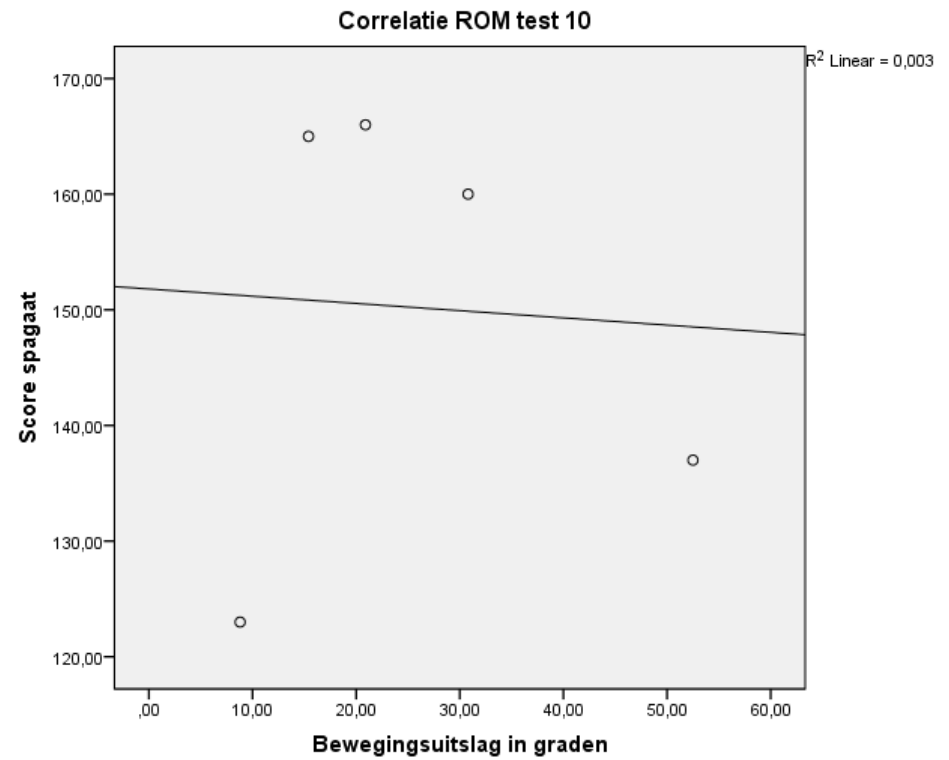
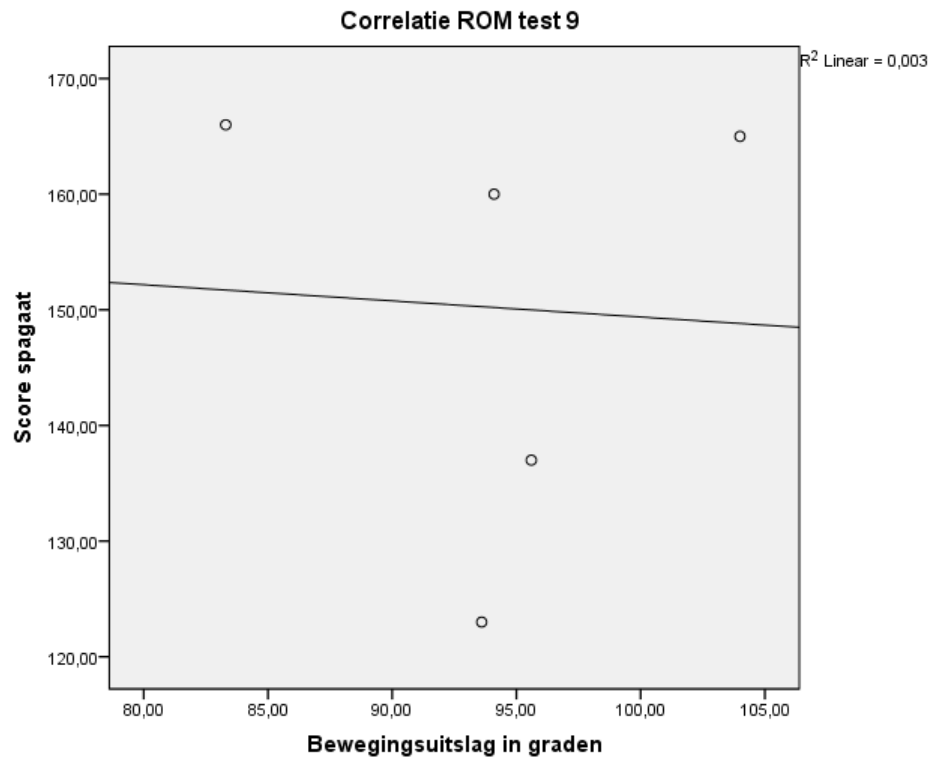
Linker been:

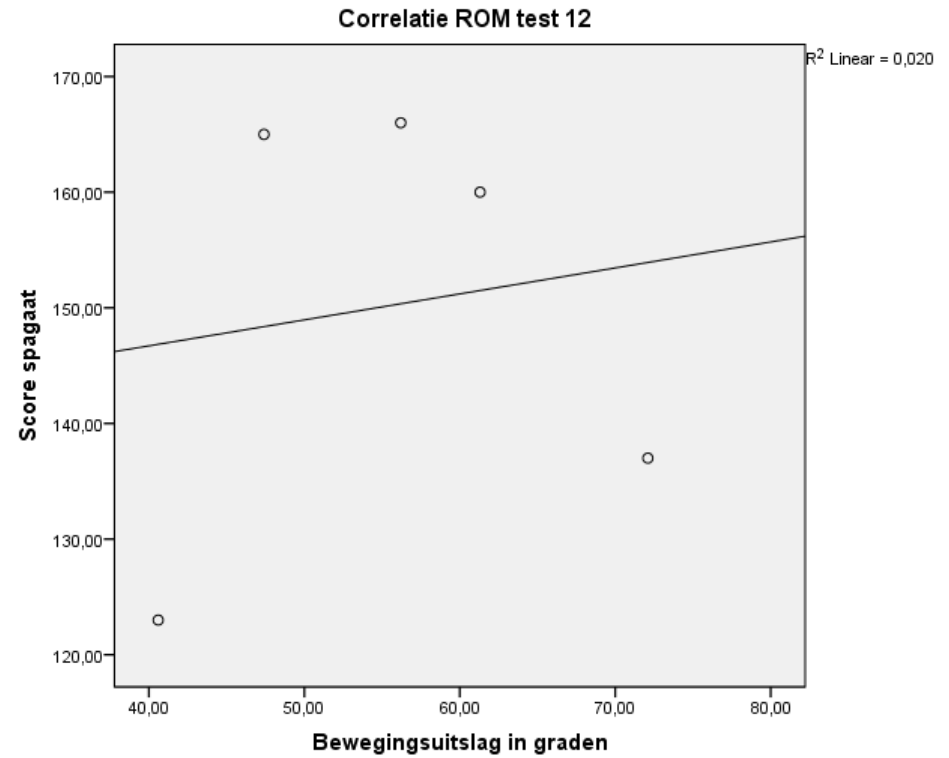
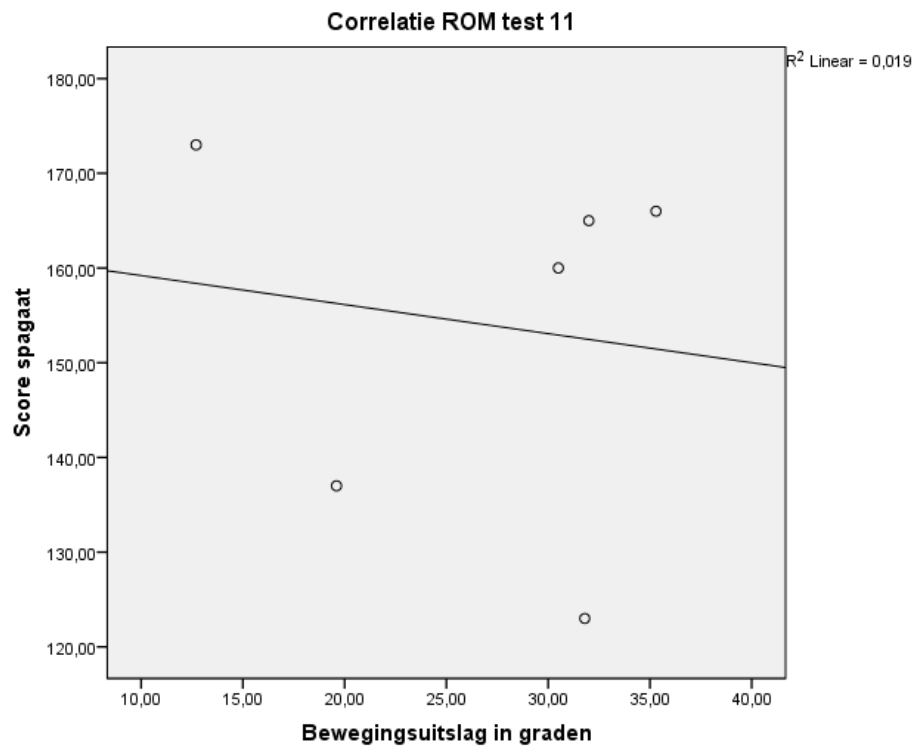




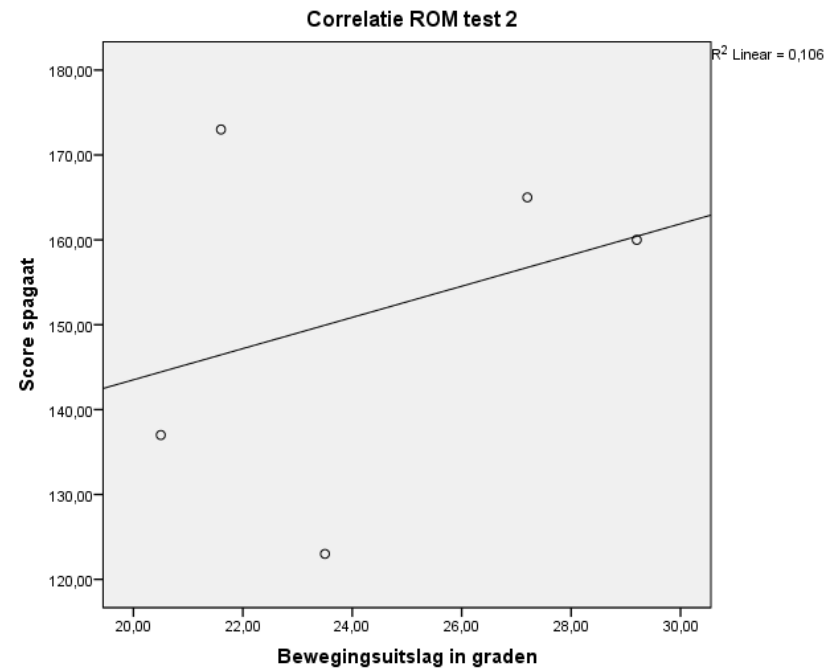
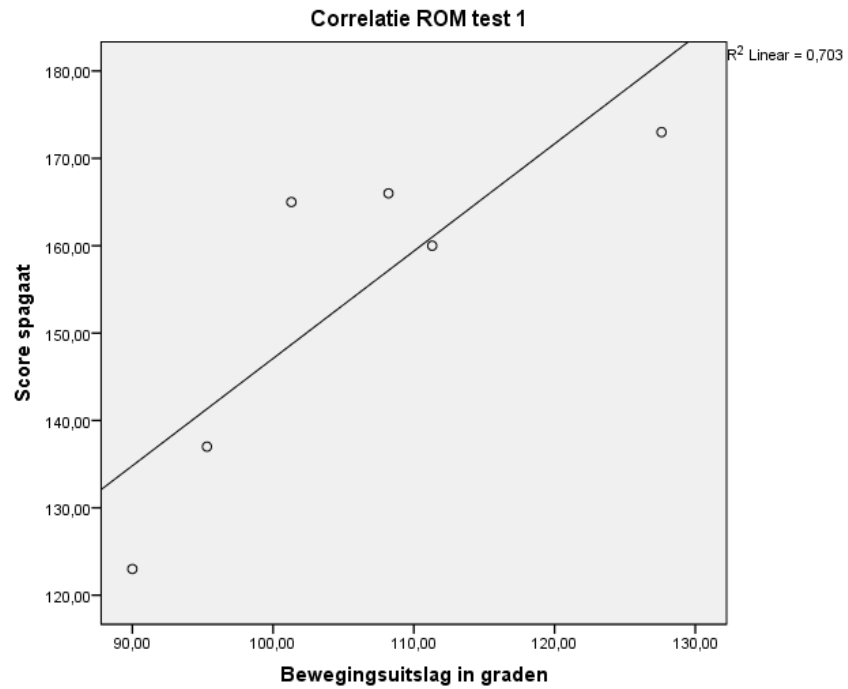


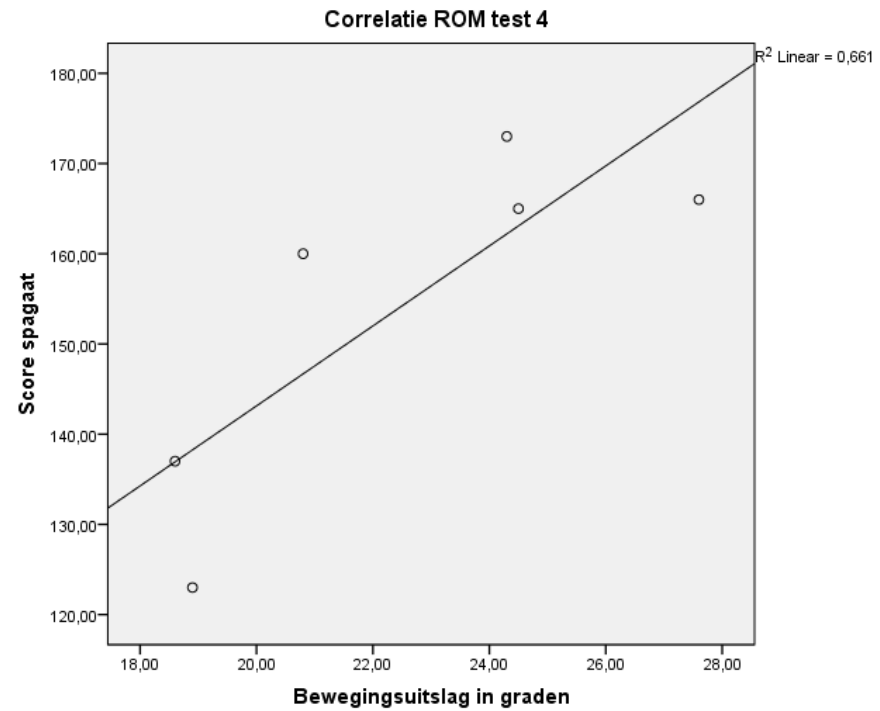
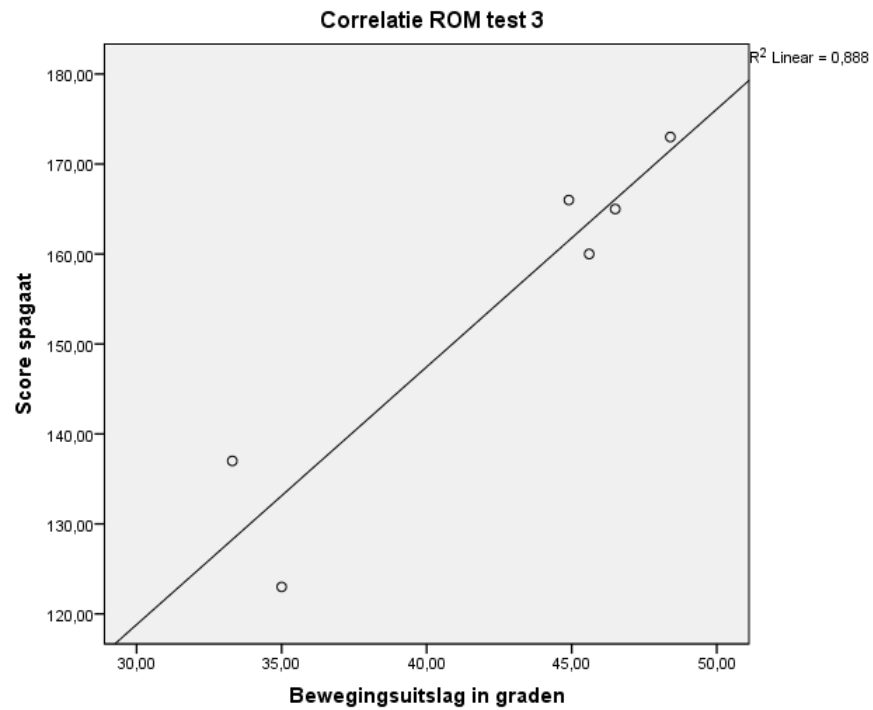


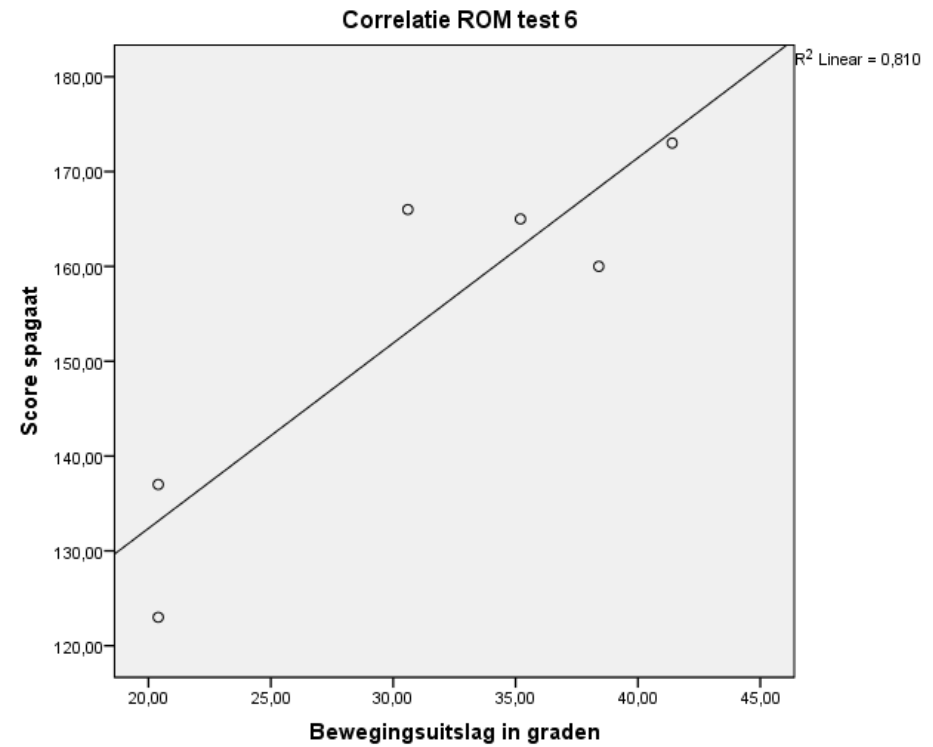
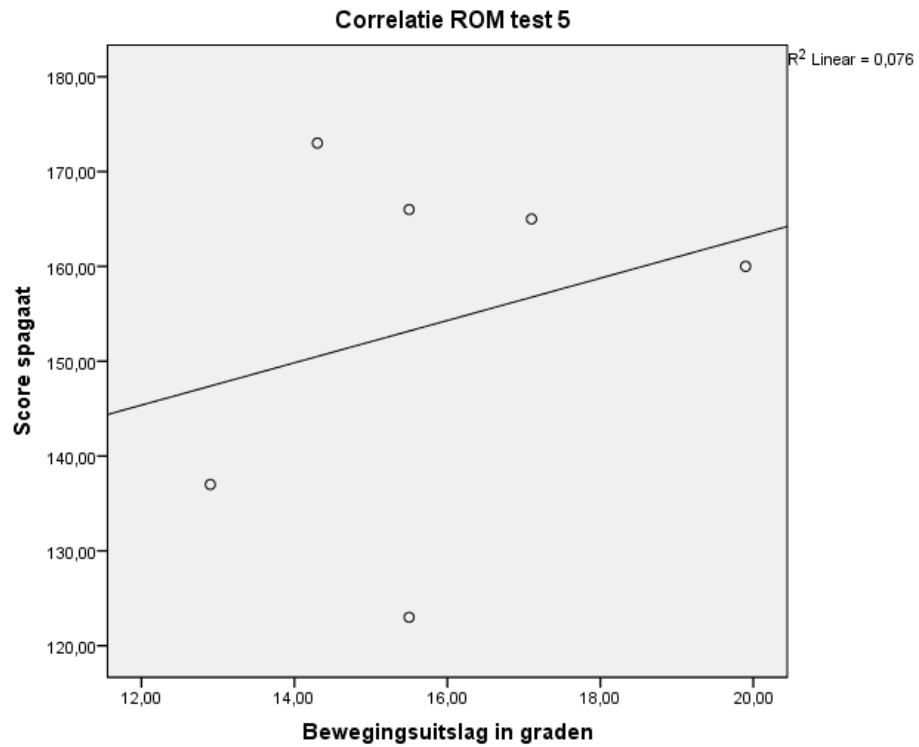


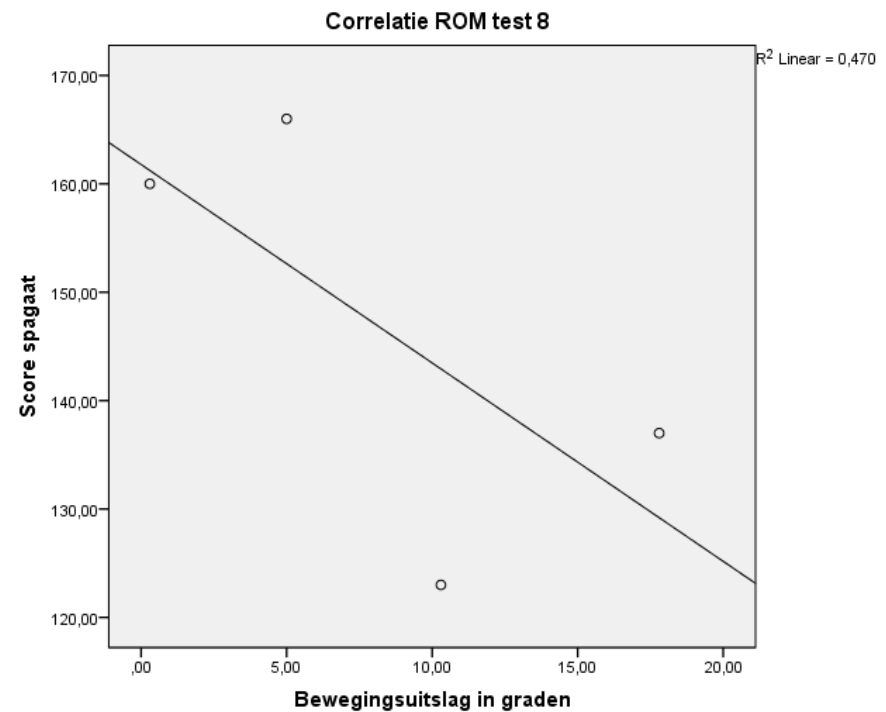
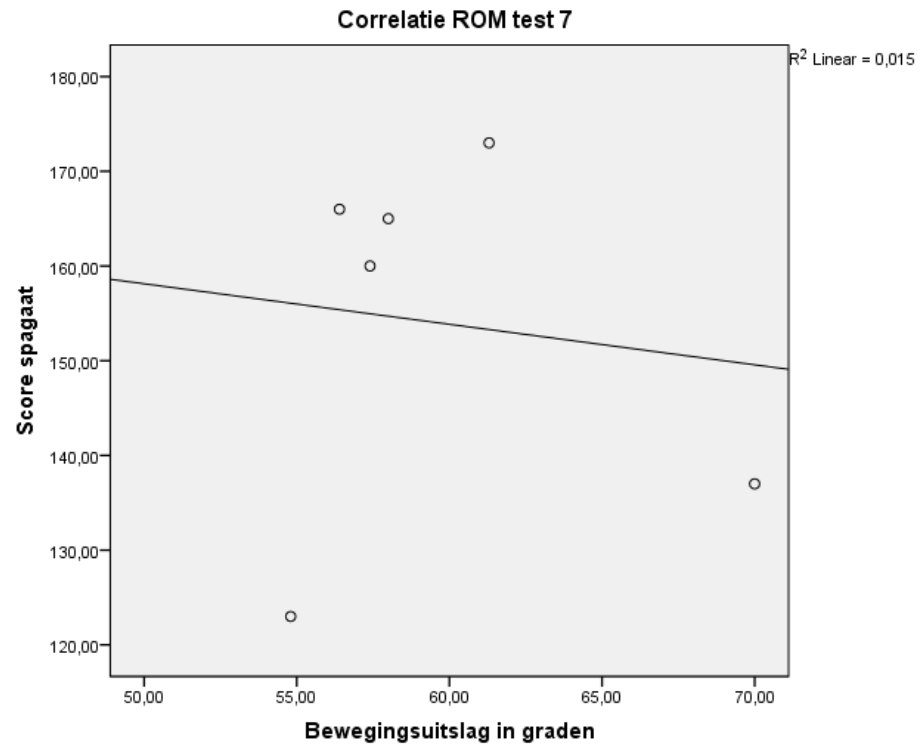


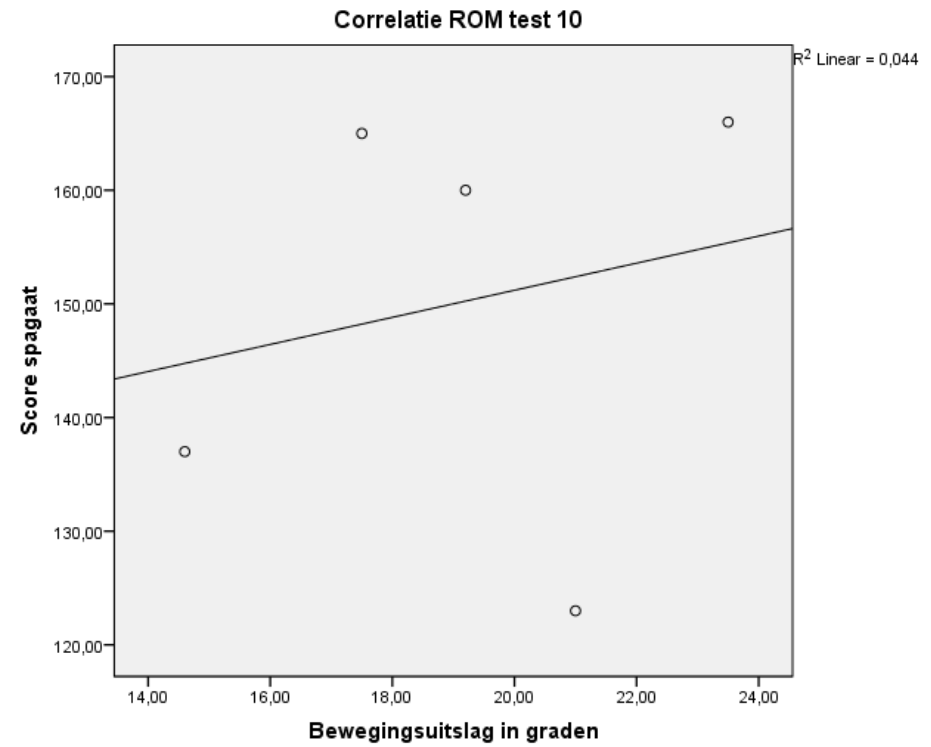
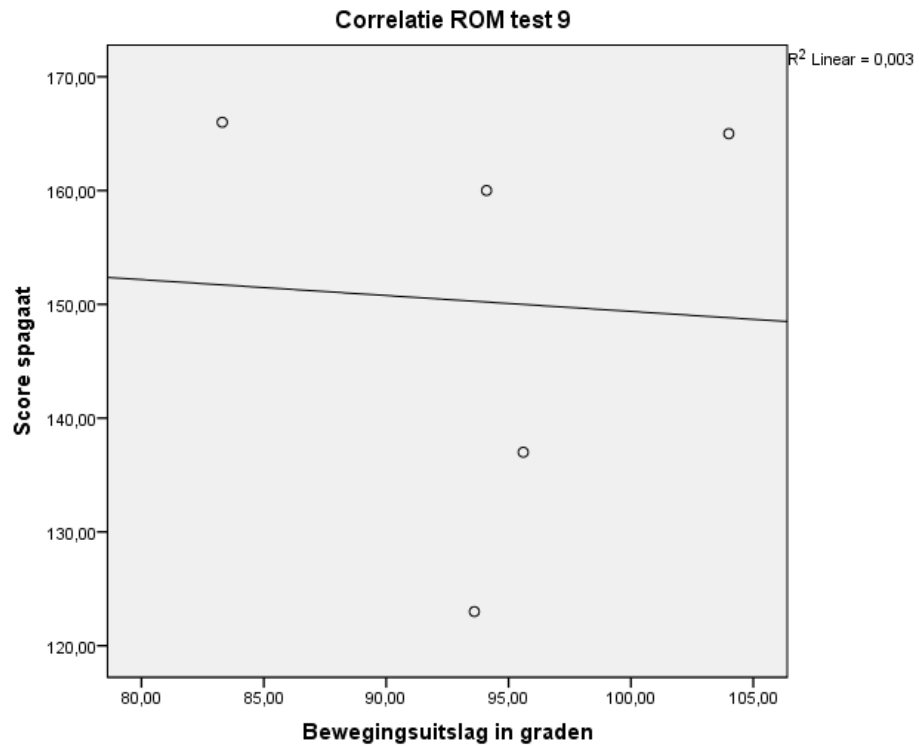
Rechter been

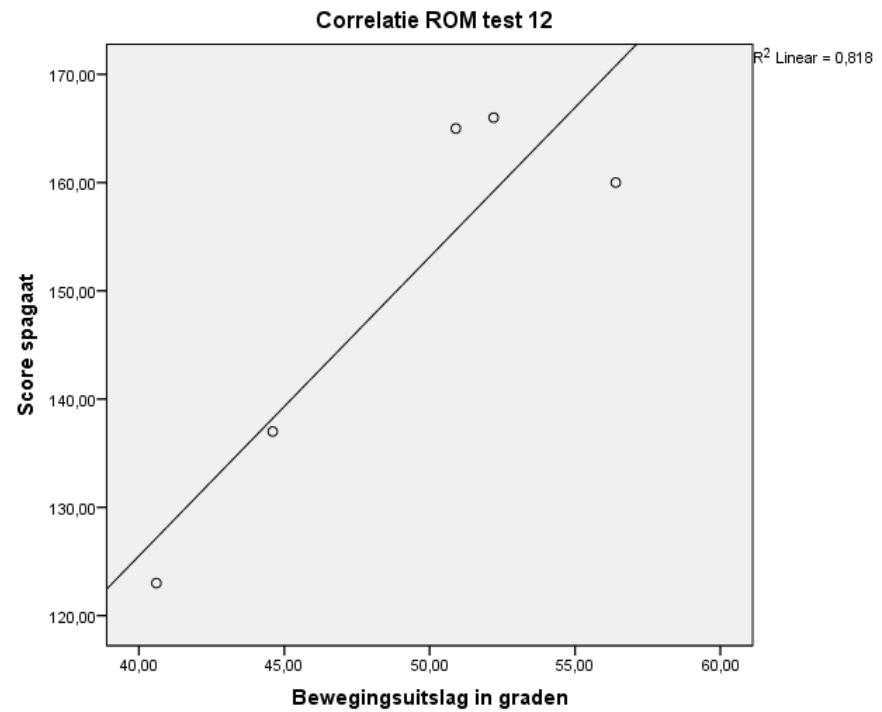
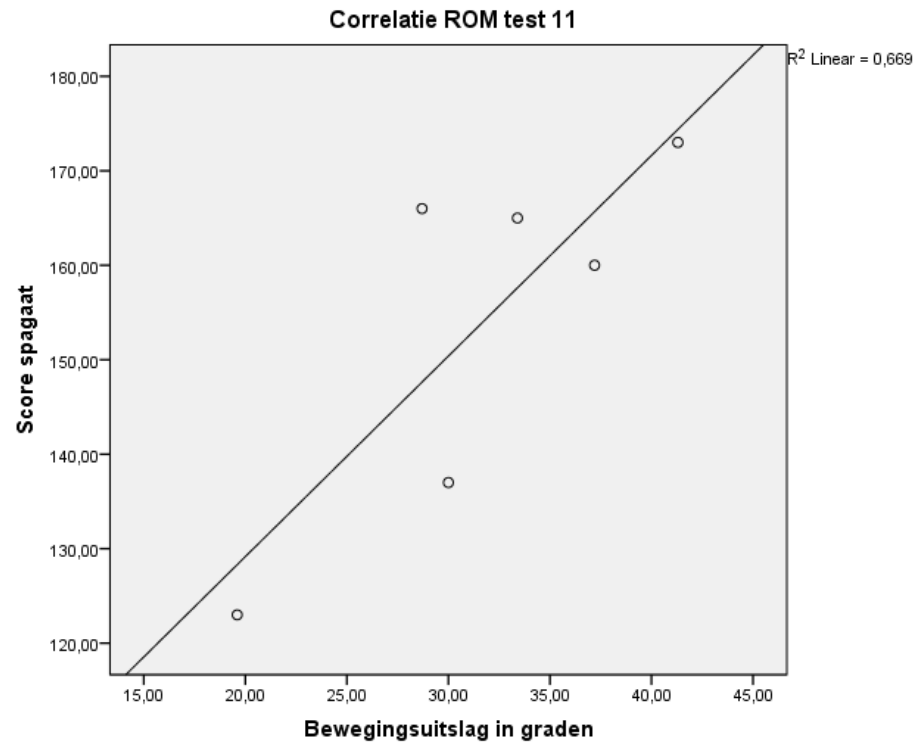












Bijlage III

Matlab scripten

```
%% SPLITS ANALYSIS
clear all
close all

%%
fsOpti=120; %set optitrack video framerate
set(0,'DefaultAxesFontSize',14);
set(0,'defaultlinelength',2);
dataPath = 'L:\Afstuderen\Matlab\Data'; % L:\ = usb stickie E:\= School computer
c3dFile=[dataPath '\pplspagaatR3.c3d'];

% MS GP003 Read Optitrack
rawData = btkReadAcquisition(c3dFile);
data = btkGetMarkers(rawData);
channelNames = fieldnames(data);
% RS OP001 Repair signal Optitrack
% mind the number of channels must correspond to the data and RB format.
chCounter=1;
emptyString=strfind(channelNames,'Marker_');% +++++ mind this adjustment is because of the
extra exported non-labeled markers +++++

for i=1:length(channelNames)
    if emptyString{i}>1
        channelNamesCorrect{chCounter,1}=channelNames{i};
        chCounter=chCounter+1;
    end
end

for channel = 1:length(channelNamesCorrect)
    optiRe(channel).re(3,:) = (data.(channelNamesCorrect{channel})(:,1))'; % Correction
    % Optitrack to ISB recommendations for coordinate system
    optiRe(channel).re(1,:) = (data.(channelNamesCorrect{channel})(:,2))'; % See
    % "ReadC3DOptitrack.m" file for more documentation
    optiRe(channel).re(2,:) = (data.(channelNamesCorrect{channel})(:,3))';
end

% RS OP002 store markers per element in matlab struct optiRb RANDOM ORDER OF MARKERS!!!!!!
pelvicString=strfind(channelNamesCorrect,'PELVIC');
rightfemurString=strfind(channelNamesCorrect,'RIGHT_BB');
righttibiaString=strfind(channelNamesCorrect,'RIGHT_OB');
leftfemurString=strfind(channelNamesCorrect,'LEFT_BB');
lefttibiaString=strfind(channelNamesCorrect,'LEFT_OB');
leftfootString=strfind(channelNamesCorrect,'FOOT');
thoracalString=strfind(channelNamesCorrect,'THORAC');
lumbalString=strfind(channelNamesCorrect,'LUMBAL');

plCounter=1;rfeCounter=1;rtiCounter=1;lfeCounter=1;ltiCounter=1;lfoCounter=1;thorCounter=1;lum
Counter=1;

for i =1:length(channelNamesCorrect)
    if pelvicString{i}>0
        optiRb(1).ma(plCounter).re=optiRe(i).re; % 1=pelvic
        plCounter=plCounter+1;
    elseif rightfemurString{i}>0
        optiRb(2).ma(rfeCounter).re=optiRe(i).re; % 2=rechter bovenbeen
        rfeCounter=rfeCounter+1;
    elseif righttibiaString{i}>0
        optiRb(3).ma(rtiCounter).re=optiRe(i).re; % 3=rechter onderbeen
        rtiCounter=rtiCounter+1;
    elseif leftfemurString{i}>0
        optiRb(4).ma(lfeCounter).re=optiRe(i).re; % 4=linker bovenbeen
        lfeCounter=lfeCounter+1;
    elseif lefttibiaString{i}>0
        optiRb(5).ma(ltiCounter).re=optiRe(i).re; % 5=linker onderbeen
        ltiCounter=ltiCounter+1;
    elseif leftfootString{i}>0
        optiRb(6).ma(lfoCounter).re=optiRe(i).re; % 6=linker voet
    end
end
```

```

        lfoCounter=lfoCounter+1;
    elseif thoracalString{i}>0
        optiRb(7).ma(thorCounter).re=optiRe(i).re; % 7=thorecaal
        thorCounter=thorCounter+1;
    elseif lumbalString{i}>0
        optiRb(8).ma(lumCounter).re=optiRe(i).re; % 8=lumbaal
        lumCounter=lumCounter+1;
    end
end

% low pass filter the markerdata
fc = 3;
fs = 120;
order = 4;
Wn = fc/(fs/2);
[B,A] = butter (order,Wn);
for i = 1:8
    for j = 1:3
        optiRb(i).ma(j).re(1,:) = filtfilt(B,A,optiRb(i).ma(j).re(1,:));
        optiRb(i).ma(j).re(2,:) = filtfilt(B,A,optiRb(i).ma(j).re(2,:));
        optiRb(i).ma(j).re(3,:) = filtfilt(B,A,optiRb(i).ma(j).re(3,:));
    end
end

% calculate Local Coordinate System from clustermarkers (transformation matrix (4x4)
% referentie frame/positie, een van de eerste frames wordt gebruikt voor de
% referentie. aangeven welke frame als referentie moet worden gebruikt.
refFrame=1; %frame kiezen voor referentie positie
nFrames=length(optiRb(1).ma(1).re); %cluster Pelvic, marker 1 (referentie cluster
timeLine=0:1/fsOpti:(length(optiRb(1).ma(1).re)/fsOpti)-(1/fsOpti);

%4x4 matrix maken voor elk lichaamssegment van de referentie positie (een matrix per
%lichaamssegment)
for i=1:8 %3 is aantal clusters die gebruikt zijn
    optiRb(i).Tref=
    CalcTransMat(optiRb(i).ma(1).re(:,refFrame),optiRb(i).ma(2).re(:,refFrame),optiRb(i).ma(3).re(
    :,refFrame));
end
% orientatie matrix maken voor alle clusters in alle frames
for iFrame=1:nFrames
    for i=1:8 %3 is aantal clusters die gebruikt zijn
        optiRb(i).T(:,iFrame)=
        CalcTransMat(optiRb(i).ma(1).re(:,iFrame),optiRb(i).ma(2).re(:,iFrame),optiRb(i).ma(3).re(:,iF
        rame));
    end
end
% calculate TrelRef (pose of clusters rel to reference position) = post
% multiply with Tref

for iFrame=1:nFrames
    for i=1:8 %3 is aantal clusters die gebruikt zijn
        optiRb(i).TrelRef(:,iFrame)= optiRb(i).T(:,iFrame)*inv(optiRb(i).Tref);
    end
end

%% het berekenen van segmenten t.o.v. elkaar. Altijd distaal t.o.v proximaal
for iFrame=1:nFrames
    thorRlum(:,iFrame)=inv(optiRb(7).TrelRef(:,iFrame))*optiRb(8).TrelRef(:,iFrame);
%thoracaal t.o.v. lumbaal
    lumRpelvic(:,iFrame)=inv(optiRb(8).TrelRef(:,iFrame))*optiRb(1).TrelRef(:,iFrame);
%lumbaal t.o.v. pelvis
    rfemRpelvic(:,iFrame)=inv(optiRb(2).TrelRef(:,iFrame))*optiRb(1).TrelRef(:,iFrame);
%rechterfemur t.o.v. pelvis
    lfemRpelvic(:,iFrame)=inv(optiRb(4).TrelRef(:,iFrame))*optiRb(1).TrelRef(:,iFrame);
%linkerfemur t.o.v. pelvis
    rtibRrfem(:,iFrame)=inv(optiRb(3).TrelRef(:,iFrame))*optiRb(2).TrelRef(:,iFrame);
%rechttertibia t.o.v. rechterfemur
    ltibRlfem(:,iFrame)=inv(optiRb(5).TrelRef(:,iFrame))*optiRb(4).TrelRef(:,iFrame);
%linkertibia t.o.v. linkerfemur
    lfemRrfem(:,iFrame)=inv(optiRb(4).TrelRef(:,iFrame))*optiRb(2).TrelRef(:,iFrame);%
    linker femur tov rechter femur

%VOET VERANDEREN PER BEEN!!

```

```

    footRltib(:, :, iFrame) = inv(optiRb(6).TRelRef(:, :, iFrame)) * optiRb(3).TRelRef(:, :, iFrame);
    %voet t.o.v. linker of rechter tibia (Li tibia = rb5 re tibia=rb3)

end

% bereken van de heuphoeken li en re (frame 1 vergeleken met frame 700) met 2 1 2 decompositie
(plane of elevation, elevation, rotation)
for iFrame=1:nFrames
    [TopHoek(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(lfemRrfem(:, :, iFrame), [2 1 2]);
end

TopHoek = TopHoek * 180 / pi;
TopHoek = unwrap(TopHoek);

% Euler decomposition tot extract angle from the Transformation matrix
for iFrame=1:nFrames
    [thoracLumbAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(thorRlum(:, :, iFrame), [1 3 2]);
    [lumbpelvicAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(lumRpelvic(:, :, iFrame), [1 3 2]);
    [rightfempelvicAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(rfemRpelvic(:, :, iFrame), [1 3
2]);
    [leftfempelvicAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(lfemRpelvic(:, :, iFrame), [1 3
2]);
    [righttibiafemurAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(rtibRrfem(:, :, iFrame), [1 3
2]);
    [lefttibiafemurAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(ltibRlfem(:, :, iFrame), [1 3
2]);
    [foottibiaAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(footRltib(:, :, iFrame), [1 3 2]);
    [lfemRrfemAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(lfemRrfem(:, :, iFrame), [1 3 2]);

    [optiRb1(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(1).TRelRef(:, :, iFrame), [1 3
2]); %pelvis
    [optiRb2(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(2).TRelRef(:, :, iFrame), [1 3
2]); %rechterfemur
    [optiRb3(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(3).TRelRef(:, :, iFrame), [1 3
2]); %rechtertibia
    [optiRb4(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(4).TRelRef(:, :, iFrame), [1 3
2]); %linkerfemur
    [optiRb5(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(5).TRelRef(:, :, iFrame), [1 3
2]); %linkertibia
    [optiRb6(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(6).TRelRef(:, :, iFrame), [1 3
2]); %voet
    [optiRb7(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(7).TRelRef(:, :, iFrame), [1 3
2]); %thoracaaal
    [optiRb8(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(8).TRelRef(:, :, iFrame), [1 3
2]); %lumbaal
end
% omzetten naar graden
optiRb1a = optiRb1(:, 1) * 180 / pi;
optiRb1b = optiRb1(:, 2) * 180 / pi;
optiRb1c = optiRb1(:, 3) * 180 / pi;
optiRb2a = optiRb2(:, 1) * 180 / pi;
optiRb2b = optiRb2(:, 2) * 180 / pi;
optiRb2c = optiRb2(:, 3) * 180 / pi;
optiRb3a = optiRb3(:, 1) * 180 / pi;
optiRb3b = optiRb3(:, 2) * 180 / pi;
optiRb3c = optiRb3(:, 3) * 180 / pi;
optiRb4a = optiRb4(:, 1) * 180 / pi;
optiRb4b = optiRb4(:, 2) * 180 / pi;
optiRb4c = optiRb4(:, 3) * 180 / pi;
optiRb5a = optiRb5(:, 1) * 180 / pi;
optiRb5b = optiRb5(:, 2) * 180 / pi;
optiRb5c = optiRb5(:, 3) * 180 / pi;
optiRb6a = optiRb6(:, 1) * 180 / pi;
optiRb6b = optiRb6(:, 2) * 180 / pi;
optiRb6c = optiRb6(:, 3) * 180 / pi;
optiRb7a = optiRb7(:, 1) * 180 / pi;
optiRb7b = optiRb7(:, 2) * 180 / pi;
optiRb7c = optiRb7(:, 3) * 180 / pi;
optiRb8a = optiRb8(:, 1) * 180 / pi;
optiRb8b = optiRb8(:, 2) * 180 / pi;
optiRb8c = optiRb8(:, 3) * 180 / pi;
thoracLumbAnga = thoracLumbAng(:, 1) * 180 / pi;
thoracLumbAngb = thoracLumbAng(:, 2) * 180 / pi;
thoracLumbAngc = thoracLumbAng(:, 3) * 180 / pi;
lumbpelvicAnga = lumbpelvicAng(:, 1) * 180 / pi;
lumbpelvicAngb = lumbpelvicAng(:, 2) * 180 / pi;

```



```

lumbpelvicAngc=lumbpelvicAng(:,3)*180/pi;
rightfempelvicAnga=rightfempelvicAng(:,1)*180/pi;
rightfempelvicAngb=rightfempelvicAng(:,2)*180/pi;
rightfempelvicAngc=rightfempelvicAng(:,3)*180/pi;
righttibiafemurAnga=righttibiafemurAng(:,1)*180/pi;
righttibiafemurAngb=righttibiafemurAng(:,2)*180/pi;
righttibiafemurAngc=righttibiafemurAng(:,3)*180/pi;
leftfempelvicAnga=leftfempelvicAng(:,1)*180/pi;
leftfempelvicAngb=leftfempelvicAng(:,2)*180/pi;
leftfempelvicAngc=leftfempelvicAng(:,3)*180/pi;
lefttibiafemurAnga=lefttibiafemurAng(:,1)*180/pi;
lefttibiafemurAngb=lefttibiafemurAng(:,2)*180/pi;
lefttibiafemurAngc=lefttibiafemurAng(:,3)*180/pi;
foottibiaAnga=foottibiaAng(:,1)*180/pi;
foottibiaAngb=foottibiaAng(:,2)*180/pi;
foottibiaAngc=foottibiaAng(:,3)*180/pi;
lfemRrfemAnga=lfemRrfemAng(:,1)*180/pi;
lfemRrfemAngb=lfemRrfemAng(:,2)*180/pi;
lfemRrfemAngc=lfemRrfemAng(:,3)*180/pi;

% Unwrappen
optiRb1a=unwrap(optiRb1a);
optiRb1b=unwrap(optiRb1b);
optiRb1c=unwrap(optiRb1c);
optiRb2a=unwrap(optiRb2a);
optiRb2b=unwrap(optiRb2b);
optiRb2c=unwrap(optiRb2c);
optiRb3a=unwrap(optiRb3a);
optiRb3b=unwrap(optiRb3b);
optiRb3c=unwrap(optiRb3c);
optiRb4a=unwrap(optiRb4a);
optiRb4b=unwrap(optiRb4b);
optiRb4c=unwrap(optiRb4c);
optiRb5a=unwrap(optiRb5a);
optiRb5b=unwrap(optiRb5b);
optiRb5c=unwrap(optiRb5c);
optiRb6a=unwrap(optiRb6a);
optiRb6b=unwrap(optiRb6b);
optiRb6c=unwrap(optiRb6c);
optiRb7a=unwrap(optiRb7a);
optiRb7b=unwrap(optiRb7b);
optiRb7c=unwrap(optiRb7c);
optiRb8a=unwrap(optiRb8a);
optiRb8b=unwrap(optiRb8b);
optiRb8c=unwrap(optiRb8c);
thoracolumbAnga=unwrap(thoracolumbAnga);
thoracolumbAngb=unwrap(thoracolumbAngb);
thoracolumbAngc=unwrap(thoracolumbAngc);
lumbpelvicAnga=unwrap(lumbpelvicAnga);
lumbpelvicAngb=unwrap(lumbpelvicAngb);
lumbpelvicAngc=unwrap(lumbpelvicAngc);
rightfempelvicAnga=unwrap(rightfempelvicAnga);
rightfempelvicAngb=unwrap(rightfempelvicAngb);
rightfempelvicAngc=unwrap(rightfempelvicAngc);
righttibiafemurAnga=unwrap(righttibiafemurAnga);
righttibiafemurAngb=unwrap(righttibiafemurAngb);
righttibiafemurAngc=unwrap(righttibiafemurAngc);
leftfempelvicAnga=unwrap(leftfempelvicAnga);
leftfempelvicAngb=unwrap(leftfempelvicAngb);
leftfempelvicAngc=unwrap(leftfempelvicAngc);
lefttibiafemurAnga=unwrap(lefttibiafemurAnga);
lefttibiafemurAngb=unwrap(lefttibiafemurAngb);
lefttibiafemurAngc=unwrap(lefttibiafemurAngc);
foottibiaAnga=unwrap(foottibiaAnga);
foottibiaAngb=unwrap(foottibiaAngb);
foottibiaAngc=unwrap(foottibiaAngc);
lfemRrfemAnga=unwrap(lfemRrfemAnga);
lfemRrfemAngb=unwrap(lfemRrfemAngb);
lfemRrfemAngc=unwrap(lfemRrfemAngc);

%% (1) Thorecaal tov lumbaal
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segementen tov elkaar thoracaal lumbaal');
plot(timeLine,thoracolumbAnga,'r')
hold on
plot(timeLine,thoracolumbAngb,'b')

```

```

hold on
plot(timeLine,thoracolumbAngc,'g')
axis ([0,7.5,-25,10])
title('Hoeken tussen thoracaal en lumbaal')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Bewegingsuitslagen in graden (°)')
legend('flexie (+) extensie (-)', 'zijwaarts flexie, links (+)/rechts (-)', 'rotatie, rechts (+)/links (-)')
set(gcf,'color','w');
grid minor

%localiseer minimum
indexmin1a=find(min(thoracolumbAnga)==thoracolumbAnga);
xmin1a=timeLine(indexmin1a);
ymin1a=thoracolumbAnga(indexmin1a);
indexmin1b=find(min(thoracolumbAngb)==thoracolumbAngb);
xmin1b=timeLine(indexmin1b);
ymin1b=thoracolumbAngb(indexmin1b);
indexmin1c=find(min(thoracolumbAngc)==thoracolumbAngc);
xmin1c=timeLine(indexmin1c);
ymin1c=thoracolumbAngc(indexmin1c);

%localiseer maximum
indexmax1a=find(max(thoracolumbAnga)==thoracolumbAnga);
xmax1a=timeLine(indexmax1a);
ymax1a=thoracolumbAnga(indexmax1a);
indexmax1b=find(max(thoracolumbAngb)==thoracolumbAngb);
xmax1b=timeLine(indexmax1b);
ymax1b=thoracolumbAngb(indexmax1b);
indexmax1c=find(max(thoracolumbAngc)==thoracolumbAngc);
xmax1c=timeLine(indexmax1c);
ymax1c=thoracolumbAngc(indexmax1c);

strmin1a=['min=', num2str(ymin1a)];
text(xmin1a,ymin1a,strmin1a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax1a=['max=', num2str(ymax1a)];
text(xmax1a,ymax1a,strmax1a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin1b=['min=', num2str(ymin1b)];
text(xmin1b,ymin1b,strmin1b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax1b=['max=', num2str(ymax1b)];
text(xmax1b,ymax1b,strmax1b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin1c=['min=', num2str(ymin1c)];
text(xmin1c,ymin1c,strmin1c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax1c=['max=', num2str(ymax1c)];
text(xmax1c,ymax1c,strmax1c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');

%% (2) Lumbaal tov pelvis
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segementen tov elkaar lumbaal pelvis');
plot(timeLine,lumbpelvicAnga,'r')
hold on
plot(timeLine,lumbpelvicAngb,'b')
hold on
plot(timeLine,lumbpelvicAngc,'g')
axis ([0,7.5,-35,40])
title('Hoeken tussen lumbaal en pelvis')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Bewegingsuitslagen in graden (°)')
legend('flexie (+) extensie (-)', 'zijwaarts flexie, links (+) / rechts (-)', 'rotatie, rechts (+) / links (-)')
set(gcf,'color','w');
grid minor

%localiseer minimum
indexmin2a=find(min(lumbpelvicAnga)==lumbpelvicAnga);
xmin2a=timeLine(indexmin2a);
ymin2a=lumbpelvicAnga(indexmin2a);
indexmin2b=find(min(lumbpelvicAngb)==lumbpelvicAngb);
xmin2b=timeLine(indexmin2b);
ymin2b=lumbpelvicAngb(indexmin2b);
indexmin2c=find(min(lumbpelvicAngc)==lumbpelvicAngc);
xmin2c=timeLine(indexmin2c);
ymin2c=lumbpelvicAngc(indexmin2c);

%localiseer maximum

```

```

indexmax2a=find(max(lumbpelvicAnga)==lumbpelvicAnga);
xmax2a=timeLine(indexmax2a);
ymax2a=lumbpelvicAnga(indexmax2a);
indexmax2b=find(max(lumbpelvicAngb)==lumbpelvicAngb);
xmax2b=timeLine(indexmax2b);
ymax2b=lumbpelvicAngb(indexmax2b);
indexmax2c=find(max(lumbpelvicAngc)==lumbpelvicAngc);
xmax2c=timeLine(indexmax2c);
ymax2c=lumbpelvicAngc(indexmax2c);

strmin2a=['min=',num2str(ymin2a)];
text(xmin2a,ymin2a,strmin2a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax2a=['max=',num2str(ymax2a)];
text(xmax2a,ymax2a,strmax2a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin2b=['min=',num2str(ymin2b)];
text(xmin2b,ymin2b,strmin2b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax2b=['max=',num2str(ymax2b)];
text(xmax2b,ymax2b,strmax2b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin2c=['min=',num2str(ymin2c)];
text(xmin2c,ymin2c,strmin2c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax2c=['max=',num2str(ymax2c)];
text(xmax2c,ymax2c,strmax2c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');

%% (3) Re femur tov pelvis (Rechter heup)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segementen tov elkaar re femur pelvis');
plot(timeLine,rightfempelvicAnga,'r')
hold on
plot(timeLine,rightfempelvicAngb,'b')
hold on
plot(timeLine,rightfempelvicAngc,'g')
axis ([0,7.5,-45,55])
title('Hoeken rechter heup')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Bewegingsuitslagen in graden(°)')
legend('anteflexie (-) - retroflexie (+)', 'abductie (-) - adductie (+)', 'exorotatie (+) - endorotatie (-)')
set(gcf,'color','w');
grid minor

% %localiseer minimum
indexmin3a=find(min(rightfempelvicAnga)==rightfempelvicAnga);
xmin3a=timeLine(indexmin3a);
ymin3a=rightfempelvicAnga(indexmin3a);
indexmin3b=find(min(rightfempelvicAngb)==rightfempelvicAngb);
xmin3b=timeLine(indexmin3b);
ymin3b=rightfempelvicAngb(indexmin3b);
indexmin3c=find(min(rightfempelvicAngc)==rightfempelvicAngc);
xmin3c=timeLine(indexmin3c);
ymin3c=rightfempelvicAngc(indexmin3c);

% %localiseer maximum
indexmax3a=find(max(rightfempelvicAnga)==rightfempelvicAnga);
xmax3a=timeLine(indexmax3a);
ymax3a=rightfempelvicAnga(indexmax3a);
indexmax3b=find(max(rightfempelvicAngb)==rightfempelvicAngb);
xmax3b=timeLine(indexmax3b);
ymax3b=rightfempelvicAngb(indexmax3b);
indexmax3c=find(max(rightfempelvicAngc)==rightfempelvicAngc);
xmax3c=timeLine(indexmax3c);
ymax3c=rightfempelvicAngc(indexmax3c);

strmin3a=['min=',num2str(ymin3a)];
text(xmin3a,ymin3a,strmin3a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax3a=['max=',num2str(ymax3a)];
text(xmax3a,ymax3a,strmax3a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin3b=['min=',num2str(ymin3b)];
text(xmin3b,ymin3b,strmin3b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax3b=['max=',num2str(ymax3b)];
text(xmax3b,ymax3b,strmax3b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin3c=['min=',num2str(ymin3c)];
text(xmin3c,ymin3c,strmin3c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax3c=['max=',num2str(ymax3c)];
text(xmax3c,ymax3c,strmax3c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');

```

```

%% (4) re tibia tov re femur (Rechter knie)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segementen tov elkaar re tibia re femur');
plot(timeLine,righttibiafemurAnga,'r')
hold on
plot(timeLine,righttibiafemurAngb,'b')
hold on
plot(timeLine,righttibiafemurAngc,'g')
axis ([0,7.5,-25,90])
title('Hoeken rechter knie')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Bewegingsuitslagen in graden(°)')
legend('flexie (+) - extensie (-)', 'abductie - adductie', 'exorotatie (+) - endorotatie (+)')
set(gcf,'color','w');
grid minor

%localiseer minimum
indexmin4a=find(min(righttibiafemurAnga)==righttibiafemurAnga);
xmin4a=timeLine(indexmin4a);
ymin4a=righttibiafemurAnga(indexmin4a);
indexmin4b=find(min(righttibiafemurAngb)==righttibiafemurAngb);
xmin4b=timeLine(indexmin4b);
ymin4b=righttibiafemurAngb(indexmin4b);
indexmin4c=find(min(righttibiafemurAngc)==righttibiafemurAngc);
xmin4c=timeLine(indexmin4c);
ymin4c=righttibiafemurAngc(indexmin4c);

%localiseer maximum
indexmax4a=find(max(righttibiafemurAnga)==righttibiafemurAnga);
xmax4a=timeLine(indexmax4a);
ymax4a=righttibiafemurAnga(indexmax4a);
indexmax4b=find(max(righttibiafemurAngb)==righttibiafemurAngb);
xmax4b=timeLine(indexmax4b);
ymax4b=righttibiafemurAngb(indexmax4b);
indexmax4c=find(max(righttibiafemurAngc)==righttibiafemurAngc);
xmax4c=timeLine(indexmax4c);
ymax4c=righttibiafemurAngc(indexmax4c);

strmin4a=['min=',num2str(ymin4a)];
text(xmin4a,ymin4a,strmin4a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax4a=['max=',num2str(ymax4a)];
text(xmax4a,ymax4a,strmax4a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin4b=['min=',num2str(ymin4b)];
text(xmin4b,ymin4b,strmin4b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax4b=['max=',num2str(ymax4b)];
text(xmax4b,ymax4b,strmax4b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin4c=['min=',num2str(ymin4c)];
text(xmin4c,ymin4c,strmin4c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax4c=['max=',num2str(ymax4c)];
text(xmax4c,ymax4c,strmax4c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');

%% (5) li femur tov pelvis (Linker heup)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segementen tov elkaar li femur pelvis');
plot(timeLine,leftfempelvicAnga,'r')
hold on
plot(timeLine,leftfempelvicAngb,'b')
hold on
plot(timeLine,leftfempelvicAngc,'g')
axis ([0,7.5,-25,55])
title('Hoeken linker heup')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Bewegingsuitslagen in graden(°)')
legend('anteflexie (-) - retroflexie (+)', 'abductie (+) - adductie (-)', 'exorotatie (-) - endorotatie (+)')
set(gcf,'color','w');
grid minor

%localiseer minimum
indexmin5a=find(min(leftfempelvicAnga)==leftfempelvicAnga);
xmin5a=timeLine(indexmin5a);
ymin5a=leftfempelvicAnga(indexmin5a);
indexmin5b=find(min(leftfempelvicAngb)==leftfempelvicAngb);
xmin5b=timeLine(indexmin5b);
ymin5b=leftfempelvicAngb(indexmin5b);

```

```

indexmin5c=find(min(leftfempelevicAngc)==leftfempelevicAngc);
xmin5c=timeLine(indexmin5c);
ymin5c=leftfempelevicAngc(indexmin5c);

%localiseer maximum
indexmax5a=find(max(leftfempelevicAnga)==leftfempelevicAnga);
xmax5a=timeLine(indexmax5a);
ymax5a=leftfempelevicAnga(indexmax5a);
indexmax5b=find(max(leftfempelevicAngb)==leftfempelevicAngb);
xmax5b=timeLine(indexmax5b);
ymax5b=leftfempelevicAngb(indexmax5b);
indexmax5c=find(max(leftfempelevicAngc)==leftfempelevicAngc);
xmax5c=timeLine(indexmax5c);
ymax5c=leftfempelevicAngc(indexmax5c);

strmin5a=['min=',num2str(ymin5a)];
text(xmin5a,ymin5a,strmin5a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax5a=['max=',num2str(ymax5a)];
text(xmax5a,ymax5a,strmax5a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin5b=['min=',num2str(ymin5b)];
text(xmin5b,ymin5b,strmin5b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax5b=['max=',num2str(ymax5b)];
text(xmax5b,ymax5b,strmax5b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin5c=['min=',num2str(ymin5c)];
text(xmin5c,ymin5c,strmin5c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax5c=['max=',num2str(ymax5c)];
text(xmax5c,ymax5c,strmax5c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');

%% (6) li tibia tov li femur (Linker knie)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segementen tov elkaar li tibia
li femur');
plot(timeLine,lefttibiafemurAnga,'r')
hold on
plot(timeLine,lefttibiafemurAngb,'b')
hold on
plot(timeLine,lefttibiafemurAngc,'g')
axis ([0,7.5,-75,15])
title('Hoeken linker knie')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Bewegingsuitslagen in graden(°)')
legend('flexie (+) - extensie (-)', 'abductie - adductie', 'exorotatie (-) - endorotatie (+)')
set(gcf,'color','w');
grid minor

indexmax6a=find(max(lefttibiafemurAnga)==lefttibiafemurAnga);
xmax6a=timeLine(indexmax6a);
ymax6a=lefttibiafemurAnga(indexmax6a);
indexmax6b=find(max(lefttibiafemurAngb)==lefttibiafemurAngb);
xmax6b=timeLine(indexmax6b);
ymax6b=lefttibiafemurAngb(indexmax6b);
indexmax6c=find(max(lefttibiafemurAngc)==lefttibiafemurAngc);
xmax6c=timeLine(indexmax6c);
ymax6c=lefttibiafemurAngc(indexmax6c);

indexmin6a=find(min(lefttibiafemurAnga)==lefttibiafemurAnga);
xmin6a=timeLine(indexmin6a);
ymin6a=lefttibiafemurAnga(indexmin6a);
indexmin6b=find(min(lefttibiafemurAngb)==lefttibiafemurAngb);
xmin6b=timeLine(indexmin6b);
ymin6b=lefttibiafemurAngb(indexmin6b);
indexmin6c=find(min(lefttibiafemurAngc)==lefttibiafemurAngc);
xmin6c=timeLine(indexmin6c);
ymin6c=lefttibiafemurAngc(indexmin6c);

strmin6a=['min=',num2str(ymin6a)];
text(xmin6a,ymin6a,strmin6a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax6a=['max=',num2str(ymax6a)];
text(xmax6a,ymax6a,strmax6a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin6b=['min=',num2str(ymin6b)];
text(xmin6b,ymin6b,strmin6b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax6b=['max=',num2str(ymax6b)];
text(xmax6b,ymax6b,strmax6b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin6c=['min=',num2str(ymin6c)];
text(xmin6c,ymin6c,strmin6c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax6c=['max=',num2str(ymax6c)];

```

```

text(xmax6c,ymax6c,strmax6c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');

%% (7) voet tov tibia (Enkel)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segementen tov elkaar voet tibia');
plot(timeLine,foottibiaAnga,'r')
hold on
% plot(timeLine,foottibiaAngb,'b')
% hold on
plot(timeLine,foottibiaAngc,'g')
axis ([0,7.5,-15,50])
title('Hoek enkel voorste been')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Bewegingsuitslagen in graden(°)')
legend('plantair flexie (+) - dorsaal flexie (-)', 'pronatie (+) - supinatie (-)')
set(gcf,'color','w');
grid minor

indexmax7a=find(max(foottibiaAnga)==foottibiaAnga);
xmax7a=timeLine(indexmax7a);
ymax7a=foottibiaAnga(indexmax7a);
indexmax7b=find(max(foottibiaAngb)==foottibiaAngb);
xmax7b=timeLine(indexmax7b);
ymax7b=foottibiaAngb(indexmax7b);
indexmax7c=find(max(foottibiaAngc)==foottibiaAngc);
xmax7c=timeLine(indexmax7c);
ymax7c=foottibiaAngc(indexmax7c);

indexmin7a=find(min(foottibiaAnga)==foottibiaAnga);
xmin7a=timeLine(indexmin7a);
ymin7a=foottibiaAnga(indexmin7a);
indexmin7b=find(min(foottibiaAngb)==foottibiaAngb);
xmin7b=timeLine(indexmin7b);
ymin7b=foottibiaAngb(indexmin7b);
indexmin7c=find(min(foottibiaAngc)==foottibiaAngc);
xmin7c=timeLine(indexmin7c);
ymin7c=foottibiaAngc(indexmin7c);

strmin7a=['min=',num2str(ymin7a)];
text(xmin7a,ymin7a,strmin7a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax7a=['max=',num2str(ymax7a)];
text(xmax7a,ymax7a,strmax7a,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
% strmin7b=['min=',num2str(ymin7b)];
% text(xmin7b,ymin7b,strmin7b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
% strmax7b=['max=',num2str(ymax7b)];
% text(xmax7b,ymax7b,strmax7b,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
strmin7c=['min=',num2str(ymin7c)];
text(xmin7c,ymin7c,strmin7c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
strmax7c=['max=',num2str(ymax7c)];
text(xmax7c,ymax7c,strmax7c,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');

```

Script ROM testen:

```

%% First part adapted from BTOpenC3D (Mark S) Edited by Jeroen Cozijnsen
close all
clear all
%%
fsOpti=120; %set optitrack video framerate
set(0,'DefaultAxesFontSize',14);
set(0,'defaultlinelinerwidth',2);
dataPath = 'L:\Afstuderen\Matlab\Data';
c3dFile=[dataPath '\pplHorizontaleabductie_Re.c3d'];

% MS GP003 Read Optitrack
rawData = btkReadAcquisition(c3dFile);
data = btkGetMarkers(rawData);
channelNames = fieldnames(data);
% RS OP001 Repair signal Optitrack
% mind the number of channels must correspond to the data and RB format.
chCounter=1;
emptyString=strfind(channelNames,'Marker_');% +++++ mind this adjustment is because of the
extra exported non-labeled markers *****

```

```

for i=1:length(channelNames)
    if emptyString{i}>1
        channelNamesCorrect{chCounter,1}=channelNames{i};
        chCounter=chCounter+1;
    end
end

for channel = 1:length(channelNamesCorrect)
    optiRe(channel).re(3,:) = (data.(channelNamesCorrect{channel}(:,1)))'; % Correction
    % Optitrack to ISB recommendations for coordinate system
    optiRe(channel).re(1,:) = (data.(channelNamesCorrect{channel}(:,2)))'; % See
    % "ReadC3DOptitrack.m" file for more documentation
    optiRe(channel).re(2,:) = (data.(channelNamesCorrect{channel}(:,3)))';
end

% RS OP002 store markers per element in matlab struct optiRb RANDOM ORDER OF MARKERS!!!!!!
pelvicString=strfind(channelNamesCorrect,'PELVIC');
rightfemurString=strfind(channelNamesCorrect,'RIGHT_BB');
righttibiaString=strfind(channelNamesCorrect,'RIGHT_OB');
leftfemurString=strfind(channelNamesCorrect,'LEFT_BB');
lefttibiaString=strfind(channelNamesCorrect,'LEFT_OB');

plCounter=1;rfeCounter=1;rtiCounter=1;lfeCounter=1;ltiCounter=1;

for i =1:length(channelNamesCorrect)
    if pelvicString{i}>0
        optiRb(1).ma(plCounter).re=optiRe(i).re; % 1=pelvic
        plCounter=plCounter+1;
    elseif rightfemurString{i}>0
        optiRb(2).ma(rfeCounter).re=optiRe(i).re; % 2=rechter bovenbeen
        rfeCounter=rfeCounter+1;
    elseif righttibiaString{i}>0
        optiRb(3).ma(rtiCounter).re=optiRe(i).re; % 3=rechter onderbeen
        rtiCounter=rtiCounter+1;
    elseif leftfemurString{i}>0
        optiRb(4).ma(lfeCounter).re=optiRe(i).re; % 4=linker bovenbeen
        lfeCounter=lfeCounter+1;
    elseif lefttibiaString{i}>0
        optiRb(5).ma(ltiCounter).re=optiRe(i).re; % 5=linker onderbeen
        ltiCounter=ltiCounter+1;
    end
end

% low pass filter the markerdata
fc = 3;
fs = 120;
order = 4;
Wn = fc/(fs/2);
[B,A] = butter (order,Wn);
for i = 1:5 %3 staat voor aantal culsters, indien meer cluster dan hoger aantal
    for j = 1:3
        optiRb(i).ma(j).re(1,:) = filtfilt(B,A,optiRb(i).ma(j).re(1,:));
        optiRb(i).ma(j).re(2,:) = filtfilt(B,A,optiRb(i).ma(j).re(2,:));
        optiRb(i).ma(j).re(3,:) = filtfilt(B,A,optiRb(i).ma(j).re(3,:));
    end
end

% calculate Local Coordinate System from clustermarkers (transformation matrix (4x4)
% referentie frame/positie, een van de eerste frames wordt gebruikt voor de
% referentie. aangeven welke frame als referentie moet worden gebruikt.
refFrame=1; %frame kiezen voor referentie positie
nFrames=length(optiRb(1).ma(1).re); %cluster Pelvic, marker 1 (referentie cluster
timeLine=0:1/fsOpti:(length(optiRb(1).ma(1).re)/fsOpti)-(1/fsOpti);

%4x4 matrix maken voor elk lichaamssegment van de referentie positie (een matrix per
%lichaamssegment)
for i=1:5 %3 is aantal clusters die gebruikt zijn
    optiRb(i).Tref=
    CalcTransMat(optiRb(i).ma(1).re(:,refFrame),optiRb(i).ma(2).re(:,refFrame),optiRb(i).ma(3).re(
    :,refFrame));
end
% orientatie matrix maken voor alle clusters in alle frames
for iFrame=1:nFrames
    for i=1:5 %3 is aantal clusters die gebruikt zijn

```

```

        optiRb(i).T(:, :, iFrame) =
CalcTransMat(optiRb(i).ma(1).re(:, iFrame), optiRb(i).ma(2).re(:, iFrame), optiRb(i).ma(3).re(:, iF
rame));
    end
end
% calculate TrelRef (pose of clusters rel to reference position) = post
% multiply with Tref

for iFrame=1:nFrames
    for i=1:5 %3 is aantal clusters die gebruikt zijn
        optiRb(i).TrelRef(:, :, iFrame) = optiRb(i).T(:, :, iFrame) * inv(optiRb(i).Tref);
    end
end
%% het berekenen van segmenten t.o.v. elkaar. Altijd distaal t.o.v proximaal
for iFrame=1:nFrames
    rfemRpelvic(:, :, iFrame) = inv(optiRb(2).TrelRef(:, :, iFrame)) * optiRb(1).TrelRef(:, :, iFrame);
    %rechterfemur t.o.v. pelvis
    rtibRrfem(:, :, iFrame) = inv(optiRb(3).TrelRef(:, :, iFrame)) * optiRb(2).TrelRef(:, :, iFrame);
    %rechttertibia t.o.v. rechterfemur
    lfemRpelvic(:, :, iFrame) = inv(optiRb(1).TrelRef(:, :, iFrame)) * optiRb(4).TrelRef(:, :, iFrame);
    %linkerfemur t.o.v. pelvis
    ltibRlfem(:, :, iFrame) = inv(optiRb(5).TrelRef(:, :, iFrame)) * optiRb(4).TrelRef(:, :, iFrame);
    %linkertibia t.o.v. linkerfemur
end

% Euler decomposition tot extract angle from the Transformation matrix
for iFrame=1:nFrames
    [rightfempelvicAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(rfemRpelvic(:, :, iFrame), [1 2
3]);
    [righttibiafemurAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(rtibRrfem(:, :, iFrame), [1 2 3]);
    [leftfempelvicAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(lfemRpelvic(:, :, iFrame), [1 2 3]);
    [lefttibiafemurAng(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(ltibRlfem(:, :, iFrame), [1 2 3]);
    [optiRb1(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(1).TrelRef(:, :, iFrame), [1 2 3]);
    %pelvis
    [optiRb2(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(2).TrelRef(:, :, iFrame), [1 2 3]);
    %rechterfemur
    [optiRb3(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(3).TrelRef(:, :, iFrame), [1 2 3]);
    %rechttertibia
    [optiRb4(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(4).TrelRef(:, :, iFrame), [1 2 3]);
    %linkerfemur
    [optiRb5(iFrame, :)] = RotationMatrixToCardanicAngles(optiRb(5).TrelRef(:, :, iFrame), [1 2 3]);
    %linkertibia
end
% omzetten naar graden en pakken derde kolom
optiRb1a=optiRb1(:,1)*180/pi;
optiRb1b=optiRb1(:,2)*180/pi;
optiRb1c=optiRb1(:,3)*180/pi;
optiRb2a=optiRb2(:,1)*180/pi;
optiRb2b=optiRb2(:,2)*180/pi;
optiRb2c=optiRb2(:,3)*180/pi;
optiRb3a=optiRb3(:,1)*180/pi;
optiRb3b=optiRb3(:,2)*180/pi;
optiRb3c=optiRb3(:,3)*180/pi;
optiRb4a=optiRb4(:,1)*180/pi;
optiRb4b=optiRb4(:,2)*180/pi;
optiRb4c=optiRb4(:,3)*180/pi;
optiRb5a=optiRb5(:,1)*180/pi;
optiRb5b=optiRb5(:,2)*180/pi;
optiRb5c=optiRb5(:,3)*180/pi;

rightfempelvicAnga=rightfempelvicAng(:,1)*180/pi;
rightfempelvicAngb=rightfempelvicAng(:,2)*180/pi;
rightfempelvicAngc=rightfempelvicAng(:,3)*180/pi;
righttibiafemurAnga=righttibiafemurAng(:,1)*180/pi;
righttibiafemurAngb=righttibiafemurAng(:,2)*180/pi;
righttibiafemurAngc=righttibiafemurAng(:,3)*180/pi;
leftfempelvicAnga=leftfempelvicAng(:,1)*180/pi;
leftfempelvicAngb=leftfempelvicAng(:,2)*180/pi;
leftfempelvicAngc=leftfempelvicAng(:,3)*180/pi;
lefttibiafemurAnga=lefttibiafemurAng(:,1)*180/pi;
lefttibiafemurAngb=lefttibiafemurAng(:,2)*180/pi;
lefttibiafemurAngc=lefttibiafemurAng(:,3)*180/pi;

% Unwrappen
optiRb1a=unwrap(optiRb1a);
optiRb1b=unwrap(optiRb1b);

```



```

optiRb1c=unwrap(optiRb1c);
optiRb2a=unwrap(optiRb2a);
optiRb2b=unwrap(optiRb2b);
optiRb2c=unwrap(optiRb2c);
optiRb3a=unwrap(optiRb3a);
optiRb3b=unwrap(optiRb3b);
optiRb3c=unwrap(optiRb3c);
optiRb4a=unwrap(optiRb4a);
optiRb4b=unwrap(optiRb4b);
optiRb4c=unwrap(optiRb4c);
optiRb5a=unwrap(optiRb5a);
optiRb5b=unwrap(optiRb5b);
optiRb5c=unwrap(optiRb5c);
rightfempevicAnga=unwrap(rightfempevicAnga);
rightfempevicAngb=unwrap(rightfempevicAngb);
rightfempevicAngc=unwrap(rightfempevicAngc);
righttibiafemurAnga=unwrap(righttibiafemurAnga);
righttibiafemurAngb=unwrap(righttibiafemurAngb);
righttibiafemurAngc=unwrap(righttibiafemurAngc);
leftfempevicAnga=unwrap(leftfempevicAnga);
leftfempevicAngb=unwrap(leftfempevicAngb);
leftfempevicAngc=unwrap(leftfempevicAngc);
lefttibiafemurAnga=unwrap(lefttibiafemurAnga);
lefttibiafemurAngb=unwrap(lefttibiafemurAngb);
lefttibiafemurAngc=unwrap(lefttibiafemurAngc);

%% segmenten t.o.v. elkaar rightfempevicAng (Heup)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segmenten tov elkaar re femur pelvis');

% plot(timeLine,rightfempevicAnga,'r')
% hold on
% plot(timeLine,rightfempevicAngb,'b')
% hold on
plot(timeLine,rightfempevicAngc,'g')
axis ([0,9,-10,80])
title('Maximale horizontale abductie rechter heup')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Horizontale abductie in graden(°)')
%legend('abductie (+) / adductie (-)')
% BIJ EXOROTATIE DE ABDUCTIE VERANDEREN IN EXOROTATIE IN LEGEND!!
% 'anteflexie (+) / retroflexie (-)', 'abductie (+) / adductie (-)', 'exorotatie (+) / endorotatie (-)'
%min
indexminrightfempevicAnga=find(min(rightfempevicAnga)==rightfempevicAnga);
xminrightfempevicAnga=timeLine(indexminrightfempevicAnga);
yminrightfempevicAnga=rightfempevicAnga(indexminrightfempevicAnga);
indexminrightfempevicAngb=find(min(rightfempevicAngb)==rightfempevicAngb);
xminrightfempevicAngb=timeLine(indexminrightfempevicAngb);
yminrightfempevicAngb=rightfempevicAngb(indexminrightfempevicAngb);
indexminrightfempevicAngc=find(min(rightfempevicAngc)==rightfempevicAngc);
xminrightfempevicAngc=timeLine(indexminrightfempevicAngc);
yminrightfempevicAngc=rightfempevicAngc(indexminrightfempevicAngc);
%max
indexmaxrightfempevicAnga=find(max(rightfempevicAnga)==rightfempevicAnga);
xmaxrightfempevicAnga=timeLine(indexmaxrightfempevicAnga);
ymaxrightfempevicAnga=rightfempevicAnga(indexmaxrightfempevicAnga);
indexmaxrightfempevicAngb=find(max(rightfempevicAngb)==rightfempevicAngb);
xmaxrightfempevicAngb=timeLine(indexmaxrightfempevicAngb);
ymaxrightfempevicAngb=rightfempevicAngb(indexmaxrightfempevicAngb);
indexmaxrightfempevicAngc=find(max(rightfempevicAngc)==rightfempevicAngc);
xmaxrightfempevicAngc=timeLine(indexmaxrightfempevicAngc);
ymaxrightfempevicAngc=rightfempevicAngc(indexmaxrightfempevicAngc);

% strminrightfempevicAnga=['min=',num2str(yminrightfempevicAnga)];
%
text(xminrightfempevicAnga,yminrightfempevicAnga,strminrightfempevicAnga,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');
% strmaxrightfempevicAnga=['max=',num2str(ymaxrightfempevicAnga)];
%
text(xmaxrightfempevicAnga,ymaxrightfempevicAnga,strmaxrightfempevicAnga,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','bottom');
% strminrightfempevicAngb=['min=',num2str(yminrightfempevicAngb)];
%
text(xminrightfempevicAngb,yminrightfempevicAngb,strminrightfempevicAngb,'HorizontalAlignment','center','VerticalAlignment','top');

```

```

% strmaxrightfempelevicAngb=['max=',num2str(ymaxrightfempelevicAngb)];
%
text(xmaxrightfempelevicAngb,ymaxrightfempelevicAngb,strmaxrightfempelevicAngb,'HorizontalAlignme
nt','center','VerticalAlignment','bottom');
strminrightfempelevicAngc=['min=',num2str(yminrightfempelevicAngc)];
text(xminrightfempelevicAngc,yminrightfempelevicAngc,strminrightfempelevicAngc,'HorizontalAlignme
nt','center','VerticalAlignment','top');
strmaxrightfempelevicAngc=['max=',num2str(ymaxrightfempelevicAngc)];
text(xmaxrightfempelevicAngc,ymaxrightfempelevicAngc,strmaxrightfempelevicAngc,'HorizontalAlignme
nt','center','VerticalAlignment','bottom');

%% segmenten t.o.v. elkaar leftfempelevicAng (Heup)
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segementen tov elkaar li femur
pelvis');

plot(timeLine,leftfempelevicAnga,'r')
hold on
plot(timeLine,leftfempelevicAngb,'b')
hold on
plot(timeLine,leftfempelevicAngc,'g')
axis ([0,11,-10,60])
title('Maximale horizontale abductie linker heup')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Horizontale abductie in graden(°)')
%legend('abductie (+) / adductie (-)')
%'anteflexie (+) / retroflexie (-)', 'abductie (+) / adductie (-)',

%min
indexminleftfempelevicAnga=find(min(leftfempelevicAnga)==leftfempelevicAnga);
xminleftfempelevicAnga=timeLine(indexminleftfempelevicAnga);
yminleftfempelevicAnga=leftfempelevicAnga(indexminleftfempelevicAnga);
indexminleftfempelevicAngb=find(min(leftfempelevicAngb)==leftfempelevicAngb);
xminleftfempelevicAngb=timeLine(indexminleftfempelevicAngb);
yminleftfempelevicAngb=leftfempelevicAngb(indexminleftfempelevicAngb);
indexminleftfempelevicAngc=find(min(leftfempelevicAngc)==leftfempelevicAngc);
xminleftfempelevicAngc=timeLine(indexminleftfempelevicAngc);
yminleftfempelevicAngc=leftfempelevicAngc(indexminleftfempelevicAngc);
%max
indexmaxleftfempelevicAnga=find(max(leftfempelevicAnga)==leftfempelevicAnga);
xmaxleftfempelevicAnga=timeLine(indexmaxleftfempelevicAnga);
ymaxleftfempelevicAnga=leftfempelevicAnga(indexmaxleftfempelevicAnga);
indexmaxleftfempelevicAngb=find(max(leftfempelevicAngb)==leftfempelevicAngb);
xmaxleftfempelevicAngb=timeLine(indexmaxleftfempelevicAngb);
ymaxleftfempelevicAngb=leftfempelevicAngb(indexmaxleftfempelevicAngb);
indexmaxleftfempelevicAngc=find(max(leftfempelevicAngc)==leftfempelevicAngc);
xmaxleftfempelevicAngc=timeLine(indexmaxleftfempelevicAngc);
ymaxleftfempelevicAngc=leftfempelevicAngc(indexmaxleftfempelevicAngc);

% strminleftfempelevicAnga=['min=',num2str(yminleftfempelevicAnga)];
%
text(xminleftfempelevicAnga,yminleftfempelevicAnga,strminleftfempelevicAnga,'HorizontalAlignme
nt','center','VerticalAlignment','top');
% strmaxleftfempelevicAnga=['max=',num2str(ymaxleftfempelevicAnga)];
%
text(xmaxleftfempelevicAnga,ymaxleftfempelevicAnga,strmaxleftfempelevicAnga,'HorizontalAlignme
nt','center','VerticalAlignment','bottom');
% strminleftfempelevicAngb=['min=',num2str(yminleftfempelevicAngb)];
%
text(xminleftfempelevicAngb,yminleftfempelevicAngb,strminleftfempelevicAngb,'HorizontalAlignme
nt','center','VerticalAlignment','top');
% strmaxleftfempelevicAngb=['max=',num2str(ymaxleftfempelevicAngb)];
%
text(xmaxleftfempelevicAngb,ymaxleftfempelevicAngb,strmaxleftfempelevicAngb,'HorizontalAlignme
nt','center','VerticalAlignment','bottom');
strminleftfempelevicAngc=['min=',num2str(yminleftfempelevicAngc)];
text(xminleftfempelevicAngc,yminleftfempelevicAngc,strminleftfempelevicAngc,'HorizontalAlignme
nt','center','VerticalAlignment','top');
strmaxleftfempelevicAngc=['max=',num2str(ymaxleftfempelevicAngc)];
text(xmaxleftfempelevicAngc,ymaxleftfempelevicAngc,strmaxleftfempelevicAngc,'HorizontalAlignme
nt','center','VerticalAlignment','bottom');

%% segmenten t.o.v. elkaar lefttibiafemurAng
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1],'Name','Segementen tov elkaar li tibia
li femur');

```

```

plot(timeLine, lefttibiafemurAnga, 'r')
hold on
plot(timeLine, lefttibiafemurAngb, 'b')
hold on
plot(timeLine, lefttibiafemurAngc, 'g')
axis ([0,10,-10,40])
title('Endorotatie linker heup')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Endorotatie in graden(°)')
legend('anteflexie (+) / retroflexie (-)', 'abductie (+) / adductie (-)', 'exorotatie (+) / endorotatie (-)')
%'anteflexie (+) / retroflexie (-)', 'abductie (+) / adductie (-)', 'exorotatie (+) / endorotatie (-)'

%min
indexminlefttibiafemurAnga=find(min(lefttibiafemurAnga)==lefttibiafemurAnga);
xminlefttibiafemurAnga=timeLine(indexminlefttibiafemurAnga);
yminlefttibiafemurAnga=lefttibiafemurAnga(indexminlefttibiafemurAnga);
indexminlefttibiafemurAngb=find(min(lefttibiafemurAngb)==lefttibiafemurAngb);
xminlefttibiafemurAngb=timeLine(indexminlefttibiafemurAngb);
yminlefttibiafemurAngb=lefttibiafemurAngb(indexminlefttibiafemurAngb);
indexminlefttibiafemurAngc=find(min(lefttibiafemurAngc)==lefttibiafemurAngc);
xminlefttibiafemurAngc=timeLine(indexminlefttibiafemurAngc);
yminlefttibiafemurAngc=lefttibiafemurAngc(indexminlefttibiafemurAngc);
%max
indexmaxlefttibiafemurAnga=find(max(lefttibiafemurAnga)==lefttibiafemurAnga);
xmaxlefttibiafemurAnga=timeLine(indexmaxlefttibiafemurAnga);
ymaxlefttibiafemurAnga=lefttibiafemurAnga(indexmaxlefttibiafemurAnga);
indexmaxlefttibiafemurAngb=find(max(lefttibiafemurAngb)==lefttibiafemurAngb);
xmaxlefttibiafemurAngb=timeLine(indexmaxlefttibiafemurAngb);
ymaxlefttibiafemurAngb=lefttibiafemurAngb(indexmaxlefttibiafemurAngb);
indexmaxlefttibiafemurAngc=find(max(lefttibiafemurAngc)==lefttibiafemurAngc);
xmaxlefttibiafemurAngc=timeLine(indexmaxlefttibiafemurAngc);
ymaxlefttibiafemurAngc=lefttibiafemurAngc(indexmaxlefttibiafemurAngc);

strminlefttibiafemurAnga=[ 'min=', num2str(yminlefttibiafemurAnga)];
text(xminlefttibiafemurAnga, yminlefttibiafemurAnga, strminlefttibiafemurAnga, 'HorizontalAlignme
nt', 'center', 'VerticalAlignment', 'top');
strmaxlefttibiafemurAnga=[ 'max=', num2str(ymaxlefttibiafemurAnga)];
text(xmaxlefttibiafemurAnga, ymaxlefttibiafemurAnga, strmaxlefttibiafemurAnga, 'HorizontalAlignme
nt', 'center', 'VerticalAlignment', 'bottom');
strminlefttibiafemurAngb=[ 'min=', num2str(yminlefttibiafemurAngb)];
text(xminlefttibiafemurAngb, yminlefttibiafemurAngb, strminlefttibiafemurAngb, 'HorizontalAlignme
nt', 'center', 'VerticalAlignment', 'top');
strmaxlefttibiafemurAngb=[ 'max=', num2str(ymaxlefttibiafemurAngb)];
text(xmaxlefttibiafemurAngb, ymaxlefttibiafemurAngb, strmaxlefttibiafemurAngb, 'HorizontalAlignme
nt', 'center', 'VerticalAlignment', 'bottom');
strminlefttibiafemurAngc=[ 'min=', num2str(yminlefttibiafemurAngc)];
text(xminlefttibiafemurAngc, yminlefttibiafemurAngc, strminlefttibiafemurAngc, 'HorizontalAlignme
nt', 'center', 'VerticalAlignment', 'top');
strmaxlefttibiafemurAngc=[ 'max=', num2str(ymaxlefttibiafemurAngc)];
text(xmaxlefttibiafemurAngc, ymaxlefttibiafemurAngc, strmaxlefttibiafemurAngc, 'HorizontalAlignme
nt', 'center', 'VerticalAlignment', 'bottom');

%% segmenten t.o.v. elkaar righttibiafemurAng
figure('units','normalized','outerposition',[0 0 1 1], 'Name','Segementen tov elkaar re tibia
re femur');
plot(timeLine, righttibiafemurAnga, 'r')
hold on
plot(timeLine, righttibiafemurAngb, 'b')
hold on
plot(timeLine, righttibiafemurAngc, 'b')
axis ([0,20,-10,40])
title('Endorotatie rechter heup')
xlabel('Tijd (s)')
ylabel('Endorotatie in graden(°)')
legend('anteflexie (+) / retroflexie (-)', 'abductie (+) / adductie (-)', 'exorotatie (+) / endorotatie (-)')
%'anteflexie (+) / retroflexie (-)', 'abductie (+) / adductie (-)', 'exorotatie (+) / endorotatie (-)'
%min
indexminrighttibiafemurAnga=find(min(righttibiafemurAnga)==righttibiafemurAnga);
xminrighttibiafemurAnga=timeLine(indexminrighttibiafemurAnga);
yminrighttibiafemurAnga=righttibiafemurAnga(indexminrighttibiafemurAnga);
indexminrighttibiafemurAngb=find(min(righttibiafemurAngb)==righttibiafemurAngb);
xminrighttibiafemurAngb=timeLine(indexminrighttibiafemurAngb);

```

```

yminrighttibiafemurAngb=righttibiafemurAngb(indexminrighttibiafemurAngb);
indexminrighttibiafemurAngc=find(min(righttibiafemurAngc)==righttibiafemurAngc);
xminrighttibiafemurAngc=timeLine(indexminrighttibiafemurAngc);
yminrighttibiafemurAngc=righttibiafemurAngc(indexminrighttibiafemurAngc);
%max
indexmaxrighttibiafemurAnga=find(max(righttibiafemurAnga)==righttibiafemurAnga);
xmaxrighttibiafemurAnga=timeLine(indexmaxrighttibiafemurAnga);
ymaxrighttibiafemurAnga=righttibiafemurAnga(indexmaxrighttibiafemurAnga);
indexmaxrighttibiafemurAngb=find(max(righttibiafemurAngb)==righttibiafemurAngb);
xmaxrighttibiafemurAngb=timeLine(indexmaxrighttibiafemurAngb);
ymaxrighttibiafemurAngb=righttibiafemurAngb(indexmaxrighttibiafemurAngb);
indexmaxrighttibiafemurAngc=find(max(righttibiafemurAngc)==righttibiafemurAngc);
xmaxrighttibiafemurAngc=timeLine(indexmaxrighttibiafemurAngc);
ymaxrighttibiafemurAngc=righttibiafemurAngc(indexmaxrighttibiafemurAngc);

strminrighttibiafemurAnga=['min=',num2str(yminrighttibiafemurAnga)];
text(xminrighttibiafemurAnga,yminrighttibiafemurAnga,strminrighttibiafemurAnga,'HorizontalAlign
ment','center','VerticalAlignment','top');
strmaxrighttibiafemurAnga=['max=',num2str(ymaxrighttibiafemurAnga)];
text(xmaxrighttibiafemurAnga,ymaxrighttibiafemurAnga,strmaxrighttibiafemurAnga,'HorizontalAlign
ment','center','VerticalAlignment','bottom');
strminrighttibiafemurAngb=['min=',num2str(yminrighttibiafemurAngb)];
text(xminrighttibiafemurAngb,yminrighttibiafemurAngb,strminrighttibiafemurAngb,'HorizontalAlign
ment','center','VerticalAlignment','top');
strmaxrighttibiafemurAngb=['max=',num2str(ymaxrighttibiafemurAngb)];
text(xmaxrighttibiafemurAngb,ymaxrighttibiafemurAngb,strmaxrighttibiafemurAngb,'HorizontalAlign
ment','center','VerticalAlignment','bottom');
strminrighttibiafemurAngc=['min=',num2str(yminrighttibiafemurAngc)];
text(xminrighttibiafemurAngc,yminrighttibiafemurAngc,strminrighttibiafemurAngc,'HorizontalAlign
ment','center','VerticalAlignment','top');
strmaxrighttibiafemurAngc=['max=',num2str(ymaxrighttibiafemurAngc)];
text(xmaxrighttibiafemurAngc,ymaxrighttibiafemurAngc,strmaxrighttibiafemurAngc,'HorizontalAlign
ment','center','VerticalAlignment','bottom');

```

Bijlage IV

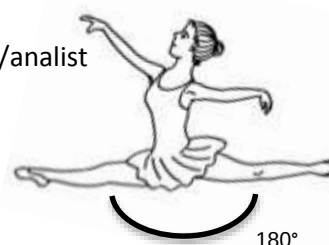
Projectvoorstel

Identiteit

Titel:	Range of motion van de spagaat
Naam:	Hendrikus Johannes Cozijnsen
Roepnaam:	Jeroen
Studentnummer:	09029826
Email:	jeroencozijnsen@hotmail.com
Studiepunten mod. 9 t/m 12:	51/51
Datum:	31-01-2015
Intern/extern:	Intern
Opdrachtgever:	Aad Lagerberg
Werkveld:	Onderzoek
Beroepsrol:	Onderzoeker/analist

Projectdefinitie

Aanleiding/doelstelling



De spagaat



De split

De spagaat (gymnastic splits) is een interessante beweging. Bij de spagaat wordt één been naar voren gebracht en één been naar achter ten op zichte van de romp. Volgens het woordenboek www.woorden.org is de betekenis: 'gymnastische houding waarbij je ene been plat en gestrekt naar voren steekt en je andere been plat en gestrekt naar achteren'. Op het eerste gezicht lijkt het erop dat de spagaat gemaakt wordt door het ene been in anteflexie te brengen en het andere been in retroflexie te brengen, zoals het woordenboek suggereert. Hierdoor komen de benen in het verlengde van elkaar en dat zorgt voor een hoek van 180° . Als de romp voorwaarts gericht is (m.a.w. de verbindinglijn tussen de beide schouders staat haaks op de lengterichting van de benen) spreken we van een spagaat. Als de schouders evenwijdig lopen met de benen, is er sprake van de split (zie bovenstaande afbeeldingen).

Volgens Lagerberg (2000) is het onmogelijk om de spagaat te maken puur en alleen met ante- en retroflexie. 90° anteflecteren van het been is het heupgewricht is wel mogelijke, maar uitsluitend met een gebogen knie. Aangezien de gemiddelde mens met een gestrekte knie een bewegingsuitslag heeft van 50° anteflexie en 20° retroflexie in het heupgewricht, is het onwaarschijnlijk dat de spagaat alleen met anteflexie en retroflexie gemaakt wordt. Bij elkaar maakt dat een hoek van 70° . Dat is 110° te weinig. Om de hoek van 180° te bereiken zijn er dus andere bewegingsrichtingen nodig. Wat zich werkelijk afspeelt in de diverse betrokken gewrichten is nog nauwelijks onderzocht. Een zoektocht op Pubmed met de zoektermen "split kinematics", "splits", "gymnastics split" en "biomechanical analysis split" heeft geen relevante artikelen opgeleverd.

De split en/of de spagaat komen in veel turnonderdelen en in het ballet voor. In trainingen wordt al op jeugdige leeftijd veel aandacht besteed aan het "rekken en strekken" om de uitvoering te verbeteren. Een dergelijke training heeft echter grenzen. Het maken van een spagaat is ook met intensieve training niet voor iedereen weggelegd. Dit is voor coaches interessant. Wie kan het potentieel leren en wie niet. Om antwoord te vinden op deze vraag moeten de volgende deelvragen beantwoord worden.

- Wat speelt zich precies af in de betrokken gewrichten bij het maken van de spagaat?

- Wat is het verschil tussen de testpersonen die de spagaat kunnen?
- Welke bewegingsuitslagen in vivo worden er gemaakt en in welke richtingen?
- Betreft dat mono-articulaire spieren of speelt lenigheid in ketens die door poly-articulaire spieren worden overspannen een rol?

Randvoorwaarden

- *Maandag 2 maart 2015 zal er worden gestart met de uitvoeringsfase.*
- *Deze uitvoeringsfase zal een periode zijn van 14 weken.*
- *Het eindproduct dient in week 10 van blok 4 (5 juni 2015) te worden ingeleverd aan de commissieleden van de Haagse Hogeschool.*

Methode

De methode wordt verdeeld in vier onderzoeken. Een literatuur onderzoek, onderzoek naar de range of motion van de spagaat, onderzoek naar de bewegingsuitslagen en tot slot zal er gemodelleerd worden. Alle testpersonen zullen het bewegingsuitslag onderzoek doen. Het spagaat onderzoek wordt alleen gedaan door de personen die de spagaat daadwerkelijk kunnen. De range of motion van de spagaat wordt eerst onderzocht, zodat de bewegingsuitslagen die gemaakt worden bij de spagaat bekend zijn. Op basis hiervan worden er testen ontworpen om de bewegingsuitslagen in vivo te onderzoeken.

Literatuur onderzoek

Aan het begin van het project wordt gezocht naar relevante literatuur. Dit zal worden verzameld en de belangrijke informatie zal worden gedocumenteerd. In de literatuur wordt gezocht naar:

- vergelijkbare onderzoeken naar range of motion (andere bewegingen dan de spagaat).
- wat is precies lenigheid?
- hoe werkt strekken? (o.a. colleges en readers van Chris en Aad)
- de beperkende rol van poly-articulaire spieren bij bewegingen.
- welke testen zijn er voor het onderzoeken van de bewegingsuitslagen?

Spagaat onderzoek

De spagaat zal worden geanalyseerd met behulp van het Optitrack Motion Capture System. De metingen worden verricht in het B&A lokaal van de opleiding bewegingstechnologie. Vooraf de meting worden reflecterende ronde markers aangebracht op de testpersoon. Om de spagaat goed te beschrijven is het van belang om de bewegingsuitslagen van de relevante gewrichten te meten. De relevante gewrichten zijn: het heupgewricht, het kniegewricht, de rug en het enkelgewricht. De heup is het meeste logische gewricht. Op het eerste gezicht gebeurt in de heup de meeste bewegingscompensaties. Hierbij moet worden gedacht aan anteflexie/retroflexie, maar ook endo/exorotatie en ab/adductie.

Vervolgens wordt er ook gekeken wat er in het kniegewricht gebeurt. Dit lijkt in eerste instantie niet heel relevant, de knie wordt immers gestrekt (dat is een van de voorwaarde om een goede spagaat te maken). Maar toch wordt de strekking van de knie gemeten. Dit wordt gedaan omdat er niet vanuit kan worden gegaan dat de knie 100% strekt. Hypothetisch gezien kan de knie ook bijv. 80% gestrekt zijn en misschien wordt er wel een klein beetje exo- of endorotatie gemaakt. Omdat het niet zeker is wat er gebeurt wordt de knie ook gemeten.

Het enkelgewricht wordt gemeten, omdat daar een poly-articulair gewricht loopt: de m. gastrocnemius. Het is interessant om te kijken of deze spier invloed heeft. Als iedereen bij het maken van de spagaat zijn voet bv in dorsaal flexie heeft, zegt dat natuurlijk iets over een eis om de spagaat goed te maken.

Als laatste wordt de flexie (of extensie) van de rug gemeten. Na een videoanalyse op YouTube is gebleken dat veel turnsters een holle rug hebben. Echter niet iedereen heeft dezelfde holle rug.

Door dit te meten kan de flexie in de rug worden vergeleken met de anteflexie in het heupgewricht. Wat is de rede van de holle rug? Zit hier een correlatie tussen de lenigheid in het heupgewricht?

De testpersoon begint in de referentiepositie, afbeelding 1. Bij de start van de meting blijft de testpersoon 5 seconden recht op staan. Vervolgens wordt de spagaat gemaakt, zoals de testpersoon dit normaal gesproken ook doet. Na 5 seconden in de uiterste stand gezeten te hebben, wordt de meting gestopt en mag de proefpersoon weer gaan staan. De beweging wordt per testpersoon in totaal 3x uitgevoerd.



Afbeelding 1. De referentiepositie waarin de testpersoon de meting begint.

Plaatsing markers

De markers kunnen niet per ledemaat hetzelfde worden geplaatst. Het meet systeem zal ze niet kunnen onderscheiden. Daarom wordt er gebruik gemaakt van clusters. Dit zijn een aantal markers die vast zitten op een plaat. In de software zal dit worden gedefinieerd als 1 marker, een cluster. Hoe de cluster precies worden geplaatst, zal moeten blijken uit de proefmeting.

De keuzes van de relevante gewrichten zijn eerder besproken. Om te meten wat er in die gewrichten gebeurt moeten er markers worden bevestigd.

Om de hoeken van het heupgewricht te meten, zal er markers geplakt moeten worden op het **bekken** en het **bovenbeen**.

Het aantal graden van de knie zal worden gemeten met dezelfde markers op het bovenbeen en een marker op het **onderbeen**.

Voor het enkelgewricht wordt dezelfde marker gebruikt op het onderbeen en een marker op de **voet**.

Op de rug is een marker nodig op het bekken. Die zit er al om ook het heupgewricht te meten. Vervolgens zijn er verschillende markers nodig op het **wervelkolom**. In de rug kan er op verschillende plekken gebogen worden. om dit goed in kaart te brengen zal er op 3 à 4 plekken op het wervelkolom markers worden aangebracht. Waar precies en hoeveel zal moeten blijken uit de proefmeting.

Plekken waar de markers worden geplakt in een overzicht:

Bekken
Bovenbeen
Onderbeen

Voeten
Wervelkolom (verschillende plekken)

Meetgroep

De meetgroep is 20 testpersonen die de spagaat kunnen en 20 testpersonen die de spagaat niet kunnen.

Data verwerken

De data van het Optitrack systeem worden berekend met behulp van Matlab. Hiervoor zal een programma moeten worden geschreven die het aantal graden berekend dat een lichaamscomponent verplaatst/roteert. De posities van markers worden ten opzichte van elkaar bekeken/berekend. De bewegingen worden mathematisch vastgelegd in een rechthoekig assenstelsel. Alle data van de X- Y- Z coördinaten worden vervolgens in Matlab verwerkt. De compensaties worden beschreven met de pelvis als uitgangspunt. In Matlab zal ook een grafiek gemaakt worden van de route die afgelegd is om de spagaat te maken.

Bewegingsuitslag onderzoek

De bewegingsuitslagen in vivo worden ontworpen aan de hand van de resultaten van de range of motion. De mobiliteit van de relevante gewrichten die meespelen bij de spagaat worden gemeten. Het aantal graden zal worden benaderd met de pelvis als nulpunt.

Statistische verwerkingen

De resultaten zullen statisch worden verwerkt met behulp van SPSS. Eerst zal per groep de statistiek worden bekeken. Hoe is de groep verdeeld van de mensen die de spagaat kunnen en hoe is de andere groep verdeeld van de mensen die niet de spagaat kunnen. Hier zal een scatter plot van worden gemaakt. De spreiding en de standaard deviatie is hier duidelijk te zien.

De maximale bewegingsuitslagen in graden van de testpersonen die de spagaat kunnen en de testpersonen die de spagaat niet kunnen, zullen met elkaar vergeleken worden. Hiervoor zal de 'Independent samples t-test' worden gebruikt. Deze test bekijkt het verschil tussen de twee groepen.

In praktijk zal moeten blijken of hier genoeg informatie in zit. Het is altijd mogelijk om meer testen toe te voegen als dit nodig blijkt te zijn.

Modelleren

In het laatste deel van het onderzoek wordt alle informatie die gevonden is, in de literatuur en de resultaten van het eigen onderzoek, bij elkaar gevoegd. Met alle resultaten zullen er modellen geschetst worden die de spagaat simuleren. Hierbij zal antwoord gegeven worden op de hoofdvraag 'wie kan de spagaat leren en wie niet' en waar ligt dat aan. De anatomische kennis die in de opleiding vergaard is zal hierbij worden gebruikt.

Bij het modelleren zal ook van gedachten worden gewisseld met trainers en coaches. Er zal van te voren een vragenlijst worden gemaakt. Deze zal gaan over de huidige trainingswijze van de trainer en hun idee waarom iemand de spagaat wel of niet kan. Omdat elke coach natuurlijk zijn eigen manier en ideeën heeft, zullen er verschillen trainers/coaches worden benaderd. De resultaten van het gesprek met de trainers zal geen invloed hebben op de resultaten van het onderzoek. Dit is puur om een idee te krijgen hoe de turn wereld er zelf over denkt. Daarom is het niet erg als er verschillende meningen van trainers naar voren komen. Daar kan namelijk ook iets over worden gezegd. (Dat de turnwereld er heel verschillend naar kijkt bv.)

Resultaat

Aan het eind van het project is het duidelijk wat de compensaties zijn van de spagaat. Met dit resultaat zijn de testen voor de bewegingsuitslagen ontworpen. Met deze twee resultaten kan er iets gezegd worden over de bewegingsuitslagen die mensen nodig hebben om de range of motion te halen die nodig is voor de spagaat. Vervolgens wordt door middel van de resultaten van de literatuurstudie en de anatomische kennis beredeneerd wat de beperkingen zijn om de spagaat te maken. Uiteindelijk wordt de hoofdvraag beantwoord: waarom kan iemand wel de spagaat en iemand anders niet? Hieronder staan de resultaten opgesomd:

- *De compensatie eisen om de spagaat te kunnen maken in graden.*
- *De bewegingsuitslagen van de testpersonen in de relevante gewrichten in graden.*
- *Het verschil in range of motion tussen de testpersonen die allemaal de spagaat kunnen.*
- *Antwoord op de vraag waarom iemand de spagaat kan en waarom iemand niet.*

Literatuur lijst

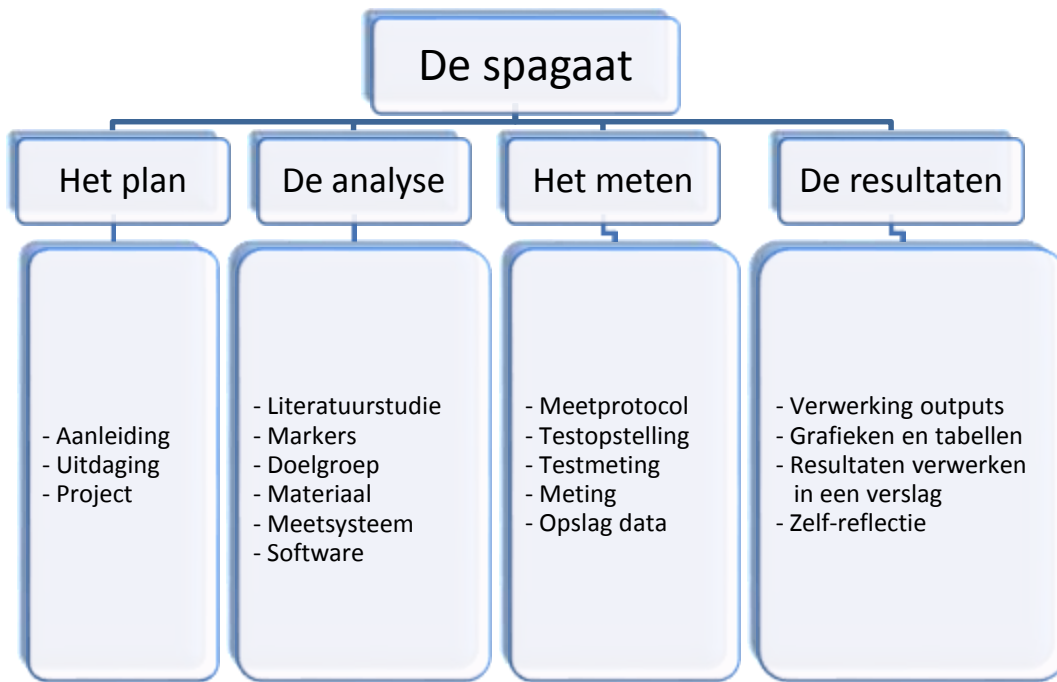
C. Riezebos, A. Lagerberg, P. van der Meer (1996). *Biokinematica van de sacroiliacale keten*. VERSUS, 14^e jaargang (no. 3), 15p.

C. Riezebos, A. Lagerberg (1996). *Heupmobiliteit, beenlengte en lichaamshouding*. VERSUS, 14^e jaargang (no. 5), 7p.

H.H. Oonk (1988). *Osteo- en Arthrokinematica*. Weert,

J. Vellinga (1984). *Gewrichtsuitslagen van top tot teen*. Literatuuronderzoek, industrieel ontwerpen. Delft.

A. Lagerberg (2000). *Short hamstrings?* VERSUS, 18^e jaargang (no. 5), 15p.



Het project is verdeeld in verschillende fases, zoals afgebeeld in bovenstaand figuur. Dit zorgt ervoor dat het project overzichtelijk is.

Bijlage V

Competentieprofiel Jeroen

Beroeps specifieke Competenties
Competentie 1: Bewegingsanalyse; Bewegingsregistratie: De bewegingstechnoloog kan met behulp van bewegingsregistratie technieken verschillende parameters op het terrein van bewegingen vastleggen, kwantificeren en analyseren.
Leerdoelen: Ik wil mezelf verbeteren om een goede bewegingsregistratie te maken. In dit onderzoek wil ik leren om de kinematica van de spagaat duidelijk en gedetailleerd te omschrijven.
Acties: Door middel van de metingen met de Optitrack wil ik een goede bewegingsregistratie maken. De resultaten kan ik dan bestuderen en gaan omschrijven wat ik precies zie.
Evaluatie leerdoel aan het eind van de afstudeerperiode: Ik heb zeer veel geleerd om zelfstandig een bewegingsanalyse te doen. Het Optitrack systeem kent geen geheimen meer. Daarnaast heb ik geleerd om de resultaten goed en duidelijk weer te geven.
Competentie 2: Testen en onderzoeken; De bewegingstechnoloog kan op basis van een probleemstelling een onderzoek opzetten en uitvoeren op bewegingstechnologisch gebied. Dit kan hij zowel in de vorm van een theoretisch onderzoek (literatuurstudie en modelvorming) als in de vorm van een toegepast onderzoek (gebruiksonderzoek)
Leerdoelen: Deze competentie past heel goed bij dit project en wil ik daarom ook verbeteren.
Acties: Het is al begonnen met zelf een projectplan schrijven en het onderzoek op zetten. Dit wordt vooral gedaan door een theoretisch onderzoek te doen en uiteindelijk een model te vormen.
Evaluatie leerdoel aan het eind van de afstudeerperiode: Uiteindelijk heb ik een goed projectplan geschreven en in mijn project heb ik hier altijd wat aan gehad. Hoewel er tijdens het project veel veranderd heb je altijd een basis om op terug te vallen.

Algemene Beroepsgerichte Competenties
Competentie 1: Communicatie; De bewegingstechnoloog kan een heldere rapportage (onderzoeksrapport, adviesprotocol, literatuurstudie e.d.) opstellen.
Leerdoelen: Als het onderzoek goed gelukt is, is het nog niks waard zonder een goede beschrijving. De spagaat moet duidelijk tot in detail gerapporteerd worden, zodat het duidelijk is voor iedereen.

Acties: Ik zal veel voorbeelden bekijken van andere bewegingsanalyses. Hoe zijn die precies omschreven en wat kan ik daarvan leren.
Evaluatie leerdoel aan het eind van de afstudeerperiode: Dit was heel lastig, maar naar mijn mening is het wel gelukt om heel veel data kort en beknopt, maar wel duidelijk te laten zien het in het rapport.
Competentie 2: ICT; De bewegingstechnoloog kan zelfstandig softwareprogramma's ontwikkelen en toepassen voor randapparatuur en bewegingstechnologische toepassingen.
Leerdoelen: Bij de metingen is natuurlijk software nodig. Die moet ik gaan begrijpen en leren. Daarnaast moet er een matlab programma worden ontwikkeld om tot resultaten te komen. Ten slotte wordt er ook een computer model gemaakt.
Acties: Ik ga gebruik maken van Matlab, de software voor de metingen en een programma voor het computer model.
Evaluatie leerdoel aan het eind van de afstudeerperiode: Uiteindelijk is er geen computer model gekomen. Ik heb wel heel veel met Matlab gewerkt en de software van de optitrack. Dit ben ik veel beter gaan begrijpen en hierin ben ik gegroeid.

Persoonsgebonden Competenties	
Competentie 1: Initiatief & aanpassingsvermogen; De bewegingstechnoloog toont initiatief, kan zich snel aanpassen aan veranderende werkomgevingen, en kan op basis van doorzettingsvermogen prestatiegericht werken.	
Leerdoelen: Bij een eigen project moet je wel initiatief nemen, anders komt er geen goed eind. Hier wil ik aan werken en laten zien dat ik een goede bewegingstechnoloog ben en doorzettingsvermogen heb.	
Acties: Ik kom zelf met ideeën bij mijn begeleider (Aad Lagerberg). Ook als er iets mis dreigt te gaan, moet ik dat tijdig aangeven, zodat ik niet in de problemen zit op het laatst.	
Evaluatie leerdoel aan het eind van de afstudeerperiode: Ik heb met Aad veel overleg gehad. Maar uiteindelijk heb ik achteraf gezien te weinig gevraagd. Hier zou ik de volgende keer weer aan moeten werken.	