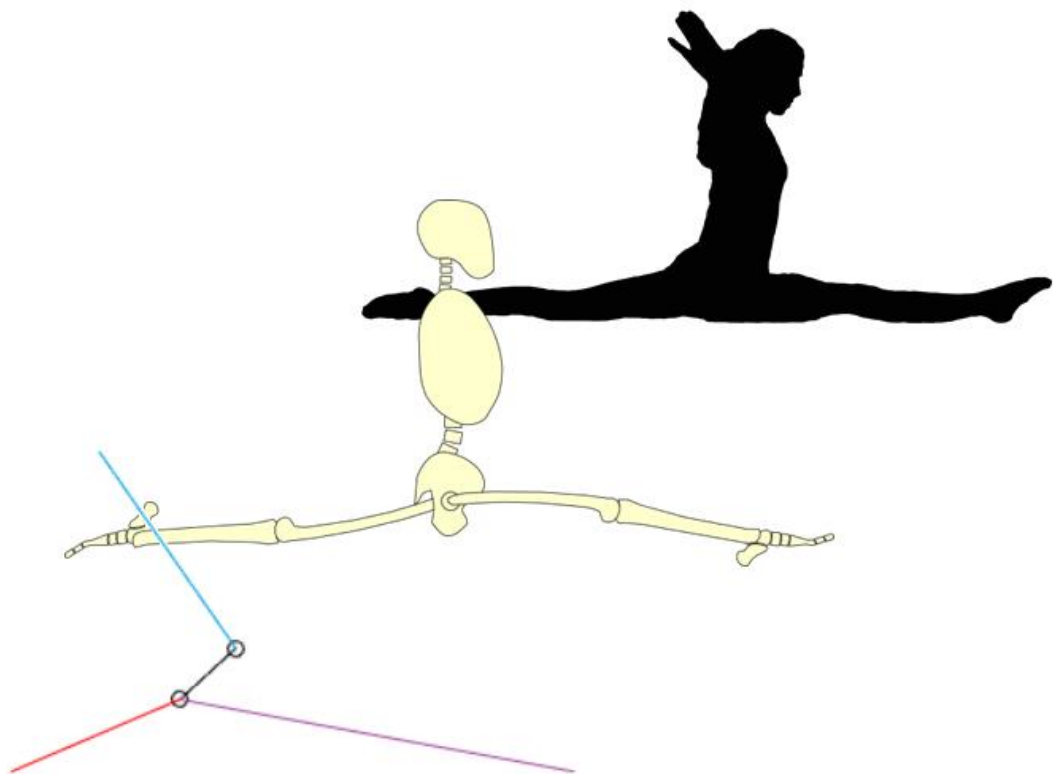


Een modelmatige kwantificatie van de vereiste flexibiliteit voor de spagaat

Afstuderen: scriptie



De Haagse Hogeschool Mens & Techniek | Bewegingstechnologie

Auteur

C.C. de Vreede [12017116]

k4eede@hotmail.com

Eerste begeleidster

H. van der Sloot

h.vandersloot@hhs.nl

Tweede begeleider

A.H. Lagerberg

a.lagerberg@hhs.nl

Identiteit

Inleverdatum

14 juni

Periode

07 maart – 15 juni 2016

Titel

Een modelmatige kwantificatie van de vereiste flexibiliteit voor de spagaat

Werkveld

Onderzoek

Beroepsrol

Onderzoekster; analist

VOORWOORD

Deze scriptie is geschreven in het kader van het afstuderen binnen de opleiding Bewegingstechnologie aan De Haagse Hogeschool, Den Haag.

In samenwerking met mijn turnverenigingen en op basis van eigen interesse heb ik in een periode van 14 weken een zelf ontworpen onderzoek uitgevoerd. Hierbij heb ik mij verdiept in de flexibiliteit tijdens een spagaat uitgevoerd door turnsters. Ik ben zelf actief in de turnwereld samen met mijn moeder en zusje. Onze spagaten verschillen echter enorm. Mijn zusje haalt hem net niet, mijn moeder is blij als ze een hoek van 90° haalt en ik balanceer ergens in het midden. Ik wilde graag inzicht in deze verschillen krijgen en erachter komen waar ik zelf het beste op kan trainen om mijn spagaat te verbeteren.

Tijdens mijn afstuderen is niet alles vloeierend verlopen. De metingen liepen helaas parallel aan de wedstrijdtrainingen en tijdens het formuleren van de discussie kwam er een fout in het model aan het licht. In plaats van een binnenhoek had ik een buitenhoek vastgezet wat grote gevolgen had voor de resultaten. Gelukkig heb ik mijn hoofd koel kunnen houden en het probleem weten op te lossen wat een positieve uitwerking op mijn model en tevens mijn scriptie heeft gehad.

Tot slot wil ik nog een aantal mensen bedanken. Als eerste de turnverenigingen Sparta-Delft en D.S.T. Pegasus die mij toestemming hebben verleend om metingen uit te voeren tijdens de trainingen. Mijn dank gaat ook uit naar Laura Kalfsval, Mirjan Meuleman en Raymond Nankoe die als erkende juryleden een serie van 38 spagaten hebben beoordeeld. Binnen de opleiding wil ik Hester van der Sloot en Aad Lagerberg bedanken als afstudeerbegeleiders. Zonder hun kritische blik was mijn scriptie niet volledig geweest. Uiteraard wil ik ook Mark Schrauwen bedanken voor het voor langere tijd mogen lenen van meetapparatuur en mijn vriend Erik van de Kerkhof voor het doorbreken van vicieuze denkfouten. Op de laatste, maar zeker niet de minste plaats, wil ik alle 38 turnsters bedanken die ik heb mogen meten. Zonder proefpersonen was het uitvoeren van dit onderzoek onmogelijk geweest. Ik ben daarom erg blij dat er zoveel turnsters bereid zijn geweest om voor mij een spagaat uit te voeren waar ik beeldmateriaal van mocht maken.

Ik heb de opleiding Bewegingstechnologie met veel plezier gevolgd en ik hoop dat deze scriptie met hetzelfde enthousiasme wordt gelezen als waar hij mee geschreven is.

Karen de Vreede
Delft, juni 2016

INHOUDSOPGAVE

VOORWOORD

SAMENVATTING 4

1. Inleiding	5
2. Methode	10
2.1 Model	10
2.2 Validatie	13
2.3 Samenhang bewegingscomponenten.....	16
3. Resultaten	19
3.1 Werking model	19
3.2 Validatie	20
3.3 Samenhang bewegingscomponenten.....	20
4. Discussie	24
4.1 Validatie	24
4.2 Literatuur	25
4.3 Aanbevelingen.....	26
5. Conclusie	28

LITERATUURLIJST29

BIJLAGEN.....30

A. Protocol spagaat	30
B. Protocol anteflexie	32
C. Protocol retroflexie	34
D. Protocol extensie	36
E. Jurybeoordelingen	38
F. Matlabcode model	41
G. Matlabcode ratio	51
H. Projectvoorstel	54
I. Competentieprofiel	60

SAMENVATTING

De spagaat is een gymnastische houding in het turnen die excessieve bewegingsuitslagen vraagt in de betrokken gewrichten, met name in articulatio coxae. Literatuur⁵ heeft aangetoond dat er gemiddeld een tophoek mogelijk is van 150° tussen de femora. Zodra de knieën gestrekt zijn, wat een van de voorwaarden is voor de spagaat,¹ neemt deze hoek af tot 80°.⁸ Een spagaat met een tophoek van 180° tussen de benen wordt waarschijnlijk dus niet gerealiseerd door een zuivere anteflexie van het voorste been en een zuivere retroflexie van het achterste been. Beide worden gecombineerd met abductie en exorotatie.⁹⁻¹⁰ De bijdrage van anteflexie en retroflexie bij twee turnsters die een succesvolle spagaat uitvoeren kan variëren. Een identieke tophoek vergt minder anteflexie bij een lenige retroflexie dan bij een matige retroflexie. Dergelijke verschillen hebben invloed op de mate van vooroverkanteling van de pelvis tijdens een spagaat. Aangezien een correcte spagaat ook eisen stelt aan de romphouding,¹ deze moet haaks op de lengterichting van de benen en verticaal staan, leiden uitvoeringsverschillen tot andere extensiewaarden van de wervelkolom. Deze benadering voorspelt dus dat de verhouding tussen de drie hierboven genoemde bewegingen aan bepaalde voorwaarden moet voldoen om een succesvolle spagaat mogelijk te maken. De centrale vraag hierbij is geweest: wat is de ratio tussen de anteflexie hefhoek, de retroflexie hefhoek en de extensie van de wervelkolom tijdens een spagaatuitvoering?

Een kinematische modelstudie heeft deze hypothetische benadering getoetst en geleid tot de formulering van een antwoord. De minimale tophoek die gevonden is bij het analyseren van positief beoordeelde foto's van spagaten door erkende juryleden diende als randvoorwaarde voor de beenspreiding. De x-positie van het uiteinde van de romp moest daarnaast bij alle waarden voor de beenspreiding gelijk blijven. Het model is gevalideerd door als invoer beenlengten van 38 turnsters en hun passieve ROM in de genoemde richtingen te hanteren. De uitkomst van het model was tweeledig. Ten eerste kon het model een fictief juryoordeel geven met een beenspreiding van minimaal 140° en de correcte romppositie als criteria. Dit is ontleend aan een algemeen juryoordeel over gefotografeerde spagaten. Ten tweede werd de tophoek teruggekoppeld en vergeleken met de tophoek uit spagaatuitvoeringen op foto's.

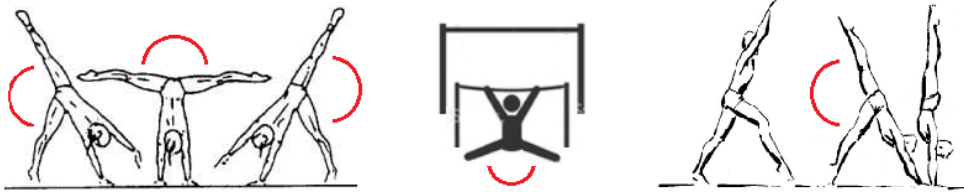
Uit de studie is gebleken dat het model goed kon voorspellen of een spagaat aan de eisen van de jury voldeed. De binominale validiteit bedroeg 0.875 voor de gevoeligheid en 1 voor de specificiteit. De validatie voor de absolute waarde van de tophoek was echter twijfelachtig ($r = 0.814$; $p = 0.000$) met een bereik van 21° voor de grenzen van mate van overeenkomst met de Bland-Altman methode.¹³ In een esthetische sport zoals turnen kan 5° al fataal zijn.¹⁷

Uit verdere analyses met het model is gebleken dat er geen waarde kon worden voorspelt voor de totale flexibiliteit (drie bewegingen samen), omdat de extensie van de wervelkolom af hing van de kanteling van de pelvis en niet van de beenspreiding. De tophoek in een spagaat exclusief extensie van de wervelkolom (gemiddelde = 133,4°, mediaan = 134,0°) is daarmee in het model significant groter dan de tophoek inclusief extensie van de wervelkolom (gemiddelde = 131,0°, mediaan = 134,0°), $T = 0$; $z = -2,67$; $p = 0,008$; $r = -0,31$.

Er lijkt een relatie te bestaan tussen de drie bewegingscomponenten, maar deze is ingewikkelder dan gedacht. Anteflexie en retroflexie zijn in de eindpositie van een spagaat één op één uitwisselbaar, echter in de beweging naar deze positie toe niet. Naast de range of motion speelt statische antropometrie hier een grote rol. De mate van extensie van de wervelkolom is slechts afhankelijk van de vooroverkanteling van de pelvis, veroorzaakt door de beperkte retroflexie. Een vervolgonderzoek zou de relatie van alle drie de componenten wellicht nauwkeuriger kunnen vaststellen. Voor nu geldt: train als turnster op de retroflexie.

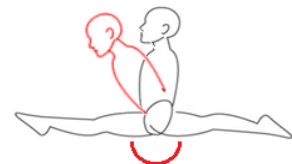
1. Inleiding

In de turnwereld is lenigheid geen overbodige luxe. Alleen al voor het maken van een radslag, het uitvoeren van een spreidhang in de damesbrug en het opgooien van een handstand is er een ruime beenspreiding vereist (figuur 1). Dit kan toenemen tot excessieve bewegingsuitslagen in de heup voor gymnastische houdingen zoals de spagaat (figuur 2).



Figuur 1: Een radslag, spreidhang en een handstand (v.l.n.r.). De rode boog illustreert de beenspreiding. De afbeelding is een bewerking op illustraties uit *Woman's Artistic Gymnastics: de Code of Points, 2015* [1].

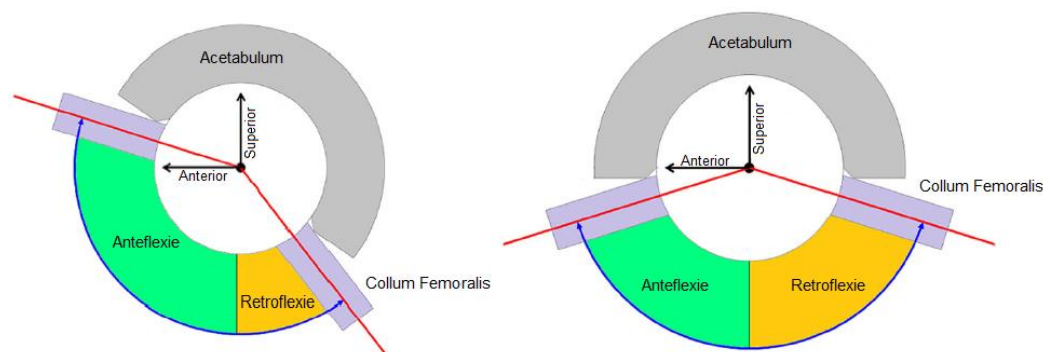
Een onderzoek van Handa² toont aan dat flexibiliteit, naast kracht, snelheid en cardiovasculaire fitness, één van de belangrijkste factoren is, die van invloed is op de prestatie in het turnen bij dames. Daarbij is de lenigheid van het heupgewricht niet alleen gecorreleerd aan de algemene prestatie ($r = -0.450$; $p < 0.01$), maar ook aan de prestatie op elk toestel afzonderlijk (sprong $r = -0.399$, $p < 0.01$; vloer $r = -0.451$, $p < 0.01$; brug $r = -0.373$, $p < 0.01$ en balk $r = -0.430$, $p < 0.01$). Om op hoog niveau succesvol te kunnen turnen, lijkt lenigheid een randvoorwaarde. Een spagaat kan deze mate van lenigheid illustreren. Tijdens een spagaat wordt er anteflexie met het voorste been en retroflexie met het achterste been gemaakt. De benen lijken een hoek te maken, gedefinieerd als de tophoek, van 180° (figuur 2). De verbindinglijn door beide schouders staat bij een spagaat haaks op de lengterichting van de benen. Indien de schouders parallel staan, spreekt men van een split. Een spagaat wordt tevens afgewaardeerd als de schouders zich niet boven de pelvis bevinden (figuur 2).



Figuur 2: Een afgevaardigde (rood) en succesvolle spagaat (zwart) met boog als tophoek [3].

Tijdens het geven van turnlessen is er waargenomen dat de knie van het achterste been en de voet van het voorste been altijd contact maken met de ondergrond tijdens een spagaatuitvoering. Daarnaast is niet iedereen in staat om een spagaat te maken en het trainen hiervan levert voor elk individu andere resultaten op. Er spelen volgens Dantas⁴ vier factoren een rol als het gaat om de complexiteit van de flexibiliteit: de range of motion van een gewricht (47%), de elasticiteit van de spiercomponenten (41%), de weerstand geleverd door pezen welke niet kunnen uitrekken (10%) en de plasticiteit en huidplooien (samen 2%).

Het eerste mogelijke probleem dat ontstaat bij het uitvoeren van een spagaat betreft dus de anatomie van het heupgewricht. Als de tophoek eerlijk verdeeld zou zijn over beide heupgewrichten, zou een complete spagaat 90° zuivere anteflexie in het voorste been en 90° zuivere retroflexie in het achterste been eisen. Dit is in strijd met waarden die in de literatuur worden beschreven. Turley⁵ vermeldt in zijn onderzoek een referentiewaarde van 120° voor zuivere anteflexie en 30° voor zuivere retroflexie, gemeten vanuit een rechtopstaande uitgangspositie. Dit verschil heeft te maken met de oriëntatie van het acetabulum en het caput femoralis van de articulatio coxae in de ruimte. Uit zijn onderzoek is tevens gebleken dat de zuivere anteflexie wordt belemmerd door een botsing van het collum femoralis met het acetabulum en de retroflexie door de weerstand van weke delen. Als deze weke delen worden verwaarloosd, zou er pas een botsing van de botten ontstaan bij 75° retroflexie. Deze oriëntatie is geïllustreerd in figuur 3. De som van anteflexie en retroflexie geeft volgens de waarden van Turley een tophoekuitslag van maximaal 150° tussen beide femora. Naast een ongelijke verdeling van de twee benodigde bewegingscomponenten is tevens een tophoek van 180° dus anatomisch vrijwel onmogelijk.



Figuur 3: Invloed van de oriëntatie van het acetabulum en het collum femoralis op de bewegingsuitslag in de articulatio coxae. Links is de werkelijke verdeling in de anatomische stand zichtbaar, rechts de oriëntatie die nodig is bij een gelijke verdeling over de bewegingscomponenten [5].

Er zit echter een addertje onder het gras. De anteflexie is tot nu toe beschreven als het femur ten opzichte van de pelvis, de geïsoleerde range of motion. Het percentage dat Dantas⁴ benoemt (47%) slaat op de mobiliteit in het heupgewricht met een gebogen knie. In een spagaat is het echter van belang dat deze wordt uitgevoerd met gestrekte benen, dus volledige extensie in de knieën. In een spagaat gaat het daarom om een keten van gewrichten. Voor de maximaal haalbare bewegingsuitslag gaan poly-articulaire spieren nu een significante rol spelen. In tabel 1 is te zien welke poly-articulaire spieren betrokken zijn bij het uitvoeren van een spagaat als er wordt gekeken naar zowel de articulatio coxae als de articulatio genus. Op basis van de werklijn van de spier ten opzichte van de as van het gewricht is het gevolg op de spierlengte bepaald.

Tabel 1: De poly-articulaire spieren die betrokken zijn bij het uitvoeren van de spagaat en de invloed op de totale spierlengte. De momentsarm is afhankelijk van de stand van het gewricht en weergegeven in mm als min – max (anatomische houding) [6].

	musculus	articulatio coxae momentsarm (mm); spier	articulatio genus momentsarm (mm); spier	spierlengte
voorste been	biceps femoris	5 – 65 (55); verlengen	10 – 55 (10); verlengen	extra lang
	semitendinosus	10 – 65 (55); verlengen	30 – 50 (30); verlengen	extra lang
	semimembranosus	10 – 65 (50); verlengen	25 – 45 (25); verlengen	extra lang
	sartorius	35 – 85 (45); verkorten	5 – 20 (0); verlengen	circa gelijk
	gracilis	5 – 25 (20); verkorten	10 – 35 (10); verlengen	circa gelijk
	rectus femoris	10 – 55 (45); verkorten	25 – 50 (45); verkorten	extra kort
achterste been	biceps femoris	5 – 65 (55); verkorten	10 – 55 (10); verlengen	circa gelijk
	semitendinosus	10 – 65 (55); verkorten	30 – 50 (30); verlengen	circa gelijk
	semimembranosus	10 – 65 (50); verkorten	25 – 45 (25); verlengen	circa gelijk
	sartorius	35 – 85 (45); verlengen	5 – 20 (0); verlengen	extra lang
	gracilis	5 – 25 (20); verlengen	10 – 35 (10); verlengen	extra lang
	rectus femoris	10 – 55 (45); verlengen	25 – 50 (45); verlengen	circa gelijk

De momentsarmen (tabel 1) volgen uit de inklemverhouding van de spier. Hiervoor geldt dat een grotere momentsarm gepaard gaat met een grotere invloed op de spierlengte.⁷ Uit tabel 1 kan dan worden opgemaakt dat de hamstrings (m. biceps femoris, m. semitendinosus en de m. semimembranosus) naar verwachting de beenspreiding zullen belemmeren. Naast een grotere momentsarm van de hamstrings, wordt er in een spagaat tevens meer anteflexie dan retroflexie uitgevoerd waardoor deze spiergroep relatief meer moet verlengen dan de spieren in het achterste been. In de literatuur is er inderdaad gevonden dat de hamstrings zorgen voor een afname van de anteflexie van 120° in het geïsoleerde heupgewicht⁵ tot circa 50° wanneer de knie volledig in extensie staat.⁸ Als er naar de keten van gewrichten wordt gekeken, neemt de mogelijke tophoek tussen de femora af van circa 150° naar 80° voor de gemiddeld lenige populatie. Het voorgaande illustreert dat een tophoek van 180° tussen de femora vrijwel onmogelijk is, terwijl de beenspreiding in een spagaat op het oog wel 180° bedraagt (figuur 4).



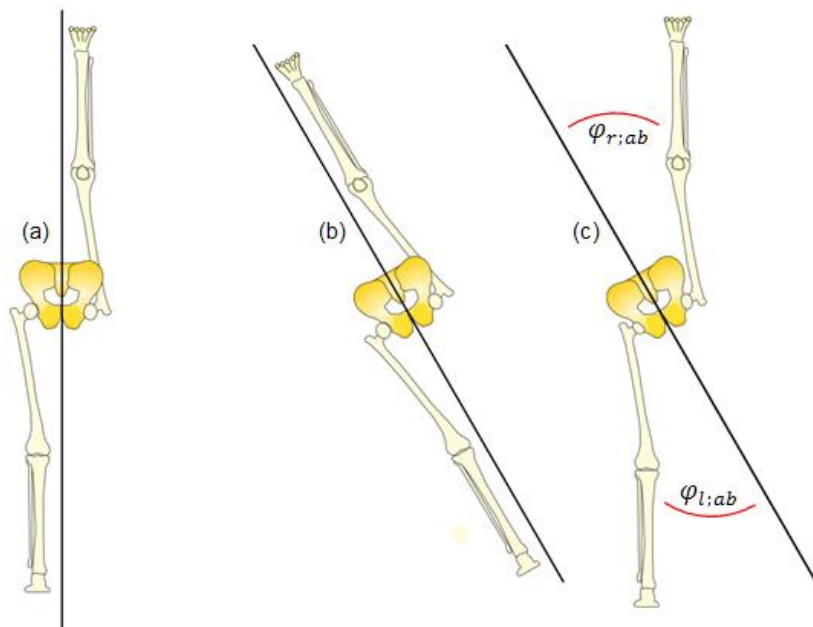
Figuur 4: Een turnster in een succesvolle uitgevoerde spagaat.

Ondanks dat een spagaat op basis van de anatomie vrijwel onmogelijk lijkt, zijn er genoeg mensen die wel degelijk een spagaat kunnen uitvoeren. Het is dus duidelijk dat er geen zuivere bewegingsuitslagen worden uitgevoerd om tot een beenspreiding van 180° te komen. Een eerdere scriptie van Cozijnsen⁹ heeft laten zien dat er in de articulatio coxae bij beide benen ook abductie en exorotatie optreedt. Cozijnsen heeft de spagaat geanalyseerd met het 3D-optitracksysteem ten opzichte van de proefpersoon in stand, bijna identiek aan de anatomische houding. Zijn bevindingen komen overeen met het recente onderzoek van Assasi en Magnenat-Thalmann¹⁰ waar dezelfde bewegingscomponenten zijn waargenomen met een MRI-scan ten opzichte van een overeenkomstige referentie. In tabel 2 zijn de resultaten van beide onderzoeken weergegeven. Er kan worden geconcludeerd dat de pelvis in de eindstand van de spagaat niet loodrecht op de lengterichting van de benen staat. In de articulatio coxae treedt er exorotatie op, maar de stand van de voeten (de voorste voet met de voetrug omhoog en de achterste voet met de voetrug omlaag) verandert niet. Aangezien er geen rotatie mogelijk is in de articulatio genus als de knie volledig in extensie staat,¹¹ betekent dit dat de pelvis moet zijn gerooteerd.

Tabel 2: Resultaten van de zuivere bewegingsuitslagen in de articulatio coxae in de eindstand van een spagaat met de proefpersoon in stand (de anatomische houding) als referentie.

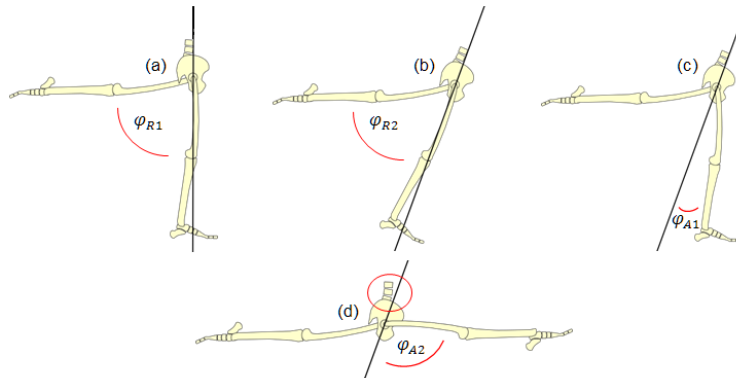
	component	Cozijnsen ⁹	Assasi ¹⁰
articulatio coxae; voorste been	anteflexie	111°	132°
	abductie	20°	30°
	exorotatie	31°	14°
articulatio coxae; achterste been	retroflexie	41°	<30°
	abductie	43°	<30°
	exorotatie	5°	<30°

In tabel 2 is tevens zichtbaar dat er abductie optreedt in beide benen tijdens een spagaat. Dit kan alleen verklaard worden door de stand van de pelvis ten opzicht van de benen. In een spagaat liggen de benen parallel aan de ondergrond en in het verlengde van elkaar. Dit is alleen mogelijk als er abductie wordt uitgevoerd (figuur 5).



Figuur 5: De verklaring voor de optredende abductie in beide heupgewrichten tijdens een spagaat, bovenaanzicht. (a) Als de pelvis in de anatomische stand blijft staan zou er voor de spagaat geen abductie in de benen optreden. (b) Als de pelvis draait en de benen zouden mee bewegen, is de hele spagaat gerooteerd en is er vooralsnog geen abductie uitgevoerd. (c) Om de benen in dezelfde positie te houden als zichtbaar is in a maar toch te abducen in de heupen, zal er in zowel het rechter been ($\varphi_r;ab$) als het linker been ($\varphi_l;ab$) abductie moeten optreden. Een spagaat met rechts voor maakt dat de pelvis naar links beweegt ten opzichte van het voorste been en bij een spagaat met links voor zal de pelvis dus naar rechts bewegen. In beide situaties beweegt de pelvis van het voorste been af waardoor er zowel voor als achter abductie plaatsvindt.

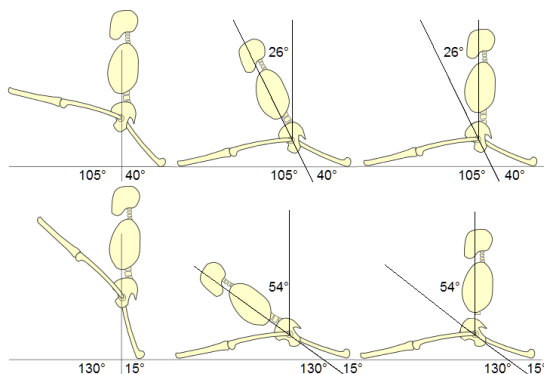
Uit de literatuur^{5,9-11} blijkt dat de retroflexie in articulatio coxae vrijwel nooit 90° bedraagt. Om het achterste been in een spagaat toch parallel aan de ondergrond te krijgen zal daarom de pelvis voorover worden gekanteld. Deze kanteling zorgt dat het voorste been al een kleine anteflexie maakt. Voor een correcte spagaat zal deze anteflexie toe dienen te nemen totdat ook het voorste been parallel aan de ondergrond ligt. In figuur 6 is dit gevisualiseerd.



Figuur 6: De oorzaak en het gevolg van het vooroverkantelen van de pelvis tijdens de spagaat. (a) De gevraagde retroflexie (φ_{R1}) is anatomisch vrijwel onmogelijk. (b) De pelvis zal vooroverkantelen tot het been met de maximaal mogelijke retroflexie (φ_{R2}) parallel aan de ondergrond ligt. (c) Als de pelvis kantelt en het voorste been op dezelfde positie blijft als bij a, wordt er al een geringe anteflexie (φ_{A1}) gemaakt. (d) Voor de spagaat moet de anteflexie (φ_{A2}) toenemen tot het voorste been ook parallel aan de ondergrond ligt. Tot slot is in de rode cirkel te zien dat de kanteling wordt gecorrigeerd met extensie van de wervelkolom.

Tot slot gaat ook de flexibiliteit van de wervelkolom meespelen. De bewegingen van de pelvis zijn namelijk van invloed op de stand van de romp. Eerder is beschreven dat een spagaat wordt afgewaardeerd als de schouders zich niet haaks op de lengterichting van de benen bevinden en de romp niet verticaal is gericht. De bewegingen van de pelvis zullen moeten worden gecorrigeerd in de wervelkolom. Als gevolg van de vooroverkanteling zal er extensie in de lumbale en thoracale wervelkolom moeten worden geleverd (figuur 6d). Bij een spagaat met het rechter been naar voren zal de pelvis naar links draaien (abductie) en wordt er een torsie in de wervelkolom gevraagd naar rechts. Een spagaat met het linker been voor eist op basis van overeenkomstige redentatie een corrigerende torsie naar links.

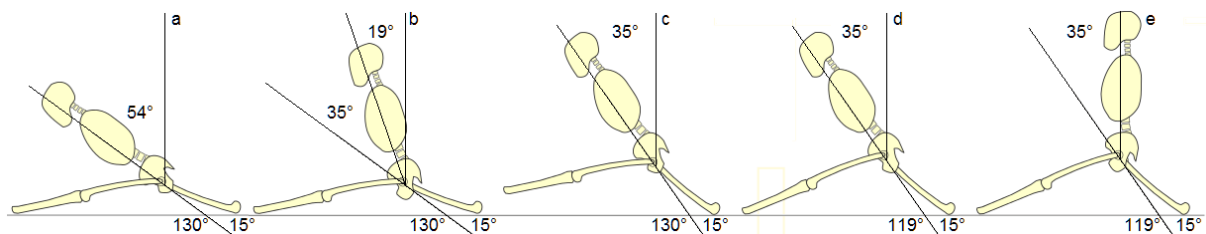
Uit het bovenstaande betoog is gebleken dat er voor de eindstand van een spagaat een zekere lenigheid vereist wordt van drie bewegingscomponenten: anteflexie, retroflexie en extensie van de wervelkolom. De tophoek zal gerealiseerd moeten worden met een combinatie van anteflexie en retroflexie waarbij de knie van het achterste been en de voet van het voorste been altijd in contact zijn met de ondergrond. De extensie van de wervelkolom zal afhangen van de vooroverkanteling die de pelvis ondervindt, waarbij die mate van kanteling afhankelijk is van de retroflexie (figuur 7). Het is voor turnsters, train(st)ers en het selecteren van talent niet alleen relevant om te weten wie er wel en niet in staat zullen zijn om een spagaat te kunnen uitvoeren, meer inzicht in het traject naar deze eindstand is tevens interessant. Een vertaalslag van een theoretische benadering naar de praktijk kan helpen bij de ontwikkeling van een specifieke spagaattraining.



Figuur 7: Een spagaat bestaat uit drie bewegingscomponenten om de eindstand te bereiken: anteflexie, retroflexie en extensie van de wervelkolom. De tophoek, in het voorbeeld altijd 145°, wordt gerealiseerd door een combinatie van anteflexie en retroflexie. Door de bovenste reeks te vergelijken met de onderste reeks kan er worden geconcludeerd dat anteflexie en retroflexie in de eindstand van de spagaat één op één uitwisselbaar zijn. Bij deze vergelijking is tevens zichtbaar dat de vooroverkanteling van de pelvis afhankelijk is van de mate van retroflexie. Een matige retroflexie (reeks onder, 15°) vraagt een grotere waarde voor de extensie (reeks onder, 54°) dan een lenige retroflexie (reeks boven, 40°) vraagt voor de extensie van de wervelkolom (reeks boven, 26°).

In dit onderzoek zal de spagaat daarom worden geanalyseerd vanuit een theoretische invalshoek. Er zal een tweedimensionale kinematische modelstudie worden opgezet. Turnen is een jurysport, dus de eisen waaraan een spagaat moet voldoen zullen in dit model gedefinieerd worden op basis van het oordeel van erkende juryleden van de Koninklijke Nederlandse Gymnastiek Unie (KNGU). Het model zal vervolgens worden ingezet om de centrale onderzoeksvraag te beantwoorden: wat is de ratio tussen de anteflexie, retroflexie en extensie van de wervelkolom tijdens het uitvoeren van een spagaat?

Op basis van de behandelde literatuur^{5,8-11} met betrekking tot de bewegingsuitslagen in de heupgewrichten wordt er verwacht dat de tophoek in de eindstand van een spagaat kleiner is dan 180° . In figuur 7 is te zien dat er naar verwachting geldt dat anteflexie en retroflexie in de eindstand één op één uitwisselbaar zijn. Bij een matige retroflexie zal er vervolgens een grotere mate van vooroverkanteling van de pelvis plaatsvinden dan bij een lenige retroflexie (figuur 7). Een matige retroflexie in combinatie met een stijve rug maakt dat de romp onvoldoende kan extenderen om de romp verticaal te positioneren. Als de romp toch verticaal wordt geplaatst, zal dit gepaard gaan met het terugkantelen van de pelvis wat te zien is in figuur 8. Er wordt daarom tevens verwacht dat als een correcte houding van de romp niet wordt meegenomen in de analyse er een grotere tophoek wordt bereikt dan wanneer de schouders haaks op de lengterichting van de benen en boven de pelvis staan. Tot slot wordt er verwacht dat de anteflexie en retroflexie, beide gecombineerd met abductie en exorotatie, kunnen worden benaderd als de hefhoek van het voorste been (anteflexie) en de hefhoek van het achterste been (retroflexie). Het model zal worden gevalideerd aan de hand van passieve range of motion metingen en beenlengtemetingen van turnsters. Het doel van het model is daarmee het doen van een voorspelling voor de maximale eindstand van een spagaatuitvoering van een turnster en het beschrijven van de relatie tussen de bewegingscomponenten tijdens het traject naar deze eindstand toe.



Figuur 8: Invloed van een beperkte extensie van de wervelkolom op tophoek in de eindstand van een spagaat. (a) Bij 130° anteflexie en 15° retroflexie (tophoek 145°) treedt er 54° kanteling op. (b) Stel er is slechts 35° extensie van de wervelkolom mogelijk, dan zal de pelvis dus 19° terug moeten kantelen. (c) Bij een kanteling van slechts 35° ligt de voet van het voorste been dat anteflexie maakt niet meer op de ondergrond als er niets wordt aangepast aan de anteflexie en retroflexie. (d) In het voorste been zal de anteflexie af moeten nemen van 130° naar 119° om de voet weer op de ondergrond te plaatsen. (e) Als er nu weer extensie van de wervelkolom wordt uitgevoerd, is er een tophoek ontstaan van 134° .

De methode van de kinematische modelstudie wordt uiteengezet in hoofdstuk 2. Hierin is beschreven wat de randvoorwaarden voor een spagaat zijn, de manier waarop deze worden verwerkt in het model, de methode om het model te kunnen valideren en hoe het model uiteindelijk resultaten oplevert die van belang zijn voor de formulering van een antwoord op de onderzoeksvraag. Hoofdstuk 3 zal vervolgens de resultaten weergeven van de werking van het model, de validatie en de gevonden relatie tussen de drie bewegingscomponenten. In de discussie (hoofdstuk 4) zal er kritisch naar deze resultaten worden gekeken om deze te kunnen interpreteren in relatie tot de gevolgde methode, de gestelde hypothesen en de literatuur. Tot slot wordt er in hoofdstuk 5 een conclusie getrokken en antwoord gegeven op de onderzoeksvraag. Hier zal tevens een vertaalslag worden gemaakt van de theorie naar de praktijk.

2. Methode

2.1 Model

In deze paragraaf is de totstandkoming van het model uiteengezet. De invoer voor het model bestond uit coördinaten, afmetingen en passieve ROM. De werking berustte op basis van de wiskundige theorie over cirkelbewegingen. Tot slot bedroeg de uitkomst van het model de maximale tophoek tijdens een spagaatuitvoering die vervolgens getoetst werd aan randvoorwaarden om terug te koppelen of het om een succesvolle spagaat ging of niet.

2.1.1 Invoer

Het model is gebaseerd op een tweedimensionale referentiehouding. Deze houding betrof de persoon in stand. Hiervan is een segmentenmodel gegenereerd in Matlab R2014b (Mathworks, versie 8.4.0.150421) met de oorsprong in het heupgewricht. Het meest lateraal prominierend punt van de trochanter major is hiervoor genomen, omdat deze goed palpabel is. Het ging vervolgens om de romp, de pelvis, het bovenbeen (retroflexie) en het hele been (anteflexie) als afzonderlijke segmenten. Voor het verkrijgen van de segmenten zijn de onderstaande botpunten gebruikt. Deze zijn tevens gekozen op basis van de moeilijkheidsgraad voor palpatie.

- Coördinaten van de spina iliaca anterior superior (SIAS).
- Coördinaten van de eerste thoracale wervel (TH1).
- Coördinaten van de epicondylus lateralis van het femur (ECL).
- Beenlengte; de afstand van de trochanter major (TM) tot de malleolus lateralis (ML).

2.1.2 Wiskundige theorie

Alle segmenten in het model konden bewegen. Dit gebeurde op basis van cirkelbewegingen waarbij het uiteinde van het segment om de TM draaide. Voor het uiteinde van TH1 gold dat deze een relatieve cirkelbeweging beschreef rondom de SIAS. Het segmentenmodel was een zijaanzicht met de neus in de richting van de positieve x-as. De oriëntatie van de segmenten was gedefinieerd ten opzichte van de positieve x-as of voor de romp een lijn parallel hieraan. De algemene formules staan in tabel 3.

Tabel 3: De wiskundige formules behorend bij een cirkelbeweging voor de segmenten in het model (met $|r|$ = de lengte van het desbetreffende segment, φ = de hoek die het segment met de positieve x-as maakt en met $k = 0$ of $k = 1$).

	Coördinaten	Lengte $ r $	Oriëntatie (φ)
Segment	$\begin{bmatrix} r _{segment} * \cos(\varphi_{segment}) \\ r _{segment} * \sin(\varphi_{segment}) \end{bmatrix}$	$\sqrt{Segment_x^2 + Segment_y^2}$	$\tan^{-1}\left(\frac{Segment_y}{Segment_x}\right) + k * \pi$
TH1	$\begin{bmatrix} r _{TH1} * \cos(\varphi_{TH1}) - SIAS_x \\ r _{TH1} * \sin(\varphi_{TH1}) - SIAS_y \end{bmatrix}$	$\sqrt{TH1_x^2 + TH1_y^2}$	$\tan^{-1}\left(\frac{TH1_y}{TH1_x}\right) + k * \pi$

2.1.3 Aannamen

Een model is een vereenvoudigde weergave van de werkelijkheid. Er zijn dan ook enkele aannamen gedaan voor het modelleren van de referentiehouding en de bewegingen die uiteindelijk werden gesimuleerd. Allereerst is er voor de bepaling van de beenlengte, één van de invoerwaarden, de verbindingslijn tussen de TM en de ML genomen. Er is dus aangenomen dat het onderbeen in het verlengde van het bovenbeen stond zodat het been automatisch gestrekt was. Dit is een eis voor een spagaat.¹ Deze aanname heeft ertoe geleid dat de oriëntatie van het bovenbeen en het onderbeen identiek is. Deze segmenten vormden dan ook de referentielijn vanaf waar anteflexie en retroflexie werden gedefinieerd.

Uit observaties is gebleken dat een spagaat wordt uitgevoerd door de knie van het been dat retroflexie maakt op de ondergrond te plaatsen, vervolgens het voorste been te strekken, uit te schuiven en tot slot de romp goed te positioneren. Dit maakt dat zowel de knie van het achterste been als de voet van het voorste been altijd in contact zijn met de ondergrond. De

volgorde van deze uitvoering en de aanname van de identieke y-positie van de knie en voet zijn daarom de leidraad geweest voor de bewegingssimulatie van het segmentenmodel. Dit heeft de opeenvolgende bewerkingen opgeleverd (zie ook figuur 19 in de resultaten):

- Er is retroflexie uitgevoerd tot de maximaal haalbare waarde van de persoon. Hiervoor is het segment bovenbeen rechtsom om de TM gedraaid. De oriëntatie van de pelvis is in deze situatie gefixeerd.
- Er is anteflexie uitgevoerd totdat het uiteinde van het been minder dan het verschil in y-positie van 0.75° hoekverdraaiing afweek van de y-positie van het segment bovenbeen dat retroflexie heeft uitgevoerd. Hiervoor is het segment been dus linksom om de TM gedraaid. De pelvis is wederom gefixeerd.
- Bij extra ruimte voor anteflexie is de pelvis gaan kantelen. Tijdens deze kanteling is de retroflexie en de hoek van de romp met de pelvis gefixeerd (kleinste hoek). Daarnaast is het verschil tussen de y-positie van het segment dat anteflexie en het segment dat retroflexie maakt nooit groter dan het verschil in y-positie van 0.75° hoekverdraaiing van het been geweest.
- Tot slot is er extensie uitgevoerd in de wervelkolom waarbij TH1 linksom om de SIAS is gedraaid. Bij onvoldoende extensie is de pelvis teruggekanteld.

2.1.4 Randvoorwaarden

De randvoorwaarden voor een spagaat zijn gebaseerd op een experimenteel deelonderzoek. Hiervoor zijn de officiële regels¹ van het turnen voor dames geraadpleegd. In het turnen wordt de beenspreiding gezien als maat voor het wel of niet toekennen van het element. De houding van de romp is naast gestrekte tenen, rechte ledenmaten en armen los van de grond een maat voor esthetiek. In dit deelonderzoek is er alleen gekeken naar de beenspreiding, omdat dit een eis is in het turnen, in combinatie met gestrekte knieën en de positie van de romp. De kleinste tophoek die de femora maakten in de spagaten die door juryleden positief zijn beoordeeld, vormde de randvoorwaarde voor de beenspreiding. De randvoorwaarde voor een correcte positie van de romp is gebaseerd op de horizontale afstand tussen de TM en TH1 in de referentiehouding. Deze moet na het uitvoeren van retroflexie, anteflexie en extensie van de wervelkolom kleiner zijn dan of gelijk zijn aan de beginafstand in de rechtopstaande houding.

2.1.4.1 Apparatuur

In dit deelonderzoek is er gebruik gemaakt van een camera met flits (EX-Z800, Casio Computer CO. LTD., 2010) om turnsters in een correcte spagaat te fotograferen. De opnamen zijn verwerkt middels Kinovea (Joan Charmant & Contr. versie 0.8.15, 2011).

2.1.4.2 Populatie

Er zijn 17 turnsters in dit deelonderzoek gefotografeerd. Exclusiecriteria omvatten turnsters die volgens hun trainster geen correcte spagaat konden uitvoeren en turnsters die een blessure hadden aan hun onderste extremiteit of in hun wervelkolom. In tabel 4 zijn de relevante persoonskenmerken zichtbaar. Alle turnsters zijn mondeling en schriftelijk geïnformeerd. Minderjarige turnsters mochten slechts meedoen als zij toestemming hadden van hun ouders. Naast turnsters zijn er drie erkende juryleden binnen de KNGU (tabel 5) benaderd die de spagaten hebben beoordeeld.

Tabel 4: De relevante persoonskenmerken van de turnsters (gemiddelde $\pm$ standaarddeviatie SD). De kolom actief laat zien hoeveel jaar er al wordt geturnd. Het aantal trainingsuren is uitgedrukt per week en de laatste kolom geeft de verhouding van het voorkeursbeen (voorste been) in de spagaat weer.

N	Leeftijd	Actief (jaren)	Trainingsuren	L:R
17	13.7 $\pm$ 6.9	6.0 $\pm$ 4.9	3.1 $\pm$ 1.3	10:7

Tabel 5: De relevante kenmerken van de erkende juryleden. De kolom actief geeft weer hoelang een jurylid al in het bezit is van een licentie. De laatste kolom laat zien hoeveel wedstrijden er zijn gejureerd (gemiddelde $\pm$ SD).

N	Actief (jaren)	Wedstrijden
3	9.3 $\pm$ 6.2	8 $\pm$ 1.6

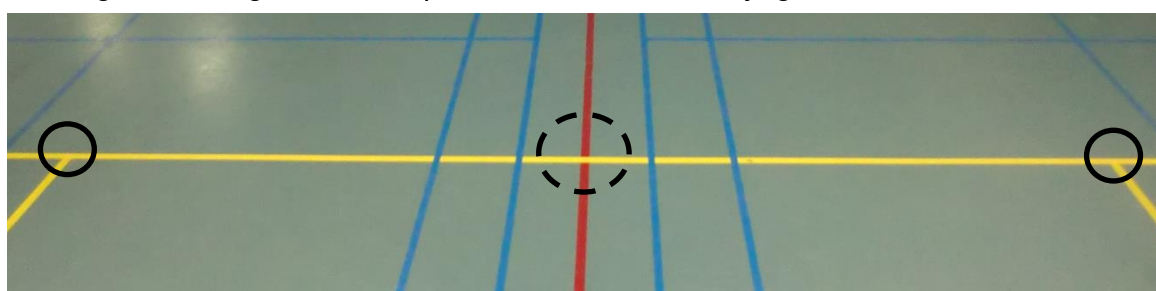
2.1.4.3 Testmethode

Er is van elke turnster een foto genomen van de spagaat vanuit beide zijaanzichten. Deze foto's zijn naar de juryleden verzonden. Op basis van het onderstaande scoreformulier (tabel 6) zijn alle spagaten beoordeeld. De aftrek kon, op basis van de officiële regels¹, 0.1, 0.3 of 0.5 punten bedragen.

Tabel 6: Scoreformulier voor de erkende juryleden binnen de KNGU voor het beoordelen van de spagaten.

Erkenning: beenspreiding			Uitvoering: esthetische aftrek					
Spagaat	Aftrek	Telt niet	Tenen	Benen	Heupen	Schouders	Romp	Armen

Om de tophoek in de spagaat te kunnen analyseren zijn de TM en de ECL op beide benen gepalpeerd in staande houding. Hierna is de turnster in spagaat gaan zitten met de belijning van de gymzaal als referentie (figuur 9). Er zijn reflecterende markers geplaatst op de botpunten na controle in de spagaat om voor eventuele verschuivingen te corrigeren. Een gedetailleerd protocol is te vinden in bijlage A.

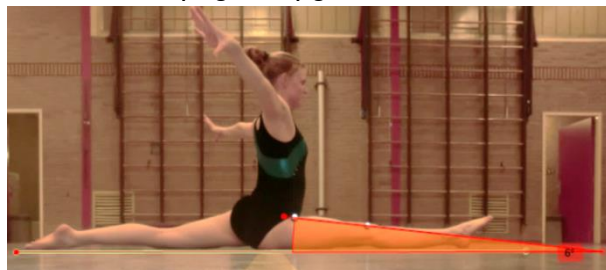


Figuur 9: De belijning van de gymzaal als referentie voor identieke spagaatuitvoeringen. Het os pubis werd geplaatst op het kruispunt in de gestippelde cirkel, de benen op verticale lijn. De camera stond op het kruispunt in de kleine cirkels.

2.1.4.4 Verwerking

De spagaten die positief zijn beoordeeld door de juryleden zijn meegenomen in de analyse voor het bepalen van de tophoek van de femora in een spagaat. Turnen is een subjectieve sport en de jurybeoordelingen kunnen onderling verschillen. Er is daarom gekozen om een spagaat te includeren als twee van de drie juryleden positief was. Dit is ook de reden dat een spagaat nog positief werd bevonden bij een aftrek van 0.1 voor de beenspreiding of romp. De aftrek voor de overige criteria (tabel 6) zijn niet meegenomen omdat dit niet relevant was voor de beantwoording van de onderzoeksvraag.

De positief beoordeelde spagaten zijn geanalyseerd in Kinovea. Hier is de hoek van de beide benen bepaald ten opzichte van de horizontale lijn waarop de benen van de turnster lagen (figuren 10 en 11). De tophoek in de spagaat is nu gelijk aan 180° minus de hoeken die beide femora maken met de horizontale lijn. De minimale waarde die gevonden werd, is vervolgens als randvoorwaarde voor de beenspreiding in een succesvolle spagaat opgenomen.



Figuur 10: De analyse van de anteflexie (6°).



Figuur 11: De analyse van de retroflexie (20°).

2.1.5 Uitkomsten

Het model heeft op basis van de bovenstaande regels en de vastgestelde randvoorwaarden teruggekoppeld wat de maximale tophoek bedroeg en of het een succesvolle spagaat was.

2.2 Validatie

Om te bepalen of het vormgegeven model de werkelijkheid voldoende nabootst, is er een validatieonderzoek uitgevoerd. Hierin is er onderzocht of het model op basis van de invoer: coördinaten, beenlengten en de passieve ROM van de anteflexie, retroflexie en gecombineerde extensie met een torsie van de wervelkolom, een overeenkomstige tophoek genereert als de tophoek bepaald uit geanalyseerde foto's van de turnsters in een spagaatuitvoering. Alleen een valide model kan en mag worden ingezet bij een vervolgonderzoek.

2.2.1 Apparatuur

In dit validatieonderzoek is de tophoek bepaald op basis van foto's van turnsters die een (poging tot) spagaat uitvoeren. De flexibiliteit is vastgesteld door turnsters te filmen tijdens het uitvoeren van anteflexie, retroflexie en extensie in combinatie met een torsie van de wervelkolom met een gefixeerde pelvis in alle situaties. De opnamen zijn gemaakt met een digitale camera (EX-Z800, Casio Computer CO. LTD, 2010). De foto's zijn genomen met flits en er is gefilmd met een samplefrequentie van 30 frames per seconde. Het beeldmateriaal is verwerkt middels Kinovea (Joan Charmant & Contr. versie 0.8.15, 2011).

2.2.2 Populatie

Er hebben 38 turnsters meegedaan aan het validatieonderzoek. In tabel 7 zijn de relevante persoonskenmerken weergegeven. Exclusiecriteria omvatten turnsters die niet meer actief zijn, een blessure hadden in de onderste extremiteit of een blessure in de wervelkolom hadden. Alle turnsters zijn mondeling en schriftelijk geïnformeerd. De deelnemers zijn ingelicht over de mogelijke risico's en er is een verklaring voor vrijwillige deelname ondertekend alvorens de turnsters mochten deelnemen. Minderjarige turnsters mochten slechts meedoen als zij toestemming hadden van hun ouders.

Tabel 7: De relevante persoonskenmerken van de deelnemende turnsters (gemiddelde $\pm$ SD). De leeftijd staat vermeld in jaren. De kolom actief laat zien hoeveel jaar de turnster al op turnen zit. Het aantal trainingsuren is uitgedrukt in het aantal uur per week en de laatste kolom laat de verdeling van het voorkeursbeen (voorste been) over de populatie zien.

N	Leeftijd	Actief (jaren)	Trainingsuren (p/w)	Links : Rechts
38	13.8 $\pm$ 8.3	5.8 $\pm$ 4.8	2.4 $\pm$ 1.4	15 : 23

Naast 38 turnsters voor de spagaatuitvoeringen en metingen, hebben er drie erkende juryleden meegedaan om een oordeel te vellen. Zij hebben alle spagaten beoordeeld zodat de turnsters konden worden ingedeeld in twee groepen: een groep met succesvolle spagaten en een groep met afgekeurde spagaten. De relevante persoonskenmerken van de juryleden zijn te vinden in tabel 5, paragraaf 2.1.4.2.

2.2.3 Spagaatuitvoeringen

Allereerst zijn de TM, ECL en SIAS van beide benen gepalpeerd en afgetekend. Vervolgens zijn alle turnsters in hun spagaatuitvoering gaan zitten. De afgetekende punten zijn gecontroleerd zodat een mogelijke verschuiving kon worden gecorrigeerd. Tot slot zijn er reflecterende markers aangebracht op de TM en de ECL terwijl de turnster in spagaat zat. De spagaten zijn van beide kanten in het zijaanzicht gefotografeerd volgens de methode beschreven in paragraaf 2.1.4.3 en figuur 9. Van elke turnster is tevens de beenlengte opgemeten. Om de turnsters te verdelen over de groepen een succesvolle spagaat en een afgekeurde spagaat is de overeenkomstige jurybeoordeling aangehouden als beschreven in paragraaf 2.1.4.3.

2.2.4 ROM metingen

Voor het bepalen van de flexibiliteit zijn er drie testen uitgevoerd. Als eerste is de maximale anteflexie van het been bepaald dat de turnster voor heeft liggen in haar spagaat. Tijdens

deze meting was de pelvis gefixeerd op de volgende manier: de turnster heeft met haar hielen, billen en schouders tegen de muur gestaan. De muur heeft hierdoor voorkomen dat de pelvis kon roteren doordat er altijd contact moest blijven tussen de muur en de genoemde lichaamsdelen van de turnster. Het kantelen van de pelvis is tegengegaan door de turnster een arm tussen de pelvis en de muur te laten plaatsen.⁸ Deze houding is te zien in figuur 12. De camera was zodanig gepositioneerd dat deze zich bij elke meting loodrecht op de TM bevond en het hele been in beeld was. Dit heeft het mogelijk gemaakt om niet de zuivere anteflexie te kunnen bepalen, maar de totale hefhoek: een toevoeging van abductie en exorotatie heeft in deze situatie geen vertekende invloed op de hoek die het been maakt met de horizontaal. In een spagaat treedt er naast anteflexie namelijk abductie en exorotatie in het voorste been op.^{9,10} Het been is tijdens de opname dan ook opgetild door de onderzoekster waarbij het toegestaan was om het been te abducen en te exoroteren. Op deze manier is de maximale passieve hefhoek bepaald die haalbaar was zonder dat de turnster het contact met de muur verloor. Er is gekozen voor een passieve benadering, omdat de spagaat passieve lenigheid vergt. Het uitgebreide protocol bevindt zich in bijlage B.



Figuur 12: Starthouding meting anteflexie.

De tweede test die is uitgevoerd omvatte de bepaling van de retroflexie. Bij elke turnster is hiervoor het achterste been getest. Dit fixatie van de pelvis is gerealiseerd door de turnster buikwaarts met haar heupen (SIAS) tegen een kast te laten staan (figuur 13). Deze kast kon aangepast worden aan de lengte van de turnster en was open aan de onderkant zodat de voeten in de kast konden worden geplaatst. De camera stond ook in deze situatie loodrecht



Figuur 13: Links de starthouding voor de ROM meting (passief; retroflexie en actief gecombineerde extensie met torsie) en rechts de meetopstelling.

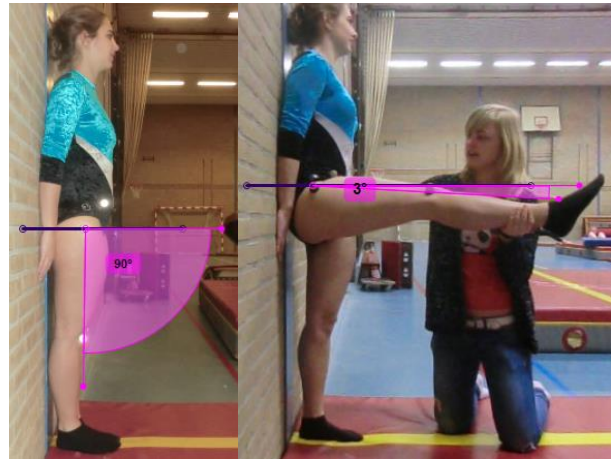
op de TM zodat de hefhoek van het been dat retroflexie maakt in de spagaat kon worden bepaald. Er is namelijk gebleken dat ook in het achterste been abductie en exorotatie optreedt in een spagaat.^{9,10} Het been is tijdens de opname dan ook opgetild door de onderzoekster waarbij er naast het uitvoeren van retroflexie ook mocht worden geabduceerd en geëxroteerd. Op deze manier is de maximale passieve hefhoek van het achterste been bepaald die haalbaar was zonder dat de turnster loskwam van de kast. Het uitgebreide protocol bevindt zich in bijlage C.

De laatste meting die bij elke turnster is uitgevoerd was een opname van de gecombineerde extensie met een torsie van de wervelkolom. Hiervoor is een overeenkomstige starthouding en meetopstelling gebruikt als in figuur 13. De camera stond wederom loodrecht ten opzichte van de TM. Om de ROM van de wervelkolom te kunnen bepalen zijn naast markers op de SIAS, TM en ECL ook markers op de TH1 en de vijfde lumbale wervel (L5) geplaatst. Vervolgens is er gevraagd aan de turnster om eerst een maximale torsie uit te voeren naar de kant van het been dat voor ligt in een spagaat, omdat de pelvis bij een spagaat van het voorste been af beweegt en er hiervoor gecorrigeerd dient te worden (zie inleiding, figuur 5). Terwijl de turnster rechtop stond met deze maximale torsie is er vervolgens gevraagd om een maximale extensie van de wervelkolom uit te voeren. Hierbij moest de marker op TH1 zich continu recht boven de marker op de L5 bevinden en mocht de SIAS niet loskomen van de kast. Het uitgebreide protocol bevindt zich in bijlage D.

2.2.5 Data

Op basis van de jurybeoordeling zijn de turnsters ingedeeld in twee groepen: een groep met een door de jury goedgekeurde spagaat en een groep waarbij de spagaat werd afgekeurd. Alle foto's van de turnsters in hun spagaatuitvoering zijn vervolgens geanalyseerd op overeenkomstige methode als die te lezen is in paragraaf 2.1.4.4. Dit heeft de werkelijke tophoeken tijdens de spagaat opgeleverd.

De maximale hefhoek van het been dat anteflexie heeft uitvoert, is bepaald door de hoek van het femur met de horizontaal op te meten in Kinovea (figuur 14). De TM is niet de werkelijke gewrichts-as van de articulatio coxae en heeft tijdens de meting bewogen. Om voor deze verschuiving te corrigeren is de hoek ten opzichte van de horizontaal door de TM bepaald. Allereerst is in de foto van de starthouding de hoek bepaald. In de opname is vervolgens het frame gezocht en geselecteerd waar de ECL de hoogste positie had bereikt zonder dat de turnster los is gekomen van de muur, de benen zijn gebogen of de pelvis is gaan kantelen (figuur 15). De maximale hefhoek was gelijk aan het verschil tussen beide analyses.



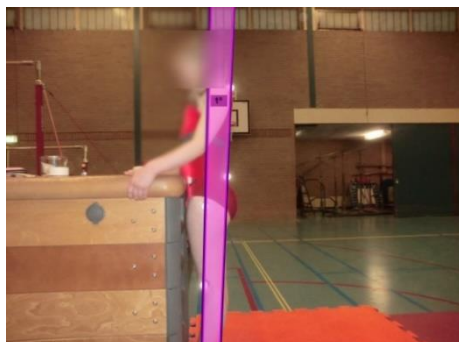
Figuur 14: De bepaling van de maximale hefhoek van het been dat anteflexie maakt in de spagaat van de turnster. Links de foto van de starthouding (90°), rechts het geselecteerde frame in de opname (3°). Deze turnster haalt een maximale hefhoek van: $90^\circ - 3^\circ = 87^\circ$. Zodra de eindstand zich boven de horizontaal bevindt, wordt er een negatieve waarde toegekend.



Figuur 15: De karakteristiek zodra er kanteling van de pelvis plaatsvindt. Links een kanteling achterover bij hefhoek anteflexie (linksonder → rechtsboven), rechts een kanteling voorover bij hefhoek retroflexie (rechtsboven → linksonder).

De maximale hefhoek van het been dat retroflexie heeft uitvoert is op overeenkomstige wijze bepaald. Het hoogste punt van de ECL was bereikt zodra er in de opname werd waargenomen dat de turnster los kwam van de kast, de benen krom waren, de turnster vooroverkantelde of de positie van de SIAS veranderde (figuur 15).

De maximale extensie bij een maximale torsie is vastgesteld door het verschil in de hoeken tussen de verbindingslijnen van TH1 – L5 en TM – ECL te bepalen. Eerst is de hoek in de starthouding opgemeten in Kinovea (figuur 16). Vervolgens is in de opname het frame geselecteerd waar TH1 de laagste positie had zonder dat de SIAS los is gekomen van de kast. Hier is opnieuw de hoek bepaald (figuur 17). Het verschil tussen beide geanalyseerde hoeken was de maximale extensie van de wervelkolom.

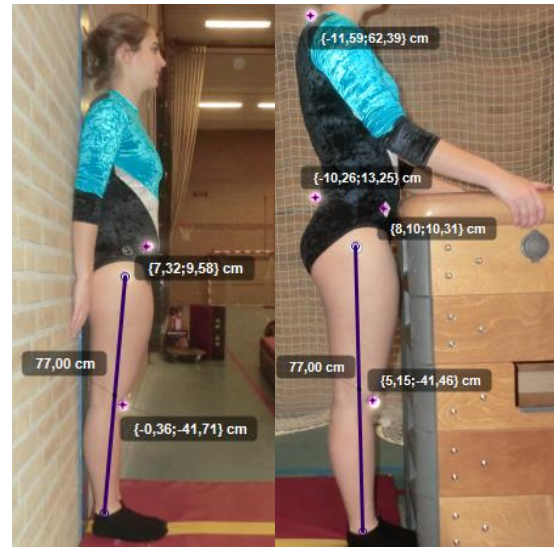


Figuur 16: De starthouding (1°) voor het bepalen van de maximale extensie van de wervelkolom.



Figuur 17: Het geselecteerde frame waarop de maximale extensie van de wervelkolom (43°) zichtbaar is in combinatie met maximale torsie (rechtsom).

Om de waarden te verkrijgen die als invoer voor het model benodigd zijn, zijn de starthoudingen voor de meting van de anteflexie en de retroflexie gebruikt. Hiervoor is in Kinovea de TM als oorsprong (0,0) ingegeven en is de opgemeten beenlengte als gefixeerde afmeting ingevoerd. Nu konden de coördinaten van de botpunten bepaald worden (SIAS, ECL, L5 en TH1). Voor een betere afspiegeling van de starthoudingen zijn de x- en y-coördinaten van de ECL en de SIAS gemiddeld uit beide houdingen (figuur 18). Tot slot zijn de coördinaten, de beenlengte en de ROM waarden ingeladen in het model. Dit heeft een voorspellende uitspraak opgeleverd over het wel of niet kunnen uitvoeren van een succesvolle spagaat en de bijbehorende tophoek.



Figuur 18: Bepaling van de coördinaten in Kinovea als invoer voor het model met de oorsprong in de TM en een gefixeerde afmeting voor de beenlengte.

2.2.6 Statistiek

De mate van overeenkomst tussen het model en de werkelijkheid is onderzocht door de geanalyseerde tophoeken uit de foto's te vergelijken met de tophoeken die voorspeld werden door het model. Voor de beschrijvende statistiek is de gemiddelde tophoek en de standaarddeviatie genoteerd in graden van zowel de spagaatuitvoeringen als de voorspelling van het model. De uitschieters (afwijking $\geq \pm 2SD$) zijn verwijderd en er is uitgegaan van een betrouwbaarheidsinterval van 95%. De juryoordelen vormden de gouden standaard en deze zijn vergeleken met de binomiale uitkomsten van het model. De validiteit is vastgesteld door de gevoeligheid en de specificiteit te bepalen.¹² Behalve een correlatieonderzoek (Pearsons r ; correlatie coëfficiënt) is tevens de Bland-Altman methode¹³ toegepaste welke werkt op basis van de grenzen van de overeenkomst. Een Kolmogorov-Smirnov toets is vooraf gebruikt om te controleren of de data normaal verdeeld is. De bevindingen zijn statistisch significant bevonden bij $p \leq 0.05$ en de beschrijvende statistiek is verkregen middels de software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, versie 22.0, IBM SPSS Inc., New York).

2.3 Samenhang bewegingscomponenten

In deze laatste paragraaf wordt beschreven hoe het model een bijdrage heeft geleverd aan de beantwoording van de hoofdvraag. Dit is mogelijk zodra het model valide wordt verklaard.

2.3.1 Benodigde flexibiliteit

Allereerst is er gekeken of er een waarde kon worden toegekend aan de totaal benodigde flexibiliteit voor een succesvolle spagaat.

2.3.1.1 Invoer

Voor het vaststellen van de totaal benodigde flexibiliteit, de optelsom van de drie bewegingscomponenten, zijn de coördinaten en beenlengten van de 38 turnsters (paragraaf 2.2.2) ingevoerd in het model. Uit paragraaf 2.1.3 kan worden opgemaakt dat in het model de retroflexie bepalend is voor de benodigde anteflexie en extensie, waarbij de extensie een gecombineerde waarde is van de extensie en de torsie van de wervelkolom. De maximale retroflexie (paragraaf 2.2.5) is daarom ook een invoerwaarde geweest.

2.3.1.2 Stappenplan

De stappen beschreven in paragraaf 2.1.3 zijn uitgevoerd om tot de waarden voor anteflexie en extensie van de wervelkolom te komen. De anteflexie is toegevoegd totdat de randvoorwaarde voor de beenspreiding is behaald (paragraaf 2.1.4) en de extensie totdat de x-positie van TH1 kleiner of gelijk was aan de x-positie van TH1 bij het begin in de rechtopstaande referentiehouding.

2.3.1.3 Uitkomsten

Het model heeft de waarde van de anteflexie en de extensie van de wervelkolom teruggekoppeld die minimaal nodig waren voor het uitvoeren van spagaat die een fictief positief juryoordeel zal opleveren.

2.3.1.4 Statistiek

Voor de beschrijvende statistiek zijn de gemiddelde waarden en de standaarddeviaties van de bewegingscomponenten genoteerd in graden. De afzonderlijke waarden zijn per turnster opgeteld voor de totaal benodigde flexibiliteit. Voor een totaalbeeld zijn tevens de minima en maxima weergegeven. Verwerking is uitgevoerd middels de software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, versie 22.0, IBM SPSS Inc., New York).

2.3.2 Ratio

Vervolgens is de retroflexie uitgezet tegen de bijbehorende anteflexie en de extensie van de wervelkolom om een uitspraak te kunnen doen met betrekking tot de verhouding van de bewegingscomponenten.

2.3.2.1 Invoer

Als invoer is er gewerkt met de coördinaten en afmetingen van de turnster van wie het model de grootste overeenkomst vertoonde met de geanalyseerde tophoek uit de foto van haar spagaatuitvoering.

2.3.2.2 Aannamen

Het gedrag van het model is gestructureerd geobserveerd: wat is het gevolg van het toevoegen van 1° retroflexie op de benodigde anteflexie en extensie van de wervelkolom tijdens een spagaatuitvoering? Hierbij zijn de aannamen uit paragraaf 2.1.3 opgevolgd en zijn tevens de randvoorwaarden uit paragraaf 2.1.4 opgelegd. De onderstaande formules moesten daarom altijd gelden in een spagaat:

$$\text{anteflexie} + \text{retroflexie} = \text{minimale tophoek} \quad (1)$$

$$\text{bovenbeenlengte} * \sin(\text{retroflexie}) = \text{totale beenlengte} * \sin(\text{anteflexie}) \quad (2)$$

$$TH1_{x,\text{beginpositie}} = \text{romplengte} * \cos(\text{extensie}) + SIAS_{x,\text{eindpositie}} \quad (3)$$

Op basis van deze regels en visuele inspectie is het model omgeschreven naar vergelijkingen waarin de retroflexie werd uitgezet tegen de anteflexie en extensie van de wervelkolom.

2.3.2.3 Uitkomsten

De omgeschreven vergelijkingen hebben twee grafieken opgeleverd waarin de ratio tussen retroflexie en anteflexie en de ratio tussen retroflexie en extensie van de wervelkolom kon worden afgelezen.

2.3.3 *Invloed extensie*

Tot slot is er onderzocht wat de invloed van extensie van de wervelkolom was op de tophoek die behaald kon worden tijdens een spagaatuitvoering.

2.3.3.1 *Invoer*

De invoer bedroeg de coördinaten en afmetingen van de 38 turnsters (paragraaf 2.2.2), de maximale retroflexie en de maximale anteflexie vastgesteld volgens paragraaf 2.2.4.

2.3.3.2 *Stappenplan*

In het model is er bepaald wat de maximale tophoek is op basis van de invoerwaarden: coördinaten, beenlengte en de bijbehorende ROM voor de retroflexie en anteflexie van de turnster (situatie 1). Vervolgens is er extensie toegevoegd totdat de x-positie van TH1 gelijk of kleiner was dan de begin x-positie van TH1 in de rechtopstaande referentie-houding (situatie 2).

2.3.3.3 *Uitkomsten*

Het model heeft de maximale tophoek opgeleverd die mogelijk was als er slecht een analyse plaatsvond op basis van de anteflexie en retroflexie (situatie 1) en de maximale tophoek als naast de anteflexie en retroflexie tevens de extensie van de wervelkolom werd meegenomen (situatie 2).

2.3.3.4 *Statistiek*

Voor de beschrijvende statistiek is de gemiddelde tophoek en de standaarddeviatie per situatie genoteerd in graden. Er is uitgegaan van een betrouwbaarheidsinterval van 95%. Een Kolmogorov-Smirnov toets is gebruikt om vast te stellen of het verschil tussen de tophoeken binnen de turnsters normaal verdeeld was. In de toetsende statistiek is de Wilcoxon signed-rank toets gebruikt om te bepalen of er een significant verschil bestond tussen de twee situaties. De bevindingen zijn statistisch significant bevonden bij $p \leq 0.05$. Alle analyses zijn uitgevoerd met de software SPSS (Statistical Package for the Social Sciences, versie 22.0, IBM SPSS Inc., New York).

3. Resultaten

3.1 Werking model

De spagaten van 17 turnsters zijn op één na positief beoordeeld door de juryleden (tabel 8). De volledige scoreformulieren zijn te vinden in bijlage E. Uit de analyse van de spagaten is gebleken dat er altijd een kleinere tophoek van 180° gemaakt wordt met een minimale tophoek van 140° voor een spagaat.

De in hoofdstuk 2 opgestelde rekenregels, aannamen en de randvoorwaarde van een tophoek van 140° voor een spagaat hebben tot het onderstaande model geleid. Op basis van coördinaten en de beenlengte van de turnster is de referentiehouding ontstaan (figuur 19A, 19.1). Door het ingeven van de retroflexie (19.2), anteflexie (19.3, 19.4) en extensie (19.5) van de romp is er een theoretische uitvoering van de spagaat verschenen (figuur 19B). Een controle van de tophoek en positie van TH1 in de eindstand heeft geleid tot een fictief juryoordeel met de bijbehorende maximale tophoek (figuur 19C). Tot slot is er bij een beperkte extensie een optie verschenen om de heup terug te laten kantelen (figuur 19D). De code van het model en de grafisch vormgeving is te vinden in bijlage F.

Tabel 8: De spagaten die zijn beoordeeld door de juryleden en de bijhorende geanalyseerde tophoeken. De beoordeling geeft het aantal positieve oordelen weer. De afwijzing toont waarop de spagaat is afgekeurd. Spagaat 21SL is niet meegenomen in het gemiddelde wegens afkeuring.

	Beoordeling	Afwijzing	Tophoek
01SR	2	romp	154°
02SR	2	romp	149°
03SR	2	benen, romp	158°
04SL	2	romp	146°
05SR	3	–	140°
06SL	2	romp	157°
11SL	2	romp	143°
12SR	3	–	154°
13SR	2	romp	147°
14SL	2	benen, romp	158°
15SR	2	romp	157°
17SR	2	romp	148°
18SR	2	romp	151°
19SL	2	romp	152°
21SL	1	romp	150°
26SL	2	romp	142°
32SL	2	romp	152°
Gemiddelde tophoek:			150.5°
Minimale tophoek:			140.0°

Referentie (A)

Botpunten in de anatomisch stand (staand).
Coördinaten t.o.v. de oorsprong; trochanter major.

	x-coördinaat	y-coördinaat
SIAS (mm)	115.9	112.0
TH1 (mm)	-111.2	612.3
Epicondylus Lateralis (mm)	83.25	-454.8

Lengte been (mm): 938.3

Flexibiliteit (B)

De flexibiliteit van de persoon vanuit anatomische stand.
Invullen op volgorde; retroflexie, anteflexie, extensie.

Retroflexie: 41

Anteflexie: 102

Extensie: 40

Correctie (D)

De heup terugkantelen door gebrek aan extensie.
De anteflexie corrigeren voor de terugkanteling.

Kanteling: 34.5

Controle Spagaat (C)

Hier wordt gecontroleerd of het met de bewegingscomponenten mogelijk is om een spagaat te maken.

Controleren Spagaat Tophoek 143

Figuur 19: De vormgeving van het model in Matlab. De referentiewaarden worden ingevuld (A) en geven het segmentenmodel. De flexibiliteit wordt ingegeven (B) waardoor het model beweegt; retroflexie (2), anteflexie tot gelijk y-positie (3), anteflexie met kanteling van de pelvis (4) en extensie van de wervelkolom (5). Controle leidt tot een voorspelling (C). Als de extensie te kort schiet, kan de pelvis terug worden gekanteld (D).

3.2 Validatie

Er bevond zich één uitschieter in de data, deze is verwijderd. In tabel 9 is de beschrijvende statistiek zichtbaar.

Tabel 9: Beschrijvende statistiek voor de tophoeken op basis van de foto's en op basis van het model (N=37).

	Gemiddelde	Standaarddeviatie
Foto	135,110	17,884
Model	132,581	17,704

In tabel 10 is de validatie van de binominale uitkomst van het model weergegeven. De gevoeligheid van het model bedraagt 0,875 en de specificiteit 1. De waarschijnlijkheid dat een volledige spagaat uitvoeren ook daadwerkelijk mogelijk is als het model aangeeft dat de turnster het kan bedraagt 100% en de waarschijnlijkheid voor het niet kunnen uitvoeren van een spagaat op basis van de uitkomst van het model bedraagt 91%.

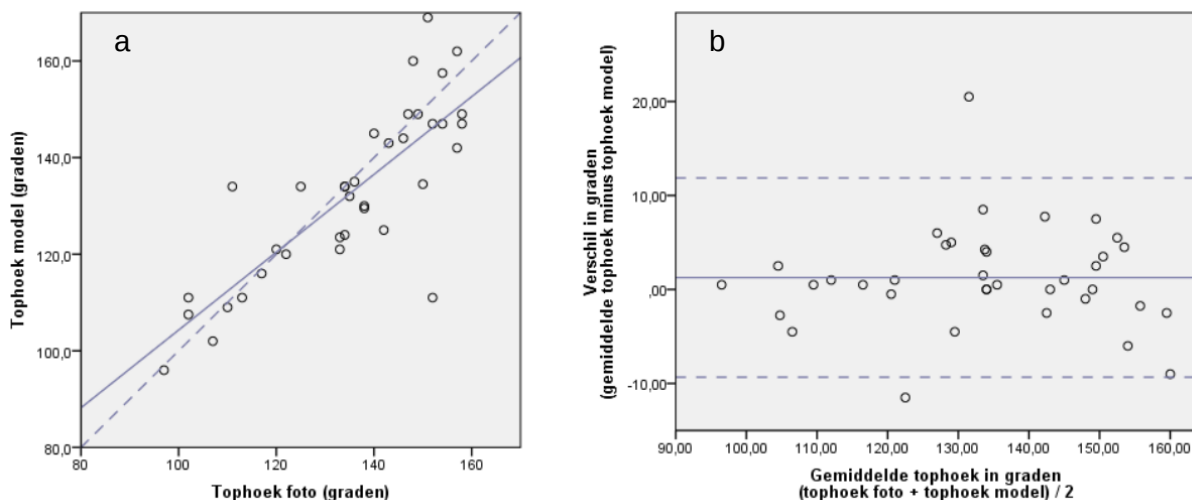
Tabel 10: Validatietabel voor het bepalen van de gevoeligheid en de specificiteit van het model met betrekking tot het voorspellen van het wel of niet kunnen van een succesvolle spagaat. TP; true positive, FP; false positive, FN; false negative, TN; true negative. PPV; positive predicted value, NPV; negative predicted value (N=37).

	Jury positief	Jury negatief	
Model positief	14 (TP)	0 (FP)	PPV: 100%
Model negatief	2 (FN)	21 (TN)	NPV: 91,3%
	Gevoeligheid 0,875	Specificiteit 1,0	

In grafiek 1a is een scatterplot te zien van de tophoeken verkregen uit de foto's van de uitvoeringen van de spagaten en de tophoeken die het model voorspelde op basis van de coördinaten, beenlengte en passieve ROM metingen (*correlatie coëfficiënt* $r = 0.814$; $p = 0.000$). In tabel 11 is het gedrag van het model weergegeven. Het is normaal verdeeld ($p = 0.200$). Het verschil is de afwijking van het model ten opzichte van de gemiddelde tophoek. Het gemiddelde verschil met de bijbehorende standaarddeviatie komt neer op een onderschatting van het model van $1,3^\circ \pm 5,4^\circ$. Dit is een onderschatting van $0,9\% \pm 4,1\%$ op alle tophoeken die het model voorspelt. Het verschil tussen de modelmatige voorspelde tophoek en de werkelijke tophoek zal met 95% zekerheid kleiner zijn dan $10,6^\circ$ (grafiek 1b).

Tabel 11: Beschrijvende statistiek voor het gedrag van het model. Het verschil is de afwijking van het model ten opzichte van de gemiddelde tophoek (N=37). Kolmogorov-Smirnov laat zien dat de data normaal verdeeld is (a = lilliefors significantie correctie, b = dit is een ondergrens van de ware significantie).

	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Kolmogorov-Smirnov ^a		
			Statistiek	df	Sig.
Vershil (°)	1,2635	5,43393	0,114	37	0,200 ^b
Vershil (%)	0,9284	4,06658	0,112	37	0,200 ^b



Grafiek 1: Een scatterplot (a) met de waarden van de foto's tegenover de waarden van het model. Een Bland-Altmanplot (b) met het gemiddelde van de tophoek tegenover het verschil met dit gemiddelde. De stippellijn in de scatterplot is de ideale overeenkomst, de andere lijn de gevonden overeenkomst (R^2 lineair = 0.662, $r = 0.814$). De horizontale lijnen in de Bland-Altmanplot zijn het gemiddelde ($1,3^\circ$) en de 95% limiet van de overeenkomst ($\pm 10,6^\circ$).

3.3 Samenhang bewegingscomponenten

Er is gebleken (paragraaf 3.2) dat het model valide is. In de discussie (hoofdstuk 4), wordt dit toegelicht. Deze bevinding heeft het mogelijk gemaakt om een vervolgonderzoek uit te voeren met het model. De resultaten hiervan zijn opgesplitst in drie paragrafen die elk hun eigen onderwerp behandelen. Achtereenvolgens zijn de resultaten met betrekking tot de algemene flexibiliteit, de ratio voor de flexibiliteit en de invloed van de extensie op de maximaal haalbare tophoek uiteengezet.

3.3.1 Flexibiliteit

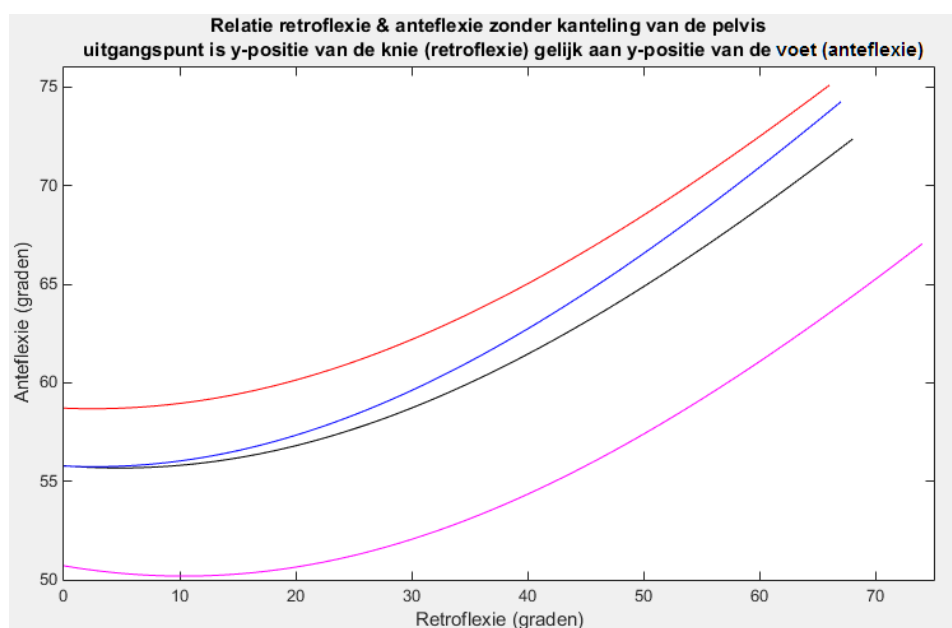
In tabel 12 is de beschrijvende statistiek voor de minimaal benodigde flexibiliteit te zien, de optelsom van de drie bewegingscomponenten. Voor het kunnen uitvoeren van een succesvolle spagaat wordt er een totale flexibiliteit van $173,2^\circ \pm 12,5^\circ$ gevraagd. Aan de gemiddelden en identieke standaarddeviaties van de anteflexie en de retroflexie is te zien dan deze in de eindstand van een spagaat samen altijd een tophoek van $140,0^\circ$ opleveren. Dit maakt dat er bij een tophoek van $140,0^\circ$ een extensie van de wervelkolom hoort van $33,2^\circ \pm 12,5^\circ$ om op de totale flexibiliteit uit te komen.

Tabel 12: Beschrijvende statistiek voor de minimaal benodigde flexibiliteit voor het uitvoeren van een succesvolle spagaat (N=38). De flexibiliteit is de optelsom van de bewegingscomponenten.

	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Minimum	Maximum
Retroflexie	37,29°	9,861°	18,0°	59,0°
Anteflexie	102,71°	9,861°	81,0°	122,0°
Extensie	33,22°	12,497°	5,0°	60,5°
Flexibiliteit	173,22°	12,497°	145,0°	200,5°

3.3.2 Ratio

Er is tijdens de validatie gebleken dat er vier turnsters zijn waarvoor het model de tophoek exact voorspelde. Alleen die vier turnsters zijn daarom voor het verkrijgen van de onderstaande resultaten meegenomen. In grafiek 2 is de relatie tussen retroflexie en anteflexie te zien als er puur wordt gekeken naar overeenkomstige y-positie van de knie van het been in retroflexie en de y-positie van de voet van het been in anteflexie. In deze grafiek treedt er geen kanteling op van de pelvis. Een tophoek van 140° wordt dan gerealiseerd door een combinatie van gemiddeld 68° retroflexie en 72° anteflexie (laatste waarden van de grafieklijnen). In het traject naar een tophoek van 140° toe zonder kanteling van de pelvis vraagt een toename van 1° retroflexie gemiddeld een toename van $0,31^\circ \pm 0,17^\circ$ anteflexie.



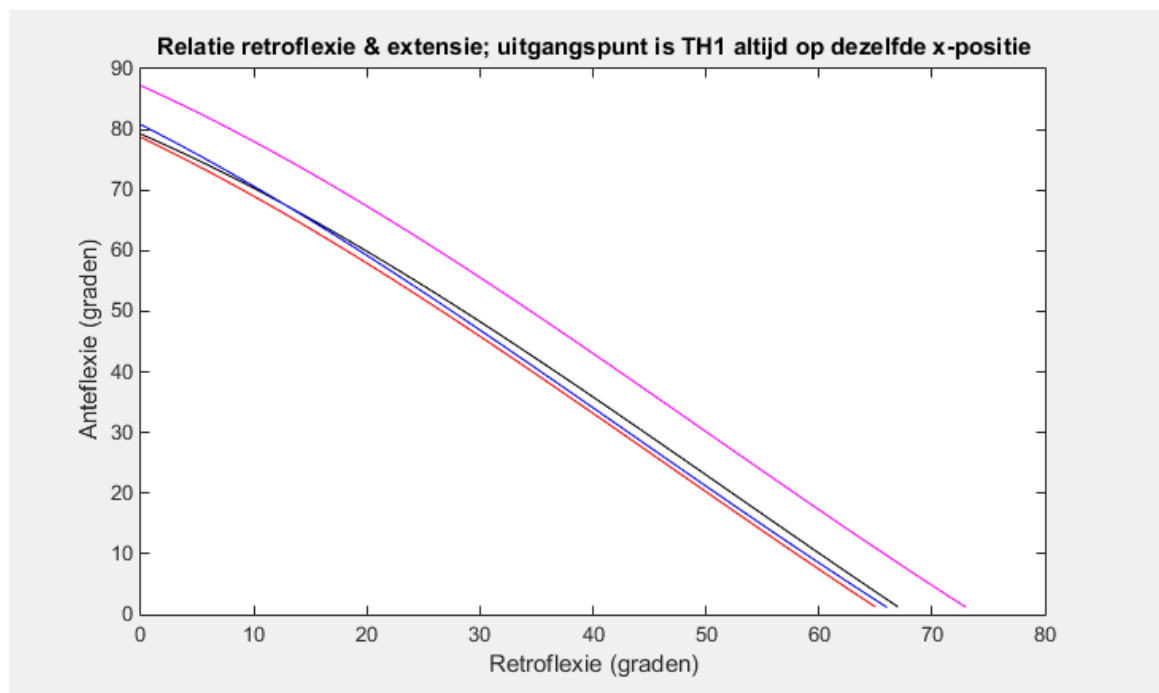
Grafiek 2: De relatie tussen de bewegingscomponenten retroflexie en anteflexie tot een tophoek van 140° zonder kanteling van de pelvis bij de vier turnsters waarbij het model de hoogste correlatie had met de werkelijkheid. Het uitgangspunt was de knie (retroflexie) en de voet (anteflexie) op gelijke hoogte. Duidelijk is de invloed van statische antropometrie.

Als er een vooroverkanteling van de pelvis nodig is om een tophoek van 140° te bereiken zal de anteflexie niet alleen toenemen door de vooroverkanteling, maar ook door de ruimte die vrijkomt doordat de knie door deze kanteling een andere y-positie krijgt. Deze laatste relatie is reeds beschreven in grafiek 2. De toename van anteflexie door slechts het vooroverkantelen is identiek aan deze vooroverkanteling. Volgens deze redenering zorgt een vooroverkanteling van de pelvis van 1° in het traject naar de eindstand van de spagaat voor een gemiddelde toename van de anteflexie van $1,31^\circ \pm 1,17^\circ$ (tabel 13).

Tabel 13: Een overzicht van de waarden die betrekking hebben op de verhoudingen van de bewegingen die worden gemaakt tijdens het uitvoeren van een spagaat (gemiddelde $\pm$ standaarddeviatie).

	Tophoek $\geq 140^\circ$		Toename anteflexie bij $+1^\circ$ retroflexie zonder kanteling van de pelvis	Toename extensie van de wervelkolom bij $+1^\circ$ kanteling van de pelvis
	Retroflexie	Anteflexie		
02SR	66°	75°	$0,3094^\circ \pm 0,1543^\circ$	$1,1919^\circ \pm 0,1155^\circ$
09SL	68°	72°	$0,3112^\circ \pm 0,1652^\circ$	$1,1641^\circ \pm 0,1448^\circ$
10SR	67°	74°	$0,3407^\circ \pm 0,1682^\circ$	$1,2061^\circ \pm 0,0969^\circ$
11SL	74°	67°	$0,2964^\circ \pm 0,1828^\circ$	$1,1787^\circ \pm 0,1283^\circ$
Gemiddeld	68°	72°	$0,3104^\circ \pm 0,1687^\circ$	$1,1849^\circ \pm 0,1232^\circ$

In grafiek 3 is de relatie tussen de retroflexie en de extensie van de wervelkolom weergegeven die voortkomt uit de vooroverkanteling van de pelvis. Een kantelingen van 1° van de pelvis vraagt een gemiddelde extensie in de wervelkolom van $1,18^\circ \pm 0,12^\circ$. Een samenvatting van alle waarden is zichtbaar in tabel 13. In bijlage G zit de berekening geprogrammeerd in Matlab.



Grafiek 3: De relatie tussen retroflexie en extensie van de wervelkolom om te compenseren voor de vooroverkanteling van de pelvis. De resultaten zijn op basis van de statische anatomie van de vier turnsters waarbij het model de hoogste correlatie had met de werkelijkheid verkregen. Het uitgangspunt was dat TH1 altijd dezelfde x-positie had.

3.3.3 Invloed extensie

In tabel 14 is de beschrijvende statistiek voor de tophoek in de eindstand van de spagaat exclusief en inclusief extensie van de wervelkolom weergegeven. Het verschil in de tophoek zonder extensie en met extensie van de wervelkolom is niet normaal verdeeld ($p = 0.000$).

Tabel 14: Beschrijvende statistiek voor de verkregen tophoeken inclusief en exclusief extensie van de wervelkolom. Het verschil heeft betrekking tot de tophoeken in beide situaties per turnster (N=38). Kolmogorov-Smirnov laat zien dat dit verschil niet normaal verdeeld is (a = lilliefors significantie correctie, b = dit is een ondergrens van de ware significantie).

	Gemiddelde	Standaarddeviatie	Kolmogorov-Smirnov ^a		
			Statistiek	df	Sig.
Tophoek inclusief extensie	131,01°	19,960°	0,086	38	0,200 ^b
Tophoek exclusief extensie	133,37°	20,996°	0,123	38	0,155
Vershil in tophoek (intern)	-2,36°	5,874°	0,419	38	0,000

De non-parametrische Wilcoxon signed-rank toets heeft aangetoond dat voor turnsters de tophoek in de eindstand van een spagaat exclusief extensie van de wervelkolom (*gemiddelde* = 133,4°, *mediaan* = 134,0°) significant groter is dan de tophoek in een spagaat inclusief extensie van de wervelkolom (*gemiddelde* = 131,0°, *mediaan* = 134,0°), $T = 0$; $z = -2.67$; $p = 0.008$; $r = -0.31$.

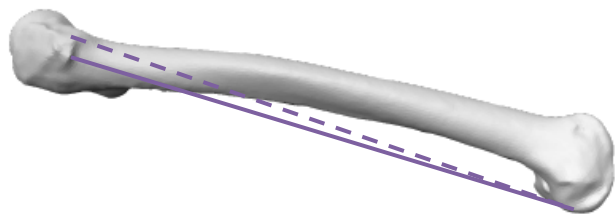
4. Discussie

De opzet van het hele onderzoek is een tweedimensionale modelstudie geweest van een beweging die feitelijk in 3D naar tevens een eindstand in 3D leidt. Er is getracht om met behulp van hefhoeken deze 3D naar 2D te transleren. Daarnaast dienen er enkele kanttekeningen geplaatst te worden met betrekking tot de validatie, in relatie tot de literatuur en voor vervolgonderzoek.

4.1 Validatie

Het model voorspelde altijd dat een spagaat niet mogelijk was, als dit in de werkelijkheid door de juryleden ook zo werd beoordeeld. Er werden echter ook twee vals negatieve uitkomsten gevonden. Dit werd ook terug gezien in de relatie tussen model en werkelijkheid: een onderschatting van $1,3^\circ$. Het model verklaarde voor 66,2% de tophoek met een correlatie van 0.814. Bij een correlatie groter dan 0.5 spreekt men algemeen van een groot effect.¹⁴ De gevonden minimale afwijking kan door meerdere factoren verklaard worden.

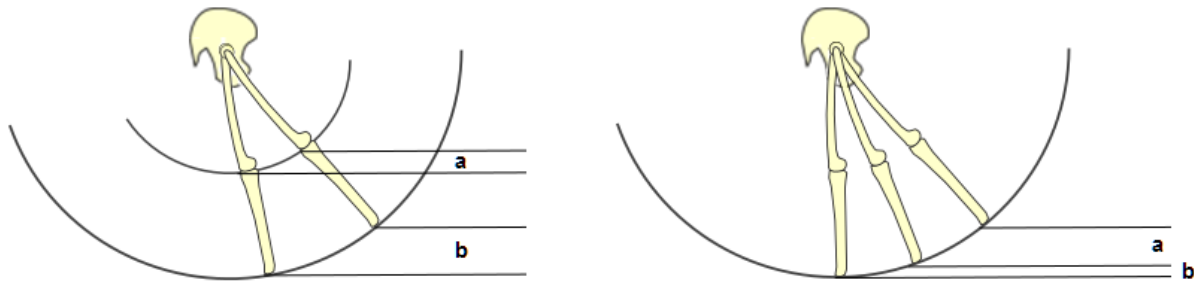
Als eerste is er gebleken dat de TM een verschuiving ondervond als de turnster een spagaat uitvoerde. De TM zat bij de controle in de spagaat, voordat de reflecterende markers werden geplaatst, nooit op de plaats van de oorspronkelijke markering. De TM lag bij het voorste been meer naar craniaal en dieper verzonken. Bij het achterste been trad er in mindere mate verschuiving op, maar lag de TM ook dieper verzonken. Deze verschuiving wordt veroorzaakt doordat de oriëntatie van het femur veranderde. Dit gold daarmee ook voor de TM. Ondanks dat er is gecorrigeerd door pas reflecterende markers te plaatsen na een controle in de spagaatuitvoering, kan daarom nog altijd niet met zekerheid gesteld worden dat het meest lateraal prominierend botpunt in deze houding gelijk is aan het botpunt dat gepalpeerd is vanuit stand. Bij de ECL werd nauwelijks een verschuiving waargenomen. In figuur 20 is te zien dat de gepalpeerde punten van invloed zijn ($+2^\circ$) op de lijn door het femur en daarmee indirect op de tophoek die gemaakt wordt. De exorotatie en abductie maken het mogelijk dat het eerdere meest lateraal prominierend punt verandert. Dit is tevens mogelijk bij beide benen, wat maakt dat de randvoorwaarde van 140° wellicht 4° te groot is. In de huidige dataset heeft dit echter geen invloed op de specificiteit en gevoeligheid.



Figuur 20: Een femur (rechts) met de verbindingslijn tussen de markeringen aangebracht in stand (TM – ECL) en de stippellijn met een maximale afwijking ($+2^\circ$) welke kan zijn gepalpeerd tijdens een spagaat. Een bewerking van TLEM 2.0 [15].

De referentieposities waar vanuit anteflexie en retroflexie in het model werden uitgevoerd bevatten een afwijking van 2° . Zodra de hoek in de foto's vanaf deze referentielijn tot de horizontaal in termen van anteflexie werd opgeteld bij de hoek in termen van retroflexie ontstond er een gemiddelde van 182° in plaats van 180° . Deze afwijking kan zijn ontstaan door onnauwkeurigheden van de camerapositie ten opzichte van de TM in de metingen. Zodra de referentielijn negatief zou verdraaien treedt er later kanteling van de pelvis op en zullen turnsters waarbij de spagaat beperkt wordt door de lenigheid van de wervelkolom een grotere tophoek kunnen behalen. In de gebruikte dataset werd er in negen gevallen een terugkanteling van de pelvis uitgevoerd wegens gebrek aan lenigheid van de wervelkolom. Een negatieve verdraaiing van de referentielijn zou bij vier turnsters een grotere afwijking geven en bij vijf turnsters zou dit een kleinere afwijking opleveren. Wat de uiteindelijke invloed op de correlatie is kan daarom niet worden gekwantificeerd.

In de methode is gesteld dat de anteflexie kan worden uitgevoerd totdat het uiteinde van het been minder dan het verschil in y-positie van $0,75^\circ$ hoekverdraaiing afweek van de y-positie van het bovenbeen dat retroflexie heeft uitgevoerd. Deze verplaatsing is in het model gerealiseerd door te berekenen wat het verschil bedroeg tussen de y-positie van het been bij 50° en bij $50,75^\circ$. De feitelijke verplaatsing in y-positie hangt echter van meer zaken af dan slechts de hoekverdraaiing. Het gaat om een cirkelbeweging waarbij ook de lengte en oriëntatie van een segment een rol spelen. In figuur 21 wordt dit gevisualiseerd. Als de lengte toeneemt, zal bij overeenkomstige hoekverdraaiing de verplaatsing in y-positie ook toenemen. Tevens zal deze verplaatsing toenemen naarmate de oriëntatie zich dichterbij de horizontaal beweegt. Uit het figuur blijkt ook dat de oriëntatie van grotere invloed is dan de lengte. Bij een kleinere randvoorwaarde in het model; een hoek rond de 90° in plaats van 50° of het bovenbeen als uitgangspunt in plaats van het hele been, kan er relatief meer anteflexie worden uitgevoerd voordat de randvoorwaarde is bereikt. De pelvis zal dan later starten met kantelen. De werkelijke waarde van de tophoek kan dan inderdaad hoger zijn dan de waarde die het model in dit onderzoek voorspelde.



Figuur 21: De invloed van de lengte van een segment en de oriëntatie op de verplaatsing in y-positie tijdens een hoekverdraaiing. Links de invloed van de lengte. Er geldt dat het bovenbeen, een kort segment, resulteert in een kleinere (a) verplaatsing in de y-positie dan het hele been, een lang segment (b). Rechts de invloed van de oriëntatie van een segment. De hoekverdraaiing tussen de segmenten bedraagt in beide situaties 20° , maar resulteert van de verticale stand naar de middelste stand in een kleinere verplaatsing in de y-positie (b) dan van de middelste stand naar de schuinste stand (a). Er geldt hoe dichterbij de oriëntatie bij de horizontaal ligt, hoe groter de verplaatsing in de y-richting is bij gelijke hoekverdraaiing.

Het model kan dan volgens de richtlijnen valide zijn ($r = 0.814$; $R^2 = 0.662$), maar de correlatie coëfficiënt moet hierbij wel in de correcte context worden geïnterpreteerd. In deze modelstudie gaat het om het nabootsen van de werkelijkheid waarbij een correlatie van 1 gewenst is. Een correlatie van 0.5 is daarmee niet bevredigend en ook 0.814 is niet perfect. Tevens zegt een correlatie niets over de grenzen van de mate van overeenkomst. Het betrouwbaarheidsinterval van 95% bij de Bland-Altman methode¹³ laat een groot bereik zijn voor deze waarde, namelijk 21° . Een tophoek van 150° is anders dan een tophoek van 129° , zeker als het gaat om een esthetische sport zoals turnen.

4.2 Literatuur

De hefhoecken die tijdens het onderzoek van de turnsters zijn gemeten, zijn groter dan de waarden die beschreven staan in de literatuur voor de zuivere bewegingen. De gemiddelde hefhoeck voor het been dat retroflexie uitvoerde bedroeg $37,3^\circ$ terwijl de referentiewaarde voor zuivere retroflexie gelijk staat aan 30° volgens Turley.⁵ De gemiddelde hefhoeck voor het been dat anteflexie uitvoerde bedroeg $96,1^\circ$ wat tevens groter is dan de referentiewaarde van 50° voor zuivere anteflexie volgens Lagerberg.⁸ In alle onderzoeken was de houding van waaruit gemeten werd identiek. De waarden van de hefhoecken liggen daarmee in de lijn van de verwachting. Een gecombineerde beweging lijkt een grotere tophoek op te leveren wat nodig is voor het uitvoeren van een complete spagaat. De resultaten ondersteunen hiermee de hypothese dat er op basis van hefhoecken kan worden onderzocht wat de maximale tophoek van een turnster is in 2D.

De metingen met betrekking tot de flexibiliteit van de wervelkolom bevatten meerdere uitschieters. Bij 18% van de turnsters is een gecombineerde extensie met torsie gevonden die hoger ligt dan de referentiewaarde van 50° voor zuivere extensie van de wervelkolom.¹¹ Dit lijkt onrealistisch omdat de uitslag voor extensie van de wervelkolom zonder torsie altijd een hogere uitslag gaf als deze afweek van de waarde van extensie gecombineerd met een maximale torsie. Dit is geconstateerd door de extensiemeting uit paragraaf 2.2.5 te herhalen zonder voorafgaand aan de extensie een maximaal torsie uit te voeren. Uit een onderzoek van Willems¹⁶ is gebleken dat er bij torsie ook extensie optreedt. In het thoracale deel van de wervelkolom is er bij een torsie van 46° al een extensie aanwezig van $10,5^\circ$. Dit betekent dat er volgens de referentiewaarde van 50° nog maar ruimte is voor $39,5^\circ$ extensie. In dat geval zou 39% van de turnsters een extensie hebben behaald die hoger ligt dan de referentie. De huidige resultaten met betrekking tot de flexibiliteit van de wervelkolom van de turnsters zouden daarom kunnen wijzen op meetfouten. Het is niet altijd even nauwkeurig te bepalen wanneer de pelvis start met kantelen en of de marker op TH1 zich recht boven L5 bevindt. Een kleinere flexibiliteit van de wervelkolom kan een negatieve invloed hebben op de tophoeken die het model voorspelde. Dit zou de onderschatting wellicht kunnen vergroten en voor grotere verschillen kunnen zorgen bij de vergelijking tussen de tophoek in een spagaat zonder en met correcte houding van de romp.

Uit het onderzoek is een significant verschil gebleken tussen spagaten met en zonder een correcte houding van de romp. Dit verschil van $2,4^\circ$ in de gemiddelde tophoek lijkt klein, maar binnen het turnen maakt dit een wereld van verschil. In figuur 22 is te zien wat het effect van een verschil van 5° op de esthetische uitvoering heeft. Een afname van 5° beenspreiding kan een turnster tijdens het wereldkampioenschap doen zakken van de eerste plaats naar de twintigste plaats.¹⁷



Figuur 22: Het effect van 5° verschil in tophoek op de esthetisch uitvoering. Links 165° en rechts 170° beenspreiding [17].

4.3 Aanbevelingen

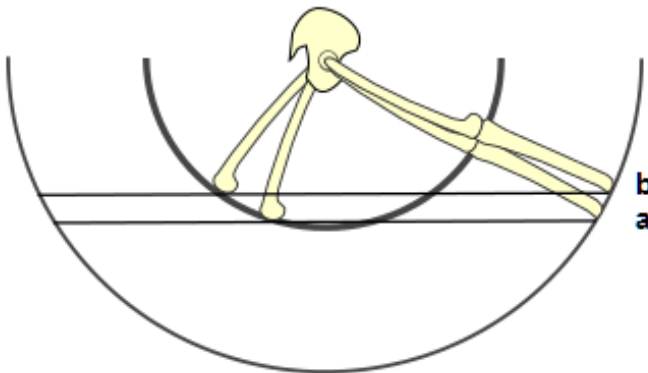
Er zijn tijdens dit onderzoek twee belangrijke zaken aan het licht gekomen die zich goed lenen voor een vervolgonderzoek. Het gaat hierbij om het fenomeen hefhoek en de daadwerkelijke ratio tussen retroflexie, anteflexie en extensie van de wervelkolom.

Eerder is gesteld dat de hefhoeken goede invoerwaarden zijn voor het bepalen van de maximaal haalbare tophoek in een spagaat. Er is echter nog geen onderzoek gedaan of de bewegingsuitslagen ook significant verschillen van de zuivere retroflexie en anteflexie. Voor de hefhoek is er tijdens de meting een abductie en exorotatie toegevoegd op gevoel. Dit is niet met zekerheid een overeenkomstige waarde geweest voor het been dat anteflexie uitvoerde en het been dat retroflexie uitvoerde en ook niet aan de waarden tijdens een spagaat. Een onderzoek naar de ROM van gecombineerde bewegingscomponenten zou voor meer inzicht kunnen zorgen. Hiervoor zou er gekeken kunnen worden naar de hefhoek bij verschillende waarde van een combinatie van anteflexie, abductie en exorotatie en een combinatie van retroflexie, abductie en exorotatie.

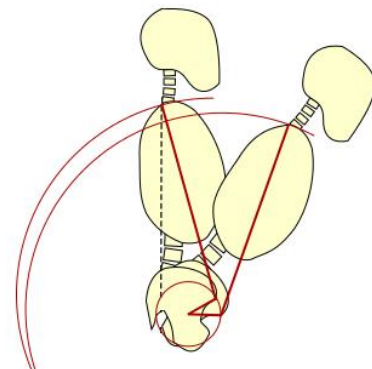
Tot slot blijft de ratio over als onbesproken resultaat. Er is gevonden dat er bij een toename van 1° retroflexie een toename van $0,31^\circ$ anteflexie hoort om de knie van het achterste been en de voet van het gestrekte voorste been in één lijn op de grond te krijgen tijdens een spagaatuitvoering. Zodra de heup gaat kantelen over 1° is er dus een toename van $1,31^\circ$ anteflexie nodig en een extensie van de wervelkolom van $1,18^\circ$ om de romp in de correcte

positie te houden. Deze waarden zijn echter gemiddelden. In de grafieken 2 en 3 is namelijk te zien dat deze relaties niet lineair zijn. Dit kan wiskundig worden verklaard door de vergelijking van een cirkelbeweging met een kort segment (bovenbeen, retroflexie) met een cirkelbeweging van een lang segment (hele been, anteflexie). In figuur 23 is duidelijk gemaakt dat er voor een toename van retroflexie een kleinere toename van anteflexie is vereist. Hierbij speelt ook de oriëntatie van de referentielijn voor retroflexie en anteflexie een rol. Dit bepaalt namelijk waar op de cirkel het uiteinde van het segment zich bevindt en dus wat de horizontale en verticale verplaatsing is (zie ook figuur 21).

Voor de benodigde extensie in relatie tot de kanteling van de pelvis wordt er ook een cirkelbeweging met een kort segment (pelvis) vergeleken met een lang segment (wervelkolom). Hier is echter sprake van een ander draaipunt voor de wervelkolom wat een relatieve beweging oplevert. Zodra de pelvis gaat kantelen verandert niet alleen de positie van het uiteinde van de pelvis, maar ook de positie van het uiteinde van de wervelkolom. De kanteling heeft invloed op de oriëntatie van de wervelkolom en dus op de verplaatsing in de x-positie als er vervolgens extensie van de wervelkolom wordt uitgevoerd om te compenseren voor de kanteling (figuur 24). Tevens is het aangrijpingspunt van de wervelkolom in het model gekozen op de SIAS. In de werkelijkheid zit de wervelkolom niet vast aan de SIAS, maar ligt deze meer naar posterior. In het model is dit een verplaatsing over de pelvis naar de TM toe. Dit zorgt dat er ten opzichte van een wervelkolom die vastzit aan de SIAS weer minder extensie van de wervelkolom nodig zal zijn.



Figuur 23: De verhouding tussen retroflexie en anteflexie als er moet gelden dat de knie (bovenbeen, kort segment) op overeenkomstige hoogte moet zitten als de voet (hele been, lang segment). Om van de hoogte a naar de hoogte b te komen is er 20° extra retroflexie nodig (kort segment) en slechts 5° extra anteflexie (lang segment).



Figuur 24: De verhouding tussen kanteling van de pelvis en de benodigde extensie van de wervelkolom. Als de pelvis kantelt, heeft dit invloed op de beginstand van de wervelkolom. De lijn stelt het model voor, de stippellijn is de referentie.

Er bestaat dus een ingewikkelde relatie tussen de bewegingscomponenten tijdens een spagaatuitvoering. Bij een toename van 1° retroflexie is een kleinere toename anteflexie vereist. Het kantelen van de pelvis over 1° vraagt een grotere toename anteflexie en extensie van de wervelkolom. Naast deze flexibiliteit speelt dus ook de statische antropometrie mee. De positie van de TM bepaalt het draaipunt in het model, anteflexie en retroflexie worden uitgevoerd vanuit een referentiestand en de lengte van het bovenbeen voor de retroflexie en de beenlengte van het been voor anteflexie bepalen de tophoek vanaf waar de pelvis zal gaan kantelen. Tot slot bepaalt de kanteling, de referentie hoek van de romp en de verhouding van de lengte van de pelvis en de romp de benodigde extensie. In een vervolgonderzoek zou er kunnen worden onderzocht of de huidige benadering toereikend genoeg is of dat deze nauwkeuriger kan worden vastgesteld. Het toevoegen van de invloed van abductie en exorotatie op de hefhoek van retroflexie en anteflexie aan de benadering is wellicht ook een meerwaarde.

5. Conclusie

Er kan geconcludeerd worden dat de tophoek tussen de femora in een spagaat kleiner is dan 180° . De minimale tophoek die vereist is voor een door de jury goedgekeurde spagaat, komt neer op circa 140° . In de eindstand van de spagaat geldt dat de retroflexie en de anteflexie die voor deze hoek uitgevoerd worden één op één uitwisselbaar zijn. Er kan echter geen algemene uitspraak worden gedaan over de benodigde extensie van de wervelkolom, dus er bestaat naast de randvoorwaarde voor de beenspreiding geen richtlijn voor de totale flexibiliteit die nodig is voor het kunnen uitvoeren van een succesvolle spagaat.

Het model dat in het onderzoek is gebruikt bevat een hoge binominale validiteit met een gevoeligheid van 0.875 en een specificiteit van 1. De voorspeling van de exacte tophoek is echter twijfelachtig. De correlatie coëfficiënt mag dan een hoog effect hebben ($r = 0.814$, $p = 0.000$), de grenzen van de mate van overeenkomst beslaan 21° wat in een esthetische sport als turnen onaanvaardbaar is, omdat een afwijking van 5° al beslissend is voor de eerste of laatste plaats.

Ondanks bovengenoemde lijkt er wel degelijk een relatie te bestaan tussen de bewegingscomponenten retroflexie, anteflexie en extensie van de wervelkolom tijdens een spagaatuitvoering. Als de retroflexie hier met 1° toeneemt, is er gemiddeld slechts een toename van $0,31^\circ \pm 0,17^\circ$ anteflexie nodig in het traject voordat de pelvis gaat kantelen. Tegenover een kanteling van 1° staat er gemiddeld dus een toename van $1,31^\circ \pm 1,17^\circ$ anteflexie. Hierbij hoort een gemiddelde extensie van de wervelkolom van $1,18^\circ \pm 0,12^\circ$ om de romp weer rechtop te positioneren. De tophoek in een spagaat exclusief extensie van de wervelkolom ($gem = 133,4^\circ$, $mediaan = 134,0^\circ$) is dan ook significant groter dan de tophoek in een spagaat inclusief extensie van de wervelkolom ($gem = 131,0^\circ$, $mediaan = 134,0^\circ$), $T = 0$; $z = -2,67$; $p = 0,008$; $r = -0,31$.

Kortom, dit onderzoek maakt duidelijk dat de spagaat van meer afhankelijk is dan slecht de flexibiliteit van een turnster. De statische antropometrie, waar niet op te trainen valt, speelt ook een belangrijke rol. Als er dan toch wordt getraind voor een spagaat dan zal dit voor een optimaal resultaat altijd uitgevoerd dienen te worden met een correcte houding van de romp. Daarbij zal de grootste winst behaald worden als de training zich concentreert op de retroflexie. Deze component slaat twee vliegen in één klap: er is relatief minder anteflexie nodig omdat de pelvis later zal gaan kantelen en deze latere kanteling zal zorgen dat er minder extensie nodig is van de wervelkolom om de romp rechtop te kunnen positioneren.

LITERATUURLIJST

- [1] Chencinski L. *Woman Artistics Gymnastics; 2013-2016 Code of Points*. Fédération Internationale de Gymnastique, juni 2015.
- [2] Handa JK. *Relationship of morphological, physiological and motor abilities with performance of Female gymnasts*. Ph. D. Thesis; Punjabi University Patiala, 2012.
- [3] Envato Pty Ltd. *Human anatomy fundamentals: flexibility and joints limitations* [figuur]. Datum update: 6 maart 2014. Verkrijgbaar van: <http://design.tutsplus.com/articles/human-anatomy-fundamentals-flexibility-and-joint-limitations--vector-25401>
- [4] Dantas EHM, Daoud R, Trott A, Nodari RJ Jr, Conceição MCSC. *Flexibility: components, proprioceptive mechanisms and methods*. Biomedical Human Kinetics. 2011;3:39-43.
- [5] Turley GA, Williams MA, Wellings RM, Griffin DR. *Evaluation of range of motion restriction within the hip joint*. Medical Biological Engineering Computation. 2013;51:467-477.
- [6] Gerritsen JB, Heerkens YF. *Anatomie in vivo van het bewegingsapparaat*. Amsterdam: Reed Business; 2011, bijlage B3 [tabel].
- [7] Riezebos C, Faber H. *Adaptatie van spierlengten bij jong en oud*. VERSUS, tijdschrift voor fysiotherapie. 1995;3;146-181.
- [8] Lagerberg A. *Short hamstrings?* VERSUS, tijdschrift voor fysiotherapie. 2000;5;231-257.
- [9] Cozijnsen J. *Range of Motion van de Spagaat*. Afstudeerscriptie; De Haagse Hogeschool, Bewegingstechnologie, 2015.
- [10] Assassi L, Magnenat-Thalmann N. *Assessment of cartilage contact pressure and loading in the hip during split posture*. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2015;1-12. Geraadpleegd; 13 december 2015. DOI:10.1007/s11548-015-1303-1.
- [11] Paulsen F, Waschke J. *Sobotta: algemene anatomie en bewegingsapparaat*. Houten: Bohn Stafleu van Loghum; 2011, blz. 89 en 276.
- [12] Parikh R, Mathai A, Parikh S, Sekhar GC, Thomas R. *Understanding and using sensitivity, specificity and predictive values*. Research Methodology. 2008;56(1);45-50.
- [13] Bland JM, Altman DG. *Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement*. The Lancet. 1986;2;307-310.
- [14] Field A. *Discovering Statistics Using IBM SPSS Statistics*. Sage; 2013, hoofdstuk 7, blz. 270.
- [15] Carbone V, Fluit R, Pellikaan P, Krogt van der MM, Janssen D, Damsgaard M, Vigneron L, Feilkas T, Koopman HFJM, Verdonschot N. *TLEM 2.0 – A comprehensive musculoskeletal geometry dataset for subject-specific modelling of lower extremity*. Journal of Biomechanics. 2015;48(5),734-74 [figuur].
- [16] Willems JM, Jull GA, Ng JKF. *An in vivo study of the primary and coupled rotations of the thoracic spine*. Clinical Biomechanics. 1996;11(6):311-316.
- [17] Sands WA, McNeal JR. *Enhancing Flexibility in Gymnastics*. USA Gymnastics Technique. 2000;20(5):6-10 [figuur].

BIJLAGEN

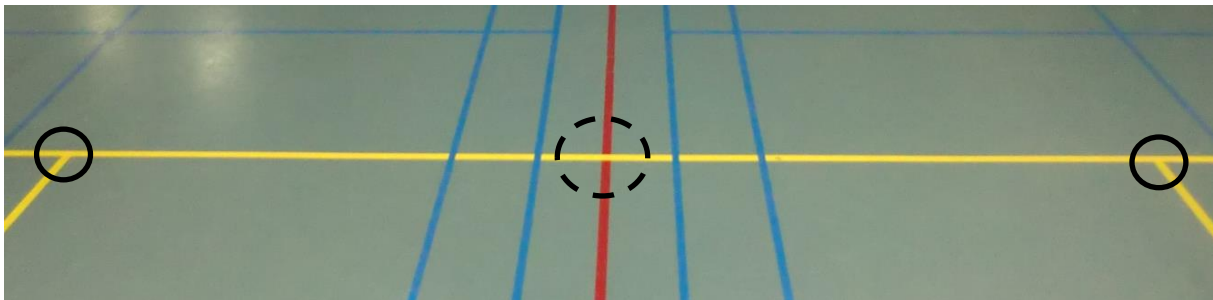
A. Protocol spagaat

Benodigdheden

- Een gymzaal voorzien van belijning
- Twee matjes
- Huidpotlood
- Meetlint
- 4 reflecterende markers
- 4 plakkers voor het bevestigen van de markers
- Een camera met flits
- Een computer met Kinovea

Meetopstelling

Er wordt in de gymzaal een stuk belijning geselecteerd waar er twee lijnen loodrecht op elkaar staan (figuur 1). Er worden twee kleine matjes op gelijke afstand parallel aan één van de lijnen gelegd (langs de lijn in de kleine cirkel die parallel ligt aan de middelste verticale lijn in figuur 1). De camera staat nu voor beide zij aanzichten op dezelfde positie en heeft een identieke hoogte als de epicondylus lateralis van het femur zodat deze hoek met de horizontaal bepaald kan worden zonder dat eventueel abductie of adductie deze waarde beïnvloedt.



Figuur 1: De meetopstelling voor het fotograferen van de spagaat. De belijning van de gymzaal dient als referentie. Het os pubis van de turnster wordt geplaatst op het kruispunt in de gestippelde cirkel, de benen op de verticale lijn. De camera staat op een matje op het kruispunt in de kleine cirkels.

Palpatie

De turnster draagt bij voorkeur een turnpakje zodat de epicondylus lateralis van het femur en de trochanter major vrij zijn.

- Epicondylus lateralis van het femur
 - De turnster gaat op een bank zitten met gebogen knieën. Er wordt nu langs het bovenbeen in de richting van de knie gepalpeerd. Het meest uitstekende deel van de ronding van het femur, wat zich net boven de gewrichtsspleet van de knie bevindt, wordt gemarkeerd.
- Trochanter major
 - De turnster verplaatst haar gewicht op het desbetreffende been en leunt in dezelfde richting. Het meest lateraal prominierend punt van het femur wordt gemarkeerd. Voor controle beweegt de turnster haar voet naar binnen en buiten. Dit zorgt voor endorotatie en exorotatie van het femur. Het gemarkeerde punt moet hierbij bewegen.

Spagaat

1. De beenlengte van de turnster wordt opgemeten (afstand tussen de trochanter major en de epicondylus lateralis van het overeenkomstige been).
2. De turnster gaat in de spagaat zitten waarbij de benen zich op de middelste verticale lijn in figuur 1 bevinden en het os pubis zich exact op de lijn hier loodrecht op bevindt.
3. De eerder gemarkeerde botpunten worden gecontroleerd en vervolgens worden de reflecterende markers aangebracht op de eerder genoemde botpunten.
4. Als laatste neemt de turnster de correcte positie aan: een (complete) spagaat, romp rechtop en met de armen in het verlengde van de schouders.
5. Er wordt nu een foto met flits genomen vanuit beide zijaanzichten.

Analyse in Kinovea

De tophoek wordt bepaald tussen de beide femora;

1. De hoek tussen het femur van het been in anteflexie en de horizontaal (gymzaallijn) wordt bepaald (H1).
2. De hoek tussen het femur van het been in retroflexie en de horizontaal (gymzaallijn) wordt bepaald (H2).
3. De tophoek wordt berekend uit het feit dat in een driehoek de hoeken gezamenlijk 180° beslaan: $180^\circ - H1 - H2 = \text{tophoek}$

B. Protocol anteflexie

Benodigdheden

- Een muur
- Huidpotlood
- 3 reflecterende markers
- 3 plakkers voor het bevestigen van de markers
- Een camera op statief met de mogelijkheid tot filmen
- Een computer met Kinovea

Meetopstelling

Er wordt in een gymzaal een muur gekozen. De camera wordt op een statief gezet die staat afgesteld op overeenkomstige hoogte als de positie van de trochanter major van de turnster zodat de hefhoek kan worden bepaald zonder dat de toegevoegde abductie en exorotatie van invloed zijn op het resultaat voor de anteflexie. De camera staat zuiver sagittaal op de turnster en film met een samplefrequentie van 30 frames per seconde. Het is van belang dat het hele been in beeld is.

Palpatie

De turnster draagt bij voorkeur een turnpakje zodat de epicondylus lateralis van het femur en de trochanter major vrij zijn. De spina iliaca anterior superior dient ook te worden gepalpeerd.

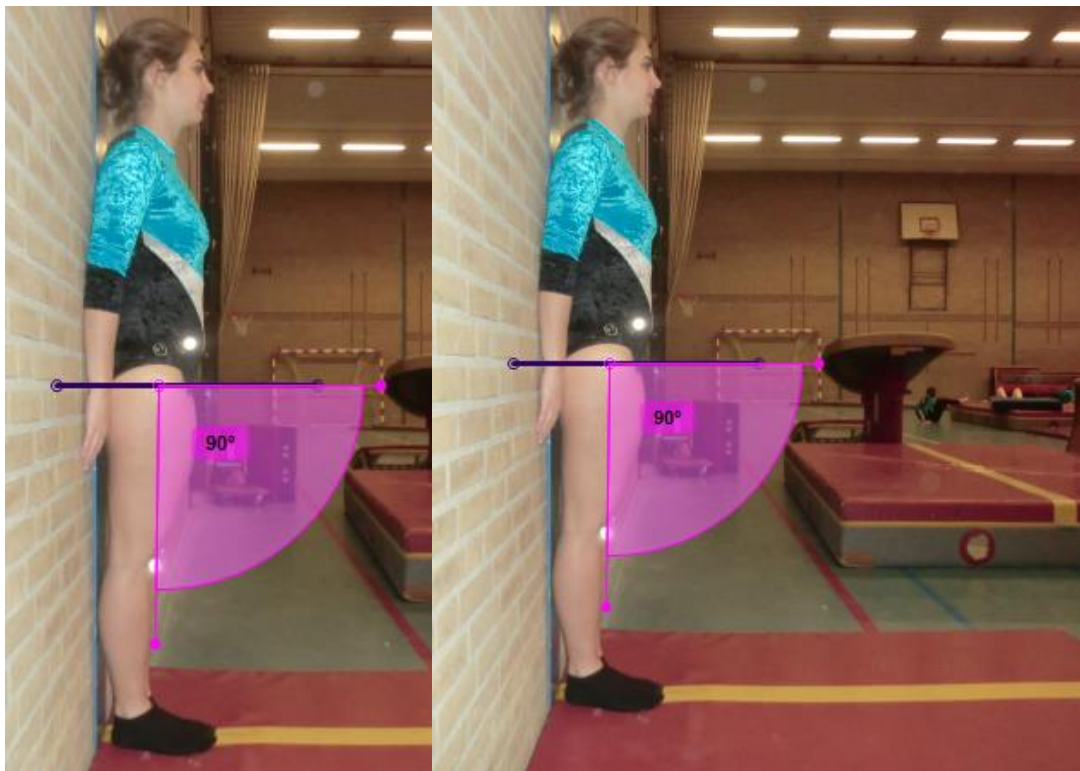
- Epicondylus lateralis van het femur
 - De turnster gaat op een bank zitten met gebogen knieën. Er wordt nu langs het bovenbeen in de richting van de knie gepalpeerd. Het meest uitstekende deel van de ronding van het femur, wat zich net boven de gewrichtsspleet van de knie bevindt, wordt gemarkeerd. Het botpunt wordt in stand gecontroleerd en vervolgens wordt er een marker op bevestigd.
- Trochanter major
 - De turnster verplaatst haar gewicht op het desbetreffende been en leunt in dezelfde richting. Het meest lateraal prominierend punt van het femur wordt gemarkeerd. Voor controle beweegt de turnster haar voet naar binnen en buiten. Dit zorgt voor endorotatie en exorotatie van het femur. Het gemarkeerde punt moet hierbij bewegen. Als na controle het botpunt is gelokaliseerd, wordt er een marker op bevestigd.
- Spina iliaca anterior superior (SIAS)
 - De turnster gaat in neutrale houding staan. Op het meest uitstekende deel van de pelvis aan de ventrale zijde van het lichaam wordt er een marker geplaatst.

Meting

1. De turnster gaat met de hielen, de billen en de schouders tegen de muur staan.
2. De beenlengte wordt opgemeten. Dit is de kortste rechte verbindingslijn tussen de trochanter major en de malleolus lateralis.
3. De arm wordt achter de pelvis geplaatst zodat deze niet kan kantelen tijdens het uitvoeren van de meting.
4. Er wordt een foto met flits genomen van de beginpositie, daarna start de opname.
5. De onderzoekster tilt het te meten been zo ver mogelijk in anteflexie met één hand waarbij abductie en exorotatie is toegestaan. De andere hand is gepositioneerd rond de SIAS als extra fixatie van de pelvis.
6. Er wordt gezocht naar de maximale hefhoek: deze is bereikt zodra het been niet hoger kan zonder dat de pelvis loskomt van de muur (als er weerstand wordt gevoeld tegen de hand op de SIAS) óf als de benen niet langer recht zijn.

Analyse in Kinovea

1. De heuphoek in de foto wordt bepaald (beginhoek). Dit is de hoek die het femur maakt met de horizontaal die door de trochanter major loopt (figuur 1).
2. De opname wordt afgespeeld en er wordt gezocht naar de hoogste positie van de epicondylus lateralis van het femur zonder dat er kromme benen worden waargenomen, de turnster los komt van de muur of de positie van de SIAS veranderd.
3. In het geselecteerde frame wordt de nieuwe heuphoek bepaald, zie figuur 1 (eindhoek). Als het femur zich boven de horizontaal bevindt, dan wordt er een negatieve waarde toegekend.
4. De anteflexie bedraagt: beginhoek – eindhoek



Figuur 1: Bepaling van de anteflexie op basis van het beeldmateriaal en analyse in Kinovea. Links is de beginhoek, rechts is de eindhoek. Zodra de eindhoek zich boven de horizontaal door de trochanter major bevindt, zal er een negatieve waarde worden toegekend aan de eindhoek. De anteflexie is nu gelijk aan de beginhoek minus de eindhoek ($90^\circ - 3^\circ = 87^\circ$).

C. Protocol retroflexie

Benodigdheden

- Een kast die in hoogte kan worden versteld
- Enkele matjes
- Huidpotlood
- 2 reflecterende markers
- 2 plakkers voor het bevestigen van de markers
- Sporttape
- Een camera op statief met de mogelijkheid tot filmen
- Een computer met Kinovea

Meetopstelling

De meetopstelling bestaat uit een kast ter hoogte van de spina iliaca anterior superior (SIAS) waar de voeten kunnen worden ingeschoven zodat het bekken in neutrale positie kan worden gefixeerd (figuur 1). De camera wordt op een statief gezet die staat afgesteld op overeenkomstige hoogte als de positie van de trochanter major van de turnster zodat de hefhoek kan worden bepaald zonder dat de toegevoegde abductie en exorotatie van invloed zijn op het resultaat voor de retroflexie. De camera staat zuiver sagittaal op de turnster en film met een samplefrequentie van 30 frames per seconde. Het is van belang dat het hele been in beeld is. Eventueel kunnen er matjes worden gebruikt om de turnster met haar SIAS op de gewenste hoogte te krijgen.



Figuur 1: Meetopstelling voor het bepalen van de retroflexie en de flexibiliteit van de wervelkolom.

Palpatie

De turnster draagt bij voorkeur een turnpakje zodat de epicondylus lateralis van het femur en de trochanter major vrij zijn. De SIAS dient ook te worden gepalpeerd.

- Epicondylus lateralis van het femur
 - De turnster gaat op een bank zitten met gebogen knieën. Er wordt nu langs het bovenbeen in de richting van de knie gepalpeerd. Het meest uitstekende deel van de ronding van het femur, wat zich net boven de gewrichtsspleet van de knie bevindt, wordt gemarkeerd. Het botpunt wordt in stand gecontroleerd en vervolgens wordt er een marker op bevestigd.

- Trochanter major
 - De turnster verplaatst haar gewicht op het desbetreffende been en leunt in dezelfde richting. Het meest lateraal prominierend punt van het femur wordt gemarkeerd. Voor controle beweegt de turnster haar voet naar binnen en buiten. Dit zorgt voor endorotatie en exorotatie van het femur. Het gemarkeerde punt moet hierbij bewegen. Als na controle het botpunt is gelokaliseerd, wordt er een marker op bevestigd.
- Spina iliaca anterior superior
 - De turnster gaat in neutrale houding staan. Op het meest uitstekende deel van de pelvis aan de ventrale zijde van het lichaam wordt er een stuk tape bevestigd. Er kan niet met een marker worden gewerkt, daar de SIAS tijdens de meting wordt gefixeerd tegen de kast.

Meting

1. De turnster gaat met het bekken (SIAS) tegen de kast staan en zorgt dat ook de benen tegen de kast staan waarbij de voeten in de kast kunnen worden geschoven. Er mag worden vastgehouden aan de kastrand. Voor een optimaal resultaat is de SIAS ter hoogte van de kastrand gefixeerd.
2. Er wordt een foto met flits genomen van de beginpositie, daarna start de film.
3. De onderzoekster tilt het te meten been zo ver mogelijk in retroflexie met één hand waarbij de andere hand op de dorsale zijde van het bekken is gepositioneerd om deze te fixeren tegen de kast (draaien van de heupen is niet toegestaan).
4. Er wordt gezocht naar de maximale hefhoek: deze is bereikt zodra de het been niet hoger kan zonder dat het bekken loskomt van de kast (als er weerstand wordt gevoeld tegen de hand op de dorsale zijde van het bekken), als de turnster voorover gaat buigen óf als de benen niet langer recht zijn.

Analyse in Kinovea

1. De hoek in de foto wordt bepaald (beginhoek). Dit is de hoek die het femur maakt met de horizontaal die door de trochanter major loopt (figuur 2).
2. De opname wordt ingeladen en er wordt gezocht naar de hoogste positie van de epicondylus lateralis van het femur zonder dat er kromme benen worden waargenomen, de turnster loskomt van de kast, de turnster voorover kantelt of de positie van het bekken verandert.
3. In het geselecteerde frame wordt de nieuwe hoek bepaald, zie figuur 2 (eindhoek).
4. De retroflexie bedraagt: beginhoek – eindhoek



Figuur 2: Bepaling van de retroflexie op basis van het beeldmateriaal en analyse in Kinovea. Links is de beginhoek, rechts is de eindhoek. De retroflexie is nu gelijk aan de beginhoek minus de eindhoek ($86^\circ - 48^\circ = 38^\circ$).

D. Protocol extensie

Benodigdheden

- Een kast die in hoogte kan worden versteld
- Enkele matjes
- Huidpotlood
- 4 reflecterende markers
- 4 plakkers voor het bevestigen van de markers
- Sporttape
- Een camera op statief met de mogelijkheid tot filmen
- Een computer met Kinovea

Meetopstelling

De meetopstelling is identiek aan de opstelling besproken in bijlage C (protocol retroflexie).

Palpatie

De turnster draagt bij voorkeur een turnpakje zodat de epicondylus lateralis van het femur en de trochanter major vrij zijn. Voor deze meting worden ook de spina iliaca anterior superior (SIAS), de eerste thoracale wervel en de vijfde lumbale wervel gepalpeerd.

- Epicondylus lateralis van het femur
 - De turnster gaat op een bank zitten met gebogen knieën. Er wordt nu langs het bovenbeen in de richting van de knie gepalpeerd. Het meest uitstekende deel van de ronding van het femur, wat zich net boven de gewrichtsspleet van de knie bevindt, wordt gemarkeerd. Het botpunt wordt in stand gecontroleerd en vervolgens wordt er een marker op bevestigd.
- Trochanter major
 - De turnster verplaatst haar gewicht op het desbetreffende been en leunt in dezelfde richting. Het meest lateraal prominierend punt van het femur wordt gemarkeerd. Voor controle beweegt de turnster haar voet naar binnen en buiten. Dit zorgt voor endorotatie en exorotatie van het femur. Het gemarkeerde punt moet hierbij bewegen. Als na controle het botpunt is gelokaliseerd, wordt er een marker op bevestigd.
- Spina iliaca anterior superior
 - De turnster gaat in neutrale houding staan. Op het meest uitstekende deel van de pelvis aan de ventrale zijde van het lichaam wordt er een stuk tape bevestigd. Er kan niet met een marker worden gewerkt, daar de SIAS tijdens de meting wordt gefixeerd tegen de kast.
- Eerste thoracale wervel
 - De turnster gaat in neutrale positie staan en plaatst haar kin op haar borst. De wervel die het beste zichtbaar is, is de laatste cervicale wervel (C7). De eerste thoracale wervel (TH1) bevindt zich hieronder. Voor controle schudt de turnster nee. TH1 zal niet bewegen tijdens deze beweging, C7 wel. Zodra TH1 is gelokaliseerd wordt hier een marker op bevestigd.

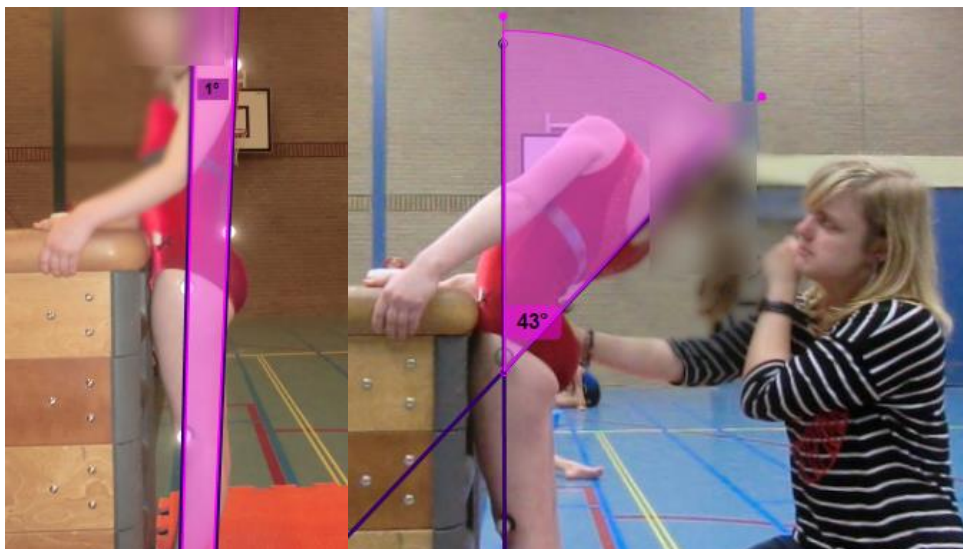
- Vijfde lumbale wervel
 - De turnster gaat wederom in de neutrale positie staan. Voor palpatie worden de handen aan weerszijde op de top van de crista Iliaca gelegd met de duimen op de dorsale zijde van de turnster. De duimen wijzen hierbij naar elkaar toe. Hiertussen bevindt zich de vijfde lumbale wervel (L5). Hier wordt een marker op bevestigd.

Meting

1. De turnster gaat met het bekken (SIAS) tegen de kast staan en zorgt dat ook de benen tegen de kast staan waarbij de voeten in de kast kunnen worden geschoven. Er mag worden vastgehouden aan de kastrand.
2. Er wordt een foto met flits genomen van de beginpositie, daarna start de film.
3. De turnster maakt eerst een torsie in de wervelkolom:
 - a. Bij een spagaat met het linker been voor hoort een torsie naar links.
 - b. Bij een spagaat met het rechter been voor hoort een torsie naar rechts.
4. De turnster buigt zelfstandig, terwijl de torsie in de wervelkolom gehandhaafd blijft, zo ver mogelijk naar achter (extensie van de rug) waarbij de onderzoekster zorgt dat de pelvis in de neutrale positie blijft (handen dorsaal op de pelvis).
5. De meting stopt als het bekken (SIAS) los komt van de kast, of de marker op TH1 zicht niet meer loodrecht boven de marker op L5 bevindt.

Analyse in Kinovea

1. De hoek van de romp wordt bepaald op basis van de hoek tussen de verbindingslijnen in de foto van TH1 met L5 en de trochanter major met de epicondylus lateralis van het femur, te zien in figuur 1 (beginhoek). Als de verbindingslijn van TH1 met L5 zich ter hoogte van de neus en vanaf de neus gezien dichterbij bevindt dan de andere verbindingslijn wordt er een negatieve waarde toegekend aan de beginhoek.
2. De opname wordt ingeladen en het frame met de grootste extensie wordt gezocht (TH1 heeft de laagste positie) zonder dat de SIAS los komt van de kast.
3. De hoek van de romp wordt opnieuw bepaald (eindhoek).
4. De extensie is gelijk aan: *eindhoek – beginhoek*



Figuur 2: Bepaling van de extensie op basis van het beeldmateriaal en analyse in Kinovea. Links is de beginhoek, rechts is de eindhoek. Zodra de beginhoek zich voor de lijn door het femur bevindt, zal er een negatieve waarde worden toegekend aan de beginhoek. De absolute extensie is nu gelijk aan de eindhoek minus de beginhoek ($43^\circ - 1^\circ = 42^\circ$).

E. Jurybeoordelingen

Scoreformulier Jury: beoordeling spagaat						
Naam			Laura Kalfsvel			
Certificaat			TD2			
Ervaring (jaren)			6			
Aantal wedstrijden			10x (regionaal en intern)			

Erkenning: beenspreiding				Uitvoering: esthetische aftrek					
	Spagaat	Aftrek	Telt niet	Tenen	Benen	Heupen	Schouders	Romp	Armen
01SR	X								
02SR	X							0.1	
03SR	X			0.3				0.1	
04SL	X								
05SR		0.1							
06SR	X				0.1				
07SR		0.3		0.3	0.3			0.5	0.5
08SL		0.5		0.1	0.3			0.5	0.5
09SL		0.3		0.1	0.1				
10SR		0.1		0.1	0.1				
11SL	X								
12SR	X								
13SL	X							0.1	
14SL	X				0.1				
15SR	X			0.1					
16SR			X						
17SR	X			0.1				0.1	
18SR	X				0.1				
19SL	X			0.1				0.1	
20SL		0.1		0.1					
21SR	X			0.1				0.1	
22SR			X						
23SL			X						
24SR		0.1			0.1				
25SR		0.5		0.1	0.3			0.5	0.5
26SL	X								
27SL		0.5		0.1	0.3				
28SL		0.5		0.1	0.3				
29SL		0.5		0.3	0.3	0.3		0.5	0.5
30SR			X						
31SR		0.3		0.1	0.3			0.3	0.5
32SL	X			0.1		0.1			
33SR		0.3			0.3				
34SL		0.3		0.3	0.3	0.1			
35SR			X						
36SL		0.3		0.1	0.3			0.1	0.5
37SR			X						
38SR		0.1			0.1			0.3	

Scoreformulier Jury: beoordeling spagaat

Naam	Mirjan Meuleman
Certificaat	TD1
Ervaring (jaren)	4
Aantal wedstrijden	6

Erkenning: beenspreiding			
	Spagaat	Aftrek	Telt niet
01SR	X		
02SR		0.1	
03SR		0.1	
04SL		0.1	
05SR	X		
06SR	X		
07SR		0.5	
08SL		0.5	
09SL		0.5	
10SR		0.5	
11SL	X		
12SR	X		
13SL	X		
14SL	X		
15SR	X		
16SR			X
17SR	X		
18SR	X		
19SL	X		
20SL		0.5	
21SR	X		
22SR			X
23SL			X
24SR		0.3	
25SR		0.5	
26SL	X		
27SL		0.5	
28SL		0.5	
29SL		0.5	
30SR			X
31SR		0.5	
32SL		0.1	
33SR		0.5	
34SL		0.5	
35SR			X
36SL		0.5	
37SR			X
38SR		0.5	

Uitvoering: esthetische aftrek					
Tenen	Benen	Heupen	Schouders	Romp	Armen
	0.1	0.5		0.3	
0.1	0.3	0.5		0.5	
0.3	0.3	0.5	0.3	0.3	0.3
0.3	0.5	0.5		0.5	
	0.1				
0.1	0.1	0.5		0.5	
0.1	0.5	0.5	0.3	0.5	
	0.3	0.5	0.3	0.5	
0.3	0.5	0.5	0.1	0.5	0.1
0.3	0.5	0.3	0.1	0.3	0.1
0.1	0.3	0.3		0.3	
		0.3			
		0.3		0.3	
		0.3	0.3	0.3	0.1
	0.3	0.3		0.3	
		0.5		0.3	
	0.3	0.5		0.5	
0.1	0.3	0.5		0.3	
	0.1	0.3		0.3	0.3
0.1	0.1	0.3		0.3	
	0.3	0.3		0.3	
	0.3	0.3	0.3	0.5	
	0.3	0.3		0.3	
	0.1	0.3		0.1	
		0.3			
	0.5	0.3	0.3	0.3	0.3
	0.3	0.3	0.3	0.3	
		0.5		0.3	
	0.3	0.3	0.1	0.3	0.1
0.1	0.3	0.5		0.5	
0.1	0.3	0.3	0.1	0.3	
	0.3	0.3		0.1	

Scoreformulier Jury: beoordeling spagaat

Naam	Raymond Nankoe
Certificaat	FIG (cat. 2)
Ervaring (jaren)	18 nationaal; 10 internationaal
Aantal wedstrijden	1x European Youth Olympic Festival; 2x EK; 3x WK; 2x Youth Olympic games

Erkenning: beenspreiding			
	Spagaat	Aftrek	Telt niet
01SR	X		
02SR	X		
03SR	X		
04SL	X		
05SR	X		
06SR	X		
07SR		0.3	
08SL		0.3	
09SL		0.3	
10SR		0.3	
11SL	X		
12SR	X		
13SL	X		
14SL		0.1	
15SR	X		
16SR		0.3	
17SR	X		
18SR	X		
19SL		0.1	
20SL		0.1	
21SR		0.1	
22SR		0.5	
23SL		0.5	
24SR		0.3	
25SR		0.3	
26SL	X		
27SL		0.1	
28SL		0.1	
29SL		0.1	
30SR		0.5	
31SR		0.1	
32SL	X		
33SR		0.1	
34SL		0.1	
35SR		0.5	
36SL		0.1	
37SR			X
38SR		0.1	

Uitvoering: esthetische aftrek					
Tenen	Benen	Heupen	Schouders	Romp	Armen
		0.3			
	0.1	0.1			
0.1	0.1	0.1		0.1	
	0.1	0.1			
		0.1			
		0.3			
0.1	0.1	0.1			
	0.1	0.1			
		0.1			
0.1		0.3			
	0.1	0.1			
	0.1	0.3			
		0.3			0.3
0.1		0.1			
0.1	0.1	0.1		0.1	
		0.1		0.3	
0.1	0.3	0.1			
0.1	0.3	0.1			
0.1		0.1		0.1	
	0.1	0.1			
		0.1			
	0.1	0.1			
	0.3	0.1		0.3	
0.1	0.1	0.1			
0.1		0.3			
		0.1			
	0.1	0.1			
	0.3				
		0.1			
		0.1			

F. Matlabcode model

```
function varargout = Model_Spagaat(varargin)
%MODEL_SPAGAAT MATLAB code for Model_Spagaat.fig
%     MODEL_SPAGAAT, by itself, creates a new MODEL_SPAGAAT or raises the
%     existing
%     singleton.
%
%     H = MODEL_SPAGAAT returns the handle to a new MODEL_SPAGAAT or the
%     handle to
%     the existing singleton.
%
%     MODEL_SPAGAAT('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the
%     local
%     function named CALLBACK in MODEL_SPAGAAT.M with the given input
%     arguments.
%
%     MODEL_SPAGAAT('Property','Value',...) creates a new MODEL_SPAGAAT or
%     raises the
%     existing singleton. Starting from the left, property value pairs are
%     applied to the GUI before Model_Spagaat_OpeningFcn gets called. An
%     unrecognized property name or invalid value makes property
%     application
%     stop. All inputs are passed to Model_Spagaat_OpeningFcn via
%     varargin.
%
%Last Modified by GUIDE v2.5 17-Apr-2016 14:21:42

%% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                  'gui_Singleton',   gui_Singleton, ...
                  'gui_OpeningFcn', @Model_Spagaat_OpeningFcn, ...
                  'gui_OutputFcn',  @Model_Spagaat_OutputFcn, ...
                  'gui_LayoutFcn',  [], ...
                  'gui_Callback',    []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargin
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
end

%End initialization code - DO NOT EDIT

%% Executes just before Model_Spagaat is made visible.
function Model_Spagaat_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
%Choose default command line output for Model_Spagaat
handles.output = hObject;

%Update handles structure
guidata(hObject, handles);
end

%Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Model_Spagaat_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
%Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;
end
```

```

%% Executes on button press in 'genereer skelet'
function pushbutton1_Callback(hObject, eventdata, handles)
cla reset
set(gca,'XTick',[],'YTick',[])
set(handles.uipanel5,'visible','off');

%Coördinaten opslaan t.o.v. trochanter major
SIASx = str2num(get(handles.edit1,'string'));
SIASy = str2num(get(handles.edit5,'string'));
TH1x = str2num(get(handles.edit2,'string'));
TH1y = str2num(get(handles.edit6,'string'));
Kniex = str2num(get(handles.edit3,'string'));
Kniety = str2num(get(handles.edit7,'string'));

%Hoek bovenbeen berekenen voor coördinaten voet
phiBovenbeen = atan2(Kniety,Kniex);
Voetx = str2num(get(handles.edit4,'string')) * cos(phiBovenbeen);
Voety = str2num(get(handles.edit4,'string')) * sin(phiBovenbeen);

%Plot het skelet in de referentiestand
TM = [0 0];
hold on
sk1 = line([TM(1) SIASx],[TM(2) SIASy]);
sk2 = line([TM(1) Voetx],[TM(2) Voety]);
sk3 = line([TM(1) Kniex],[TM(2) Kniety]);
sk4 = line([SIASx TH1x],[SIASy TH1y]);

sk1.Marker = 'o';
sk1.MarkerEdgeColor = 'k';
sk1.Color = 'k';
sk2.Color = [0.637 0.285 0.641];
sk3.Color = 'r';
sk4.Color = [0 0.633 0.906];

axis([-700 1000 -1000 700])
legend('Heup','Voorste been','Achterste been','Romp');
hold off

%Uitgangspositie TH1x opslaan; nodig als randvoorwaarde
setappdata(gcf,'refRugx',TH1x);

%Variabelen aanmaken voor tijdens de heupkanteling
MaximaalA = 0;
MaximaalK = 0;
Teller = 0;
Teller2 = 0;
TellerKanteling = 0;
setappdata(gcf,'MaximaalA',MaximaalA);
setappdata(gcf,'MaximaalK',MaximaalK);
setappdata(gcf,'Teller',Teller);
setappdata(gcf,'Teller2',Teller2);
setappdata(gcf,'TellerKanteling',TellerKanteling);

%Coördinaten bereken TH1 t.o.v. SIAS
TH1x = TH1x - SIASx;
TH1y = TH1y - SIASy;

```

```

%Lengten segmenten bepalen
Been = str2num(get(handles.edit4,'string'));
Bovenbeen = sqrt(Kniex^2 + Kniey^2);
Heup = sqrt(SIASx^2 + SIASy^2);
Rug = sqrt(TH1x^2 + TH1y^2);

%Hoeken segmenten met positieve x-as bepalen
phiBeen = phiBovenbeen;
phiHeup = atan2(SIASy,SIASx);
phiRug = atan2(TH1y,TH1x);

%Lokale variabele globaal maken
setappdata(gcf,'Been',Been);
setappdata(gcf,'Bovenbeen',Bovenbeen);
setappdata(gcf,'Heup',Heup);
setappdata(gcf,'Rug',Rug);
setappdata(gcf,'phiBovenbeen',phiBovenbeen);
setappdata(gcf,'phiBeen',phiBeen);
setappdata(gcf,'phiHeup',phiHeup);
setappdata(gcf,'phiRug',phiRug);
end

function edit1_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end
end

function edit2_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end
end

function edit3_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end
end

function edit4_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit4_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end
end

```

```

function edit5_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit5_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end
end

function edit6_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit6_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end
end

function edit7_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit7_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end
end

function edit8_Callback(hObject, eventdata, handles)
function edit8_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end
end
end

%% --- Executes on slider movement (retroflexie)
function slider1_Callback(hObject, eventdata, handles)
%Geeft de waarde van de retroflexie weer
retroflexie = get(hObject,'value');
set(handles.text32,'string',retroflexie);

%Past de coördinaten van het bovenbeen aan
retroflexie = (pi/180)*retroflexie;
phiBovenbeen = getappdata(gcf,'phiBovenbeen');
phiBovenbeen2 = phiBovenbeen - retroflexie;
Bovenbeen = getappdata(gcf,'Bovenbeen');
Kniex = Bovenbeen * cos(phiBovenbeen2);
Kniey = Bovenbeen * sin(phiBovenbeen2);
setappdata(gcf,'phiBovenbeen2',phiBovenbeen2);

%Tekent de nieuwe stand van het been dat retroflexie uitvoert
TM = [0 0];
set(handles.axes1.Children(2,1),'XData',[TM(1) Kniex],'YData',[TM(2)
Kniey]);
end

```

```

function slider1_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end
end

%% --- Executes on slider movement (anteflexie)
function slider2_Callback(hObject, eventdata, handles)
%Geeft de waarde van de anteflexie weer
anteflexie = get(hObject,'value');
set(handles.text33,'string',anteflexie);

%Variabele voor wel of geen kanteling opvragen, anteflexie in radialen
MaximaalA = getappdata(gcf,'MaximaalA');
MaximaalK = getappdata(gcf,'MaximaalK');
Teller = getappdata(gcf,'Teller');
Teller2 = getappdata(gcf,'Teller2');
anteflexie = (pi/180)*anteflexie;

%Bepalen wat de y-positie van het been moet zijn
%wanneer het bekken moet gaan kantelen (y-positie knie = y-positie voet)
Yknie = get(handles.axes1.Children(2,1),'YData');

%Past de coördinaten van het been aan
if MaximaalA == 1
    maxAnteflexie = getappdata(gcf,'maxAnteflexie');
    phiBeen = getappdata(gcf,'phiBeen');
    phiBeen2 = phiBeen + maxAnteflexie;
    Been = getappdata(gcf,'Been');
    Voetx = Been * cos(phiBeen2);
    Voety = Been * sin(phiBeen2);
    setappdata(gcf,'Voety',Voety);

else phiBeen = getappdata(gcf,'phiBeen');
    phiBeen2 = phiBeen + anteflexie;
    Been = getappdata(gcf,'Been');
    Voetx = Been * cos(phiBeen2);
    Voety = Been * sin(phiBeen2);
    setappdata(gcf,'Voety',Voety);
end

%Tekent de nieuwe stand van de benen als er anteflexie wordt gemaakt
if Voety < Yknie(1,2)
    TM = [0 0];
    set(handles.axes1.Children(3,1),'XData',[TM(1) Voetx],'YData',[TM(2)
                                                                    Voety]);

    MaximaalA = 0;
    setappdata(gcf,'MaximaalA',MaximaalA);

    if Teller >= 1
        Teller = Teller + 1;
        setappdata(gcf,'Teller',Teller);
    end

    %Randvoorwaarde (discussiepunt)
    if abs(Voety-Yknie(1,2)) < abs(sind(50)*Been - sind(50.75)*Been)
        MaximaalA = 1;
        setappdata(gcf,'MaximaalA',MaximaalA);
    end
end

```

```

    if Teller > 1
        Teller = (Teller * 0.5) - 0.5;
        Teller = (pi/180)*Teller;
        maxAnteflexie = getappdata(gcf, 'maxAnteflexie');
        maxAnteflexie = maxAnteflexie + Teller;
        setappdata(gcf, 'maxAnteflexie', maxAnteflexie);
        Teller = 1;
        Teller2 = 1;
        setappdata(gcf, 'Teller', Teller);
        setappdata(gcf, 'Teller2', Teller2);

    else Teller = 1;
        setappdata(gcf, 'Teller', Teller);
        setappdata(gcf, 'maxAnteflexie', anteflexie);
    end
end

elseif Voety > Yknie(1,2)
    if MaximaalK == 1;
        if Teller2 == 1;
            phiHeup2 = getappdata(gcf, 'phiHeup2') - (pi/180)*0.5;
            phiBovenbeen3 = getappdata(gcf, 'phiBovenbeen3') - (pi/180)*0.5;
            Bovenbeen = getappdata(gcf, 'Bovenbeen');
            phiRug2 = getappdata(gcf, 'phiRug2') - (pi/180)*0.5;
            Rug = getappdata(gcf, 'Rug');
            Heup = getappdata(gcf, 'Heup');
            Kniex = Bovenbeen * cos(phiBovenbeen3);
            Kniy = Bovenbeen * sin(phiBovenbeen3);
            SIASx = Heup * cos(phiHeup2);
            SIASy = Heup * sin(phiHeup2);
            TH1x = Rug * cos(phiRug2) + SIASx;
            TH1y = Rug * sin(phiRug2) + SIASy;
            TM = [0 0];
            set(handles.axes1.Children(1,1), 'XData', [SIASx
                                                         TH1x], 'YData', [SIASy TH1y]);
            set(handles.axes1.Children(2,1), 'XData', [TM(1)
                                                         Kniex], 'YData', [TM(2) Kniy]);
            set(handles.axes1.Children(4,1), 'XData', [TM(1)
                                                         SIASx], 'YData', [TM(2) SIASy]);
            setappdata(gcf, 'phiBovenbeen3', phiBovenbeen3);
            setappdata(gcf, 'phiHeup2', phiHeup2);
            setappdata(gcf, 'phiRug2', phiRug2);

            TellerKanteling = getappdata(gcf, 'TellerKanteling') + 0.5;
            setappdata(gcf, 'TellerKanteling', TellerKanteling);

        else Kanteling = anteflexie - getappdata(gcf, 'maxAnteflexie');
            phiBovenbeen3 = getappdata(gcf, 'phiBovenbeen3');
            phiHeup2 = getappdata(gcf, 'phiHeup2');
            phiHeup2 = phiHeup2 - Kanteling;
            phiBovenbeen3 = phiBovenbeen3 - Kanteling;
            Bovenbeen = getappdata(gcf, 'Bovenbeen');
            phiRug2 = getappdata(gcf, 'phiRug2');
            phiRug2 = phiRug2 - Kanteling;
            Rug = getappdata(gcf, 'Rug');
            Heup = getappdata(gcf, 'Heup');
            Kniex = Bovenbeen * cos(phiBovenbeen3);
            Kniy = Bovenbeen * sin(phiBovenbeen3);
            SIASx = Heup * cos(phiHeup2);
            SIASy = Heup * sin(phiHeup2);
            TH1x = Rug * cos(phiRug2) + SIASx;
            TH1y = Rug * sin(phiRug2) + SIASy;

```

```

    TM = [0 0];
    set(handles.axes1.Children(1,1), 'XData', [SIASx
        TH1x], 'YData', [SIASy TH1y]);
    set(handles.axes1.Children(2,1), 'XData', [TM(1)
        Kniex], 'YData', [TM(2) Kniey]);
    set(handles.axes1.Children(4,1), 'XData', [TM(1)
        SIASx], 'YData', [TM(2) SIASy]);

    TellerKanteling = getappdata(gcf, 'TellerKanteling') + 0.5;
    setappdata(gcf, 'TellerKanteling', TellerKanteling);
end

if Voety < Kniey
    setappdata(gcf, 'phiBovenbeen3', phiBovenbeen3);
    setappdata(gcf, 'phiHeup2', phiHeup2);
    setappdata(gcf, 'Teller2', Teller2);
    setappdata(gcf, 'phiRug2', phiRug2);
end

elseif MaximaalK == 0
    phiBovenbeen2 = getappdata(gcf, 'phiBovenbeen2');
    Bovenbeen = getappdata(gcf, 'Bovenbeen');
    phiHeup = getappdata(gcf, 'phiHeup');
    Heup = getappdata(gcf, 'Heup');
    Kanteling = anteflexie - getappdata(gcf, 'maxAnteflexie');
    phiHeup2 = phiHeup - Kanteling;
    phiBovenbeen3 = phiBovenbeen2 - Kanteling;
    phiRug = getappdata(gcf, 'phiRug');
    Rug = getappdata(gcf, 'Rug');
    Kniex = Bovenbeen * cos(phiBovenbeen3);
    Kniey = Bovenbeen * sin(phiBovenbeen3);
    SIASx = Heup * cos(phiHeup2);
    SIASy = Heup * sin(phiHeup2);
    phiRug2 = phiRug - Kanteling;
    TH1x = Rug * cos(phiRug2) + SIASx;
    TH1y = Rug * sin(phiRug2) + SIASy;
    TM = [0 0];
    set(handles.axes1.Children(1,1), 'XData', [SIASx
        TH1x], 'YData', [SIASy TH1y]);
    set(handles.axes1.Children(2,1), 'XData', [TM(1)
        Kniex], 'YData', [TM(2) Kniey]);
    set(handles.axes1.Children(4,1), 'XData', [TM(1)
        SIASx], 'YData', [TM(2) SIASy]);

    TellerKanteling = getappdata(gcf, 'TellerKanteling') + 0.5;
    setappdata(gcf, 'TellerKanteling', TellerKanteling);

    if Voety < Kniey
        MaximaalK = 1;
        setappdata(gcf, 'phiBovenbeen3', phiBovenbeen3);
        setappdata(gcf, 'phiHeup2', phiHeup2);
        setappdata(gcf, 'MaximaalK', MaximaalK);
        setappdata(gcf, 'phiRug2', phiRug2);
    end
end
end
end

```

```

function slider2_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end
end

%% --- Executes on slider movement (extensie)
function slider3_Callback(hObject, eventdata, handles)
%Geeft de waarde van de extensie weer
extensie = get(hObject,'value');
set(handles.text34,'string',extensie);

%Past de coördinaten van de rug aan
extensie = (pi/180)*extensie;
phiRug2 = getappdata(gcf,'phiRug2');
phiRug3 = phiRug2 + extensie;
Rug = getappdata(gcf,'Rug');
TH1x = Rug * cos(phiRug3);
TH1y = Rug * sin(phiRug3);

%Verschuift de coördinaten zodat ze aan de SIAS vastzitten
SIASx = get(handles.axes1.Children(4,1),'XData');
SIASy = get(handles.axes1.Children(4,1),'YData');
TH1x = TH1x + SIASx(2);
TH1y = TH1y + SIASy(2);

%Tekent de nieuwe stand van de romp die retroflexie uitvoert
set(handles.axes1.Children(1,1),'XData',[SIASx(2) TH1x],'YData',[SIASy(2)
TH1y]);
setappdata(gcf,'TH1x',TH1x);
setappdata(gcf,'phiRug3',phiRug3);

%Kijkt of de positie van de romp correct is
if TH1x <= getappdata(gcf,'refRugx')
    uiwait(msgbox({'De romp is momenteel goed gepositioneerd. '...
        'Er is geen extra extensie nodig.'},'Houding','help'))
end
end

function slider3_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
if isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
get(0,'defaultUiControlBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor',[.9 .9 .9]);
end
end

%% --- Executes on button press in pushbutton3 (controleren spagaat)
function pushbutton3_Callback(hObject, eventdata, handles)

%Controleren of de romp goed is gepositioneerd en tophoek terugkoppelen
if getappdata(gcf,'TH1x') <= getappdata(gcf,'refRugx')
    Tophoek = str2num(get(handles.text32,'string')) +
str2num(get(handles.text33,'string'));
    set(handles.text38,'string',Tophoek);

```

```

if Tophoek >= 140
    set(handles.text37,'string',{' ':' '
        'Spagaat'},'BackgroundColor','green');
    set(handles.uipanel5,'visible','off');
else set(handles.text37,'string',{' ':' '
        'Geen Spagaat'},'BackgroundColor','red');
end

else uiwait(msgbox({'Helaas; de wervelkolom kan niet genoeg extensie
uitvoeren. ' ...
    'Probeer het opnieuw met minder kanteling van de
heup.'},'Afgewaardeerd','warn'))
    Tophoek = str2num(get(handles.text32,'string')) +
str2num(get(handles.text33,'string'));
    set(handles.text38,'string',Tophoek);
    set(handles.text37,'string',{' ':' ' 'Geen
spagaat'},'BackgroundColor','red');

    %Correctiewaarden instellen
    set(handles.uipanel5,'visible','on');
    TellerKanteling = getappdata(gcf,'TellerKanteling');
    set(handles.text42,'string',TellerKanteling);

set(handles.slider5,'Max',TellerKanteling,'SliderStep',[1/(TellerKanteling*
2) 5/(TellerKanteling*2)],'Value',TellerKanteling);
end
end

%% --- Executes on slider movement (terugkanteling)
function slider5_Callback(hObject, eventdata, handles)
Bovenbeen = getappdata(gcf,'Bovenbeen');
phiRug3 = getappdata(gcf,'phiRug3') + (pi/180)*0.5;
Rug = getappdata(gcf,'Rug');
Heup = getappdata(gcf,'Heup');
phiHeup2 = getappdata(gcf,'phiHeup2') + (pi/180)*0.5;
phiBovenbeen3 = getappdata(gcf,'phiBovenbeen3') + (pi/180)*0.5;
TellerKanteling = getappdata(gcf,'TellerKanteling') - 0.5;
set(handles.text42,'string',TellerKanteling);

Kniex = Bovenbeen * cos(phiBovenbeen3);
Kniy = Bovenbeen * sin(phiBovenbeen3);
SIASx = Heup * cos(phiHeup2);
SIASy = Heup * sin(phiHeup2);
TH1x = Rug * cos(phiRug3) + SIASx;
TH1y = Rug * sin(phiRug3) + SIASy;
TM = [0 0];

set(handles.axes1.Children(1,1),'XData',[SIASx TH1x],'YData',[SIASy TH1y]);
set(handles.axes1.Children(2,1),'XData',[TM(1) Kniex],'YData',[TM(2)
    Kniy]);
set(handles.axes1.Children(4,1),'XData',[TM(1) SIASx],'YData',[TM(2)
    SIASy]);

setappdata(gcf,'phiBovenbeen3',phiBovenbeen3);
setappdata(gcf,'phiHeup2',phiHeup2);
setappdata(gcf,'phiRug3',phiRug3);
setappdata(gcf,'TellerKanteling',TellerKanteling);

```

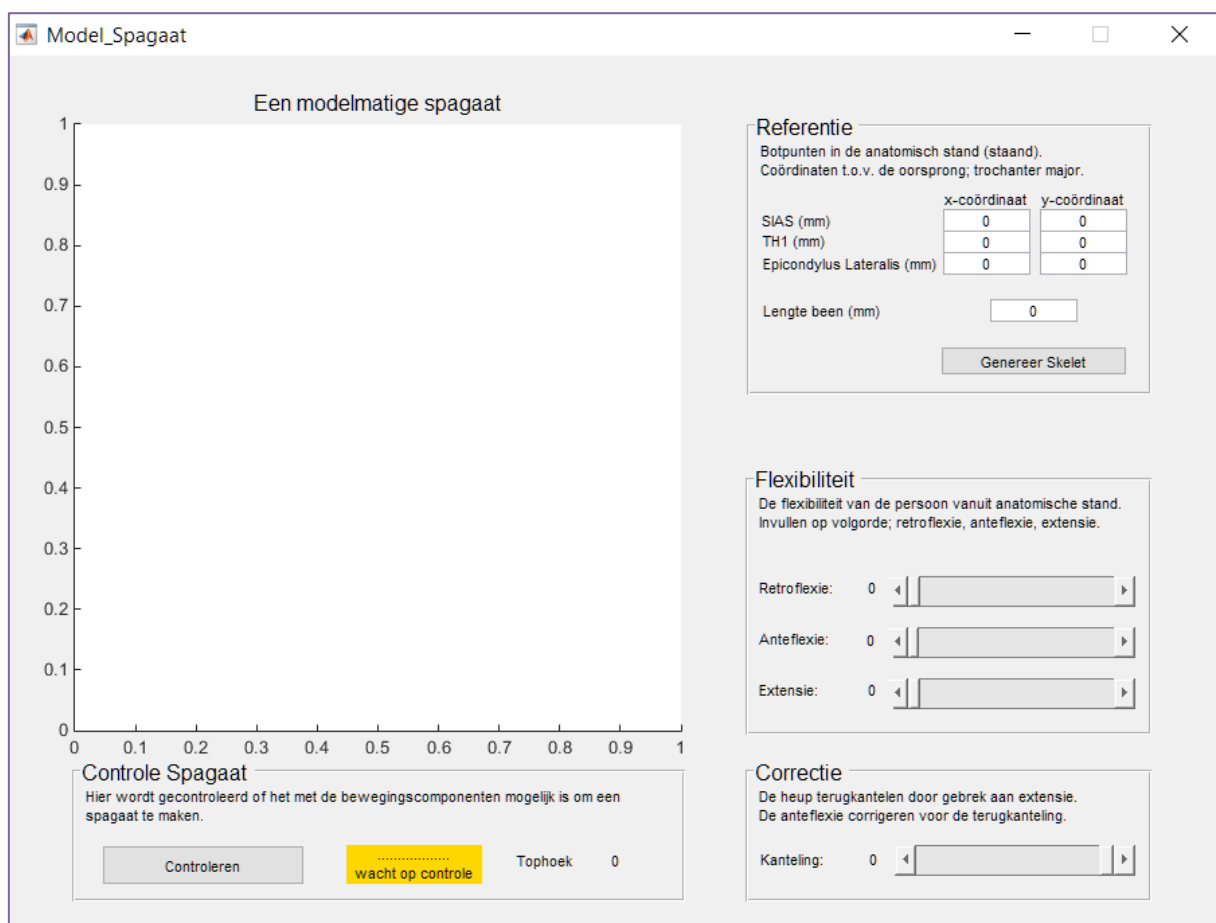
```

%controleren of de rug goed is gepositioneerd
if TH1x <= getappdata(gcf,'refRugx')
    uiwait(msgbox({'De romp is momenteel goed gepositioneerd. '...
        'Er is geen extra extensie nodig.' ' '...
        'Controleer de spagaat opnieuw voor de nieuwe tophoek.'},...
        'Houding','help'))

    Been = getappdata(gcf,'Been');
    VoetyOud = getappdata(gcf,'Voety');
    phiBeenOud = asind(VoetyOud/Been);
    phiBeenOud = real(phiBeenOud) + round(imag(phiBeenOud));
    Voety = Kniey;
    phiBeen2 = asind(Voety/Been);
    phiBeen2 = real(phiBeen2) + round(imag(phiBeen2));
    phiBeenrad = (pi/180)*phiBeen2;
    Voetx = Been * cos(phiBeenrad);
    set(handles.axes1.Children(3,1),'XData',[TM(1) Voetx],'YData',[TM(2)
        Voety]);

    VerschilphiBeen = round(phiBeen2 - phiBeenOud);
    phiBeen = str2num(get(handles.text33,'string')) + VerschilphiBeen;
    setappdata(gcf,'TH1x',TH1x);
    set(handles.text33,'string',phiBeen);
end
end
end

```



Figuur 1: De grafische vormgeving die bij de bovenstaande geprogrammeerde Matlabcode hoort en is gebruikt tijdens de validatie.

G. Matlabcode ratio

```

%% Coördinaten toekennen (mm; ten opzicht van de TM)
%Turnster 02SR
KnieX{1} = 15;
KnieY{1} = -347;
SiasX{1} = 69;
SiasY{1} = 95;
TH1X{1} = -61;
TH1Y{1} = 459;
BLengte{1} = 720;

%Turnster 09SL
KnieX{2} = 28;
KnieY{2} = -334;
SiasX{2} = 63;
SiasY{2} = 103;
TH1X{2} = -46;
TH1Y{2} = 469;
BLengte{2} = 680;

%Turnster 10SR
KnieX{3} = 18;
KnieY{3} = -393;
SiasX{3} = 82;
SiasY{3} = 82;
TH1X{3} = -108;
TH1Y{3} = 513;
BLengte{3} = 750;

%Turnster 11SL
KnieX{4} = 83;
KnieY{4} = -455;
SiasX{4} = 116;
SiasY{4} = 112;
TH1X{4} = -111;
TH1Y{4} = 612;
BLengte{4} = 940;

%% Referentiewaarde vaststellen
for N = 1:4
%Coördinaten TH1 t.o.v. de heup
TH1X{N} = TH1X{N} - SiasX{N};
TH1Y{N} = TH1Y{N} - SiasY{N};

%Oriëntatie segmenten t.o.v. de positieve x-as
RefBHoek{N} = atan2(KnieY{N},KnieX{N}); %benen
RefHHoek{N} = atan2(SiasY{N},SiasX{N}); %heup
RefRHoek{N} = atan2(TH1Y{N},TH1X{N}); %romp

%Coördinaten voet
VoetX{N} = BLengte{N} * cos(RefBHoek{N});
VoetY{N} = BLengte{N} * sin(RefBHoek{N});

%Lengtes segmenten
BBLengte{N} = sqrt(KnieX{N}^2 + KnieY{N}^2); %bovenbeen
HLengte{N} = sqrt(SiasX{N}^2 + SiasY{N}^2); %heup
RLengte{N} = sqrt(TH1X{N}^2 + TH1Y{N}^2); %romp

```

```

%% Retroflexie zonder kanteling
%Bepalen van de retroflexie in stappen van 1 graad tot horizontaal
Rflexie{N} = RefBHoek{N}; %referentiestand
MaxRflexie{N} = -1 * pi - Rflexie{N}; %maximale waarde
Stappen{N} = round(-1 * (MaxRflexie{N} / (pi/180))); %aantal stappen

%Bepalen van de anteflexie t.o.v. de referentie
Aflexie{N} = asin((BBLengte{N} * sin(Rflexie{N})) / BLengte{N}); %knie
gelijke hoogte als voet
Aflexie{N} = RefBHoek{N} - Aflexie{N};

%Bepalen wat de anteflexie is die bij de retroflexie hoort (stappen van 1
graad)
for K = 2:Stappen{N}
    Rflexie{N}(K) = Rflexie{N}(K-1) - (pi/180);
    Aflexie{N}(K) = asin((BBLengte{N} * sin(Rflexie{N}(K))) / BLengte{N});
    Aflexie{N}(K) = RefBHoek{N} - Aflexie{N}(K);
end

%Radialen omzetten naar graden
AF{N} = -1 * (Aflexie{N}/pi)*180;
RF{N} = 0:1:(Stappen{N}-1);
Tophoek{N} = AF{N} + RF{N};

%% Relatie zonder kantelingen
%Zoeken waar de tophoek gelijk voor het eerst >140 graden is
Voorwaarde{N} = find(Tophoek{N}>=140);

%Bepalen van de toename in anteflexie bij 1 graad retroflexie zonder
kanteling van de pelvis
for K = 2:Stappen{N}
    RelatieZonderAF{N}(K-1) = AF{N}(K) - AF{N}(K-1);
end

STDRelatieZonderAF{N} = std(RelatieZonderAF{N});
GemRelatieZonderAF{N} = mean(abs(RelatieZonderAF{N}));
End

%% Grafische weergave van de relatie tussen retroflexie & anteflexie zonder
kanteling
figure(1)
plot(RF{1}(1:Voorwaarde{1}(1,1)),AF{1}(1:Voorwaarde{1}(1,1)),'r')
hold on
plot(RF{2}(1:Voorwaarde{2}(1,1)),AF{2}(1:Voorwaarde{2}(1,1)),'k')
plot(RF{3}(1:Voorwaarde{3}(1,1)),AF{3}(1:Voorwaarde{3}(1,1)),'b')
plot(RF{4}(1:Voorwaarde{4}(1,1)),AF{4}(1:Voorwaarde{4}(1,1)),'m')
title(char('Relatie retroflexie & anteflexie zonder kanteling van de
pelvis','uitgangspunt is y-positie van de knie (retroflexie) gelijk aan y-
positie van de hiel (anteflexie)'))
xlabel('Retroflexie (graden)')
ylabel('Anteflexie (graden)')

%% Met kanteling van de heup
for N = 1:4
    %Toename anteflexie bepalen door kanteling (1 graad) en extra ruimte (door
retroflexie) op te tellen
    for K = 1:(Stappen{N}-1)
        RelatieZonderMetAF{N}(K) = RelatieZonderAF{N}(K) + 1;
    end
end

```

```

%Kanteling van de heup bepalen
for K = 1:(Voorwaarde{N}(1,1)-1)
    Kantelen{N}(K) = 140-Tophoek{N}(K); %aantal graden dat er vrij moet
                                     komen door het kantelen

    Teller = K;
    AantalKantelingen{N}(K) = 0;

while Kantelen{N}(K) > 0
    Kantelen{N}(K) = Kantelen{N}(K) - RelatieZonderMetAF{N}(Teller);
    Teller = Teller + 1; %kantelingen tellen
    AantalKantelingen{N}(K) = AantalKantelingen{N}(K) + 1;
end
end

%% Compensatie van de wervelkolom voor het kantelen van de heup
%Gemiddelde verplaatsing van de x-positie van TH1 per graad extensie van de
wervelkolom
HoekverdraaiingRompX{N} = (RLengte{N} * cos(50*(pi/180))) - (RLengte{N} *
    cos((51)*(pi/180)));

for K = 1:length(AantalKantelingen{N})
    RefRHoek2{N}(K) = RefRHoek{N} - (AantalKantelingen{N}(K) * (pi/180));
    %nieuwe oriëntatie heup
    TH1X2{N}(K) = RLengte{N} * cos(RefRHoek2{N}(K)); %nieuwe positie TH1 na
                                                    kanteling
    Verplaatsing{N}(K) = TH1X2{N}(K) - TH1X{N}; %verplaatsing x-positie TH1
    Extensie{N}(K) = Verplaatsing{N}(K) / HoekverdraaiingRompX{N};
end

%Bepalen van de toename in extensie bij 1 graad heupkanteling
for K = 1:length(AantalKantelingen{N})-1
    GemExtensie{N}(K) = Extensie{N}(K) - Extensie{N}(K+1);
end

STDExtensie{N} = std(GemExtensie{N});
GemExtensie{N} = mean(GemExtensie{N});
end

%% Grafische weergaven van de relatie tussen retroflexie & extensie van de
wervelkolom
figure(2)
plot(RF{1}(1:length(Extensie{1})),Extensie{1},'r')
hold on
plot(RF{2}(1:length(Extensie{2})),Extensie{2},'k')
plot(RF{3}(1:length(Extensie{3})),Extensie{3},'b')
plot(RF{4}(1:length(Extensie{4})),Extensie{4},'m')
title('Relatie retroflexie & extensie; uitgangspunt is TH1 altijd op
dezelfde x-positie')
xlabel('Retroflexie (graden)')
ylabel('Anteflexie (graden)')

```

H. Projectvoorstel

20-01-2016

1. Identiteit

Titel: Een modelmatige kwantificatie van de vereiste flexibiliteit voor de spagaat.

Naam: Catharina Cornelia de Vreede (roepnaam: Karen)

Studentnummer: 12017116

Email: k4eede@hotmail.com

Studiepunten: 142/136 STP (alles gehaald + extra studiepunten)

Intern/extern: Intern

Werkveld: Onderzoek

Beroepsrol: Onderzoeker/analist

2. Inleiding

In de turnwereld is lenigheid geen overbodige luxe. Alleen al voor het maken van een radslag, het uitvoeren van een spreidhang in de brug en het opgooien van een handstand is er een ruime beenspreiding vereist (figuur 1). Dit kan toenemen tot excessieve bewegingsuitslagen in de heup voor gymnastische houdingen zoals de spagaat.



Figuur 2: Links de radslag, in het midden een spreidhang, rechts een handstand. De rode lijn illustreert de beenspreiding.

Een onderzoek van Handa¹ toont aan dat de flexibiliteit naast kracht, snelheid en cardiovasculaire fitness een van de belangrijkste factoren is, die van invloed zijn op de prestatie in het turnen bij dames. Daarbij is de lenigheid van het heupgewricht niet alleen gecorreleerd aan de algemene prestatie ($r = -0.450$; $p < 0.01$), maar ook aan elk toestel afzonderlijk (sprong $r = -0.399$, $p < 0.01$; vloer $r = -0.451$, $p < 0.01$; brug $r = -0.373$, $p < 0.01$ en balk $r = -0.430$, $p < 0.01$). Om op hoog niveau succesvol te kunnen turnen, lijkt de spagaat daarmee een randvoorwaarde. Tijdens een spagaat wordt het ene been naar voren gebracht (anteflexie) en het andere been naar achter (retroflexie), beide ten opzichte van de romp. De benen maken een hoek, gedefinieerd als de tophoek, van 180° waarbij de romp voorwaarts is gericht (figuur 2). De schouders staan in dit geval haaks op de lengterichting van de benen. Het eventuele voorover kantelen van het bekken om te compenseren voor de beperkte retroflexie zal gecorrigeerd moeten worden met extensie in de rug. Een spagaat wordt afgewaardeerd als de schouders zich niet boven het bekken bevinden (figuur 3).



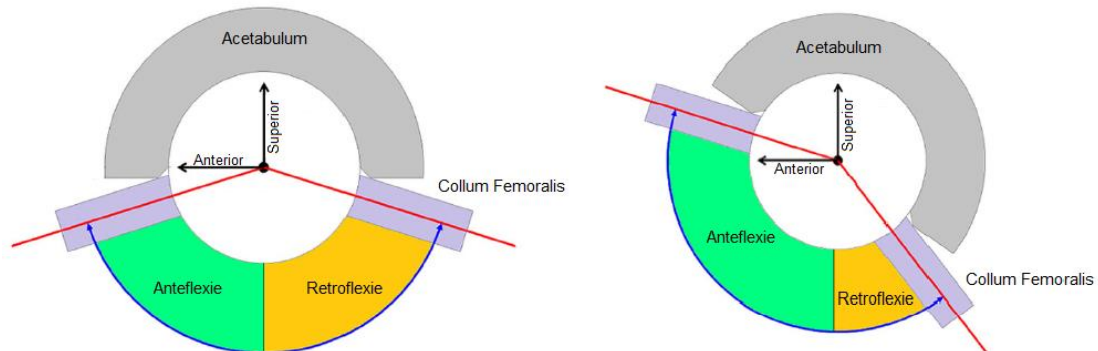
Figuur 2: Een correcte complete spagaat.



Figuur 3: Een afgewaardeerde spagaat.

Tijdens het geven van recreatieturnlessen is het opgevallen dat niet iedereen in staat is om een spagaat te maken en dat trainen voor elk individu andere resultaten oplevert. Er spelen volgens Dantas² vier factoren een rol als het gaat om de complexiteit van de flexibiliteit: de range of motion van een gewricht (47%), de elasticiteit van de spiercomponenten (41%), de weerstand geleverd door pezen welke niet kunnen uitrekken (10%) en de plasticiteit en huidplooien (samen 2%).

Het eerste mogelijke probleem dat ontstaat bij het uitvoeren van een spagaat betreft dus de anatomie van het heupgewricht. Een complete spagaat zou 90° zuivere anteflexie in het ene been en 90° zuivere retroflexie in het andere been eisen. Dit is in strijd met waarden die in de literatuur worden beschreven. Turley³ vermeldt een referentiewaarde van 120° voor zuivere anteflexie en 30° voor zuivere retroflexie. Dit heeft te maken met de oriëntatie van de kom (acetabulum) en kop (caput femoralis) van het heupgewricht in de ruimte, geïllustreerd in figuur 4. Uit het onderzoek van Turley³ is gebleken dat zuivere anteflexie wordt belemmerd door een botsing van het collum femoralis met het acetabulum en de retroflexie door de weerstand van weke delen. Als deze weke delen worden verwaarloosd, zou er pas een botsing van de botten ontstaan bij circa 75° retroflexie.



Figuur 4: Invloed van de oriëntatie van de kom (acetabulum) en kop (caput femoralis; collum femoralis is het verlengde van de kop wat het lichaam van het bot is) op de bewegingsuitslag in het heupgewricht. Links een gelijke verdeling over anteflexie en retroflexie, rechts de werkelijke verdeling in de anatomische stand.

Er zit echter een addertje onder het gras. De anteflexie is tot nu toe beschreven als het femur ten opzichte van het bekken, de geïsoleerde range of motion. Het percentage dat Dantas² benoemt (47%) slaat op het profiel van het enkele gewricht. In een spagaat is het echter van belang dat deze wordt uitgevoerd met een gestrekt been, volledige extensie in de knie. Er ontstaat een keten van gewrichten. Voor de maximaal haalbare bewegingsuitslag gaan spieren nu een significante rol spelen. In tabel 1 is te zien welke poly-articulaire spieren er betrokken zijn bij het uitvoeren van een spagaat als er wordt gekeken naar het heup- en kniegewicht. Op basis van de werklijn van de spier ten opzichte van de as van het gewricht is het gevolg op de spierlengte bepaald.

Tabel 1: De poly-articulaire spieren betrokken bij het uitvoeren van de spagaat en de invloed op de totale spierlengte.

	Musculus	Heupgewricht	Kniegewricht	Spierlengte
Voorste been	Biceps femoris	Verlengen	Verlengen	Extra lang
	Semitendinosus	Verlengen	Verlengen	Extra lang
	Semimembranosus	Verlengen	Verlengen	Extra lang
	Sartorius	Verkorten	Verlengen	Circa gelijk
	Gracilis	Verkorten	Verlengen	Circa gelijk
	Rectus femoris	Verkorten	Verkorten	Extra kort
Achterste been	Biceps femoris	Verkorten	Verlengen	Circa gelijk
	Semitendinosus	Verkorten	Verlengen	Circa gelijk
	Semimembranosus	Verkorten	Verlengen	Circa gelijk
	Sartorius	Verlengen	Verlengen	Extra lang
	Gracilis	Verlengen	Verlengen	Extra lang
	Rectus femoris	Verlengen	Verkorten	Circa gelijk

Uit tabel 1 kan worden opgemaakt dat er een mogelijkheid is dat de hamstrings (m. biceps femoris, m. semitendinosus en m. semimembranosus) en/of de m. rectus femoris een beperking geven in het voorste been. In het achterste been kan er een beperking ontstaan door de m. sartorius en/of de m. gracilis. Het ligt voor de hand dat de problemen zich eerder uiten in het voorste been, daar er anatomisch meer anteflexie dan retroflexie gemaakt kan worden. In de literatuur is er inderdaad gevonden dat de hamstrings er voor zorgen dat de anteflexie van de heup afneemt van 130° in het geïsoleerde heupgewicht⁴ tot circa 50°

wanneer de knie volledig in extensie staat.⁵ Het is duidelijk dat het anatomisch vrijwel onmogelijk is om met zuivere ante- en retroflexie een spagaat te maken. Als er slechts naar de bewegingsuitslag in de heup wordt gekeken, is er een maximale beenspreiding van 160° (130° anteflexie, 30° retroflexie) mogelijk in het sagittale vlak. Zodra de knie wordt meegenomen in de keten, neemt dit af tot circa 80° voor de gemiddeld lenige populatie.

Ondanks dat een spagaat op basis van de anatomie vrijwel onmogelijk lijkt, zijn er genoeg mensen die wel degelijk een spagaat kunnen uitvoeren. Het is dus duidelijk dat er geen zuivere bewegingsuitslagen worden uitgevoerd om tot een beenspreiding van 180° te komen. Een eerdere scriptie van Cozijnsen⁶ heeft laten zien dat er in het heupgewricht in beide benen ook abductie en exorotatie optreedt. Cozijnsen heeft de spagaat geanalyseerd met het 3D-optitracksysteem ten opzichte van de neutrale stand (anatomische houding). Deze bevindingen komen overeen met het recente onderzoek van Assasi en Magnenat-Thalmann⁷ waar dezelfde bewegingscomponenten zijn waargenomen met een MRI-scan ten opzichte van een overeenkomstige referentie. In tabel 2 zijn de resultaten van beide onderzoeken weergegeven. Er kan worden geconcludeerd dat het bekken niet loodrecht op de lengterichting van de benen staat. In het heupgewricht treedt er exorotatie op, maar de stand van de voet (voerste voet voetrug omhoog, achterste voet voetrug omlaag) verandert niet. Dit betekent dat het bekken moet zijn geroteerd, daar een eventuele rotatie van het femur niet kan worden gecompenseerd in het kniegewricht. Hier is namelijk geen rotatie mogelijk als de knie volledig in extensie staat.⁴

Tabel 2: Resultaten van de zuivere bewegingsuitslagen in het heupgewricht tijdens een spagaat met de proefpersoon in stand (de anatomische houding) als referentie.

	Component	Cozijnsen ^b	Assasi ^c
Heupgewricht; voerste been	Anteflexie	111°	132°
	Abductie	20°	30°
	Exorotatie	31°	14°
Heupgewricht; achterste been	Retroflexie	41°	<30°
	Abductie	43°	<30°
	Exorotatie	5°	<30°

Het is voor turn(st)ers, train(st)ers en het selecteren van talent relevant om te weten wie er wel en niet in staat zullen zijn om een spagaat te kunnen uitvoeren. Daarnaast is meer inzicht in deze houding ook interessant om na te gaan of er gericht op de spagaat kan worden getraind en de bijbehorende vraag waarop er dan getraind dient te worden. De hypothese uit het onderzoek van Cozijnsen,⁶ dat de horizontale abductie een goede voorspeller van de spagaat is, is niet bevestigd. De vraag met betrekking tot het wel of niet kunnen (voorspellen van het) uitvoeren van een spagaat blijft daarmee nog altijd onbeantwoord. In dit onderzoek zal de spagaat daarom worden geanalyseerd vanuit een andere invalshoek. Er zal een modelstudie worden opgezet. Hierbij wordt er uitgegaan dat er voor de spagaat een combinatie nodig is van drie componenten:

- Wat is de ratio tussen anteflexie, retroflexie en extensie in de wervelkolom voor het uitvoeren van een complete spagaat? Het gaat hierbij om de hefhoek van het voorste been (anteflexie) en achterste been (retroflexie) waarbij abductie en exorotatie zijn toegestaan en de benodigde extensie in de wervelkolom om de romp rechtop te positioneren.
 - Er wordt verwacht dat er een bepaalde ratio bestaat tussen de drie componenten waarbij gebrek aan de één kan worden gecompenseerd door een toename van de ander.
 - Tevens wordt er verwacht dat als de houding van de romp niet wordt meegenomen er een diepere spagaat wordt bereikt dan wanneer de schouders haaks op de lengterichting van de benen en boven het bekken staan.

3. Methode

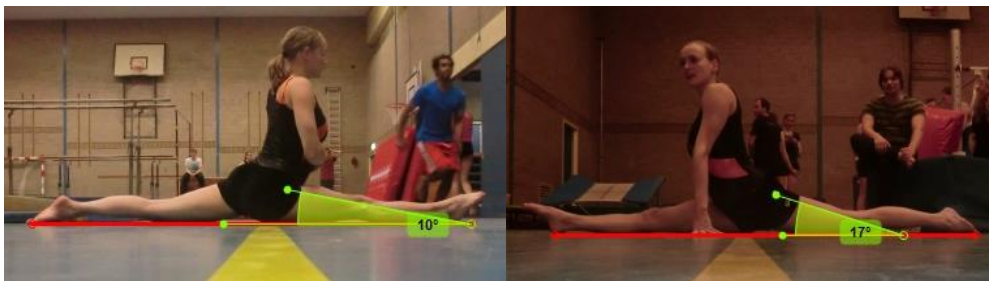
Een model van de spagaat moet illustreren welke mate van anteflexie, retroflexie en extensie in de wervelkolom er nodig is voor het uitvoeren van een complete spagaat.

- Modelstudie met behulp van Matlab (figuur 5);
 - Inputvariabelen;
 - Anteflexie (hefhoek voorste been), retroflexie (hefhoek achterste been).
 - Neutrale stand van het bekken, lengte van de romp (TH1 – L5).
 - Outputvariabelen;
 - Terugkoppeling of de spagaat wel/niet mogelijk is.
 - De maximale hoek (tophoek) tussen beide benen die maximaal haalbaar is.



Figuur 5: Eerste voorstelling van het model dat gebruikt zal worden in de modelstudie.

- Randvoorwaarden voor het model vaststellen;
 - TH1 moet zich boven de trochanter major bevinden voor een complete spagaat.
 - De tophoek tussen de femora kan anatomisch (uitzonderingen daargelaten) vrijwel nooit 180° bedragen, dus aan de hand van complete spagaten, welke zijn goedgekeurd door officiële juryleden, vaststellen wat deze hoek dan is.
 - Minimaal 10 complete spagaten op de foto zetten waarbij de trochanter major en de epicondylus lateralis zijn gemarkeerd. De spagaat wordt uitgevoerd op een lijn (referentie horizontaal) en de camera wordt aan beide kanten op dezelfde afstand geplaatst. In Kinovea wordt de hoek bepaald tussen de femora en de horizontaal wat leidt tot de tophoek.
 - Eén proefmeting heeft het volgende resultaat opgeleverd (figuur 6). Er ontstaat een tophoek van 153° wat in lijn lijkt te zijn met het resultaat van Cozijnsen⁶ waar de anteflexie en retroflexie samen 152° gaven. In het onderzoek van Assassi bedraagt deze circa 155°.



Figuur 6: Een spagaat met het voorkeursbeen van beide kanten gefotografeerd op gelijke afstanden (m.b.v. de belijning in de gymzaal). Links is het been met anteflexie, rechts met retroflexie. De tophoek is dan gelijk aan: $180^\circ - 17^\circ - 10^\circ = 153^\circ$.

- Model valideren;
 - Proefpersonen (turn(st)ers, minimaal een jaar ervaring, twee uur training per week) selecteren met verschillende uitvoeringen van de spagaat: in staat om een complete spagaat uit te voeren, twijfelgevallen en incomplete spagaten.

- Het streven is 10 personen per uitvoering van de spagaat. Alle spagaten worden beoordeeld op zicht door een officiële jury in bezit van een jurybrevet van de Koninklijke Nederlandse Gymnastiek Bond (KNGU) en uiteindelijk verdeeld in wel of geen complete spagaat.
- Per proefpersoon drie ROM-testen uitvoeren om de flexibiliteit in de heup te meten. Alles wordt in stand uitgevoerd met het bekken gefixeerd tegen de muur om rotatie om een longitudinale as te voorkomen. De hoek wordt gemeten ten opzichte van het bekken (marker op SIAS). Bij het femur zitten ze op de trochanter major en de epicondylus lateralis.
 - Anteflexie: hefhoek voorste been door middel van een straight leg test waarbij het bekken ook niet achterover kan kantelen door de hand achter de rug te houden.
 - Retroflexie: hefhoek achterste been, buikwaarts, het bekken tegen de muur.
 - Extensie: markers op TH1 en L5 en buikwaarts tegen de muur staan, daarna de rug extenseren zonder dat het bekken los komt. Het verschil in beide situaties ten opzichte van het bekken is de totale extensie.
 - Lengte wervelkolom: afstand van TH1 tot L5.
 - Modeluitkomsten op basis van de inputvariabelen vergelijken met de vooraf vastgestelde compleetheid van de spagaat. De mate van overeenkomst zegt iets over de validiteit. Daarnaast zal er gekeken worden wat de overeenkomst is in de tophoek die uit het model komt en die gemeten is. Dit geeft een afspiegeling van de betrouwbaarheid.
 - Als het model betrouwbaar en valide is, de spagaat kwantificeren en de hypothese toetsen;
 - De ratio van de drie verschillende componenten (anteflexie, retroflexie en extensie in de wervelkolom) vaststellen en deze kwantificeren. Dit zal de volgende vorm hebben: “een afname van 1° retroflexie kan gecompenseerd worden door een toename van 4° anteflexie en extensie.”
 - Onderzoeken of er een verschil bestaat in de tophoek met en zonder extensie in de wervelkolom.
 - Resultaten uit het model (tophoek) vergelijken als er slechts wordt gevarieerd met de extensie in de wervelkolom (geen versus extensie tot correcte houding). In SPSS de data verwerken. Een kolmogorov-Smirnov toets gebruiken om te onderzoeken of de data normaal verdeeld is. Een gepaarde T-toets kan gebruikt worden om een significant verschil aan te tonen.

4. Literatuurlijst

- [1] Handa JK. *Relationship of morphological, physiological and motor abilities with performance of Female gymnasts*. Ph. D. Thesis; Punjabi University Patiala, 2012.
- [2] Dantas EHM, Daoud R, Trott A, Nodari RJ Jr, Conceição MCSC. *Flexibility: components, proprioceptive mechanisms and methods*. Biomedical Human Kinetics. 2011;3:39-43.
- [3] Turley GA, Williams MA, Wellings RM, Griffin DR. *Evaluation of range of motion restriction within the hip joint*. Medical Biological Engineering Computation. 2013;51:467-477.
- [4] Paulsen F, Waschke J. *Sobotta: algemene anatomie en bewegingsapparaat*. Houten: Bohn Stafleu van Loghum; 2011.
- [5] Lagerberg A. *Short hamstrings? VERSUS*, tijdschrift voor fysiotherapie. 2000;5:231-257.

- [6] Cozijnsen J. *Range of Motion van de Spagaat*. Afstudeerscriptie; De Haagse Hogeschool, Bewegingstechnologie, 2015.
- [7] Assassi L, Magnenat-Thalmann N. *Assessment of cartilage contact pressure and loading in the hip during split posture*. International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery. 2015;1-12. Geraadpleegd; 13 december 2015. DOI:10.1007/s11548-015-1303-1.

5. Planning

Parallel aan het afstuderen wordt er nog een vak (biomechanica) gevolgd aan de VU ter voorbereiding op de onderzoeksmaster. De werkcolleges zijn hierbij verplicht. Daarnaast kent het vak twee tijdstipmomenten (deeltentamens). Hier is rekening mee gehouden in de planning.

	Acties	Biomechanica	Opmerkingen
Week 10	Rekrutering proefpersonen Contact juryleden Uitvoeren proefmeting	2u HC; 4u WC	
Week 11	Protocol optimaliseren Meting randvoorwaarden	2u HC; 2u WC	
Week 12	Randvoorwaarden bepalen		Deeltentamen 21/3
Week 13	Model programmeren	4u HC; 2u WC	Pasen
Week 14	Model programmeren Start model valideren	4u HC; 2u WC	
Week 15	Model valideren	2u HC; 4u WC	
Week 16	Model valideren	6u WC	
Week 17	Model valideren Ratio bepalen	2u HC; 4u WC	
Week 18	Ratio bepalen		Hemelvaart (geen turnen door meivakantie)
Week 19	Resultaten verwerken	2u HC; 6u WC	
Week 20	Resultaten verwerken Hypothese toetsen	2u HC; 2u WC	Pinksteren
Week 21	Conclusies trekken		Deeltentamen 24/4
Week 22	Afronden rapportage	2u HC	Nul versie scriptie
Week 23	Herschrijven rapportage		
Week 24	Afronden definitieve rapportage		Deadline scriptie: 15/6; 13.00
Week 25	Presentatie voorbereiden		Afstuderen

I. Competentieprofiel

Beroeps specifieke competenties
B1: Bewegingsanalyse: modelanalyse; De bewegingstechnoloog kan met behulp van theoretische, biomechanische, fysische en of andere modellen bewegingen analyseren.
Leerdoelen: Ik wil een model van de spagaat maken dat van voorspellend karakter is en deze gebruiken om de spagaat vervolgens te analyseren.
Acties: Een model maken in Matlab op basis van de werkelijkheid. Deze moet daarom opgebouwd zijn uit persoonskenmerken. Afhankelijk van vooraf vastgestelde randvoorwaarden moet het model voorspellen in welke mate er een complete spagaat kan worden uitgevoerd. Tevens is het model onderzoeksmateriaal om te kijken wat de ratio is van verschillende bewegingscomponenten voor het uitvoeren van een complete spagaat.
Evaluatie: Ik heb een model kunnen coderen in Matlab, maar ben hierbij niet altijd even zorgvuldig geweest. Het scheelt een hoop werk als elke stap grondig wordt gecontroleerd tijdens het programmeren in plaats van achteraf. In het vervolg zal ik deze aanpak, die ik pas heb toegepast tijdens het debuggen van een fout, vanaf het begin toepassen. Ik ben ik elk geval weer gegroeid in het programmeren (programmeertaal technisch) en het vertalen van bewegingen naar een model.
B3: Testen en onderzoeken; De bewegingstechnoloog kan op basis van een probleemstelling een onderzoek opzetten en uitvoeren op bewegingstechnologisch gebied. Dit kan zowel in de vorm van een theoretisch onderzoek (literatuurstudie en modelvorming) als in de vorm van een toegepast onderzoek (gebruikersonderzoek).
Leerdoelen: Ik wil op een systematische manier een modelstudie kunnen opzetten en uitvoeren wat nodig is voor mijn project.
Acties: Een model bedenken dat met bepaalde input tot de gewenste output leidt. Het model moet daarbij gevalideerd worden alvorens er conclusies mee getrokken mogen worden. Tot slot een plan opstellen om gestructureerd tot deze conclusie te kunnen komen.
Evaluatie: Het projectplan dat ik vooraf had opgesteld heeft mij goed geholpen tijdens de uitvoering. Ik wist altijd waar ik aan toe was en heb mijn afstuderen systematisch kunnen doorlopen. Door het model stap voor stap op te bouwen kon ik ook alles stap voor stap analyseren. Ik wist waar ik naartoe wilde, dus het was niet ingewikkeld om de resultaten te interpreteren en een conclusie te trekken. In het vervolg zal ik daarom deze aanpak volgen.

Algemene beroepsgerichte competenties
A6: Communicatie; De bewegingstechnoloog kan een heldere (bondige) rapportage opstellen en deze zowel mondeling als schriftelijk presenteren.
Leerdoelen: Ik wil mijn bevindingen bondig kunnen noteren, daar ik sterk geneigd ben om zaken (te) uitgebreid weer te geven.
Acties: Allereerst zelf al actief bezig zijn met het rapporteren en geschreven stukken nalezen en inkorten (waar mogelijk). Tijdens het proces terugkoppeling vragen op geschreven rapportages en tekst herschrijven zodra er wordt geconcludeerd dat het korter kan worden genoteerd. Een presentatie vervolgens voorbereiden voor minder tijd dan er beschikbaar is, want ook tijdens een presentatie wijd ik uit.
Evaluatie: Het presenteren van mijn projectplan was binnen de tijd, maar helaas iets té bondig waardoor ik enkele essentiële dingen vergeten was te vertellen. Dit kon ik achteraf tijdens de vragenronde weer rechtzetten. Bij mijn eindpresentatie ga ik daarom een nieuwe poging wagen: iets uitgebreider maar wel binnen de 10 minuten. Mijn scriptie is naar mijn mening bondig gerapporteerd. Ik ben onder het limiet van 30 pagina's gebleven zonder te hoeven inkorten. Na de nul versie bleek ik echter weer zaken te bondig te hebben geformuleerd. De samenvatting heb ik daardoor helemaal herschreven wat tot een beter resultaat heeft geleid. Ik ben mij ook bewust geworden van de volgorde waarop ik dingen formuleer. Ik beschreef vaak eerst de conclusie en dan volgde de uitleg, maar dit hoort feitelijk andersom.

Persoonsgebonden competenties
P10: Initiatief & aanpassingsvermogen; De bewegingstechnoloog toont initiatief, kan zich snel aanpassen aan veranderende werkomgevingen en kan op basis van doorzettingsvermogen prestatiegericht werken.
Leerdoelen: Ik wil beter leren omgaan met het afwijken van een 8 – 5 mentaliteit, het werken op verschillende locaties en het rekruteren van proefpersonen op eigen initiatief.
Acties: Een planning maken, maar niet in de stress schieten als het anders loopt dan verwacht. Hierbij moet ik ook niet bang zijn om zaken in het weekend en de avond in te plannen. Ik ben parallel aan het afstuderen bezig met een vak aan de universiteit en zal ook daar werken aan mijn afstuderen. Ik moet vroeg beginnen met het zoeken naar geschikte proefpersonen en uit mij zelf op deze mensen afstappen.
Evaluatie: Het is gelukt om zonder stress mijn scriptie op tijd af te ronden. Hiervoor heb ik inderdaad buiten 'kantoortijden' metingen gedaan en gerapporteerd. Naast het afstuderen heb ik ook het vak op de universiteit ruim voldoende afgesloten (8). Ik heb niet langer een 8 – 5 mentaliteit, maar ik werk nog wel het prettigste achter mijn eigen bureau. De rekrutering van proefpersonen is zonder problemen verlopen en veel ouders waren erg geïnteresseerd in het project. Dit heeft mij geleerd dat contact tot meer kan leiden dan slechts een handtekening voor het geven van toestemming.