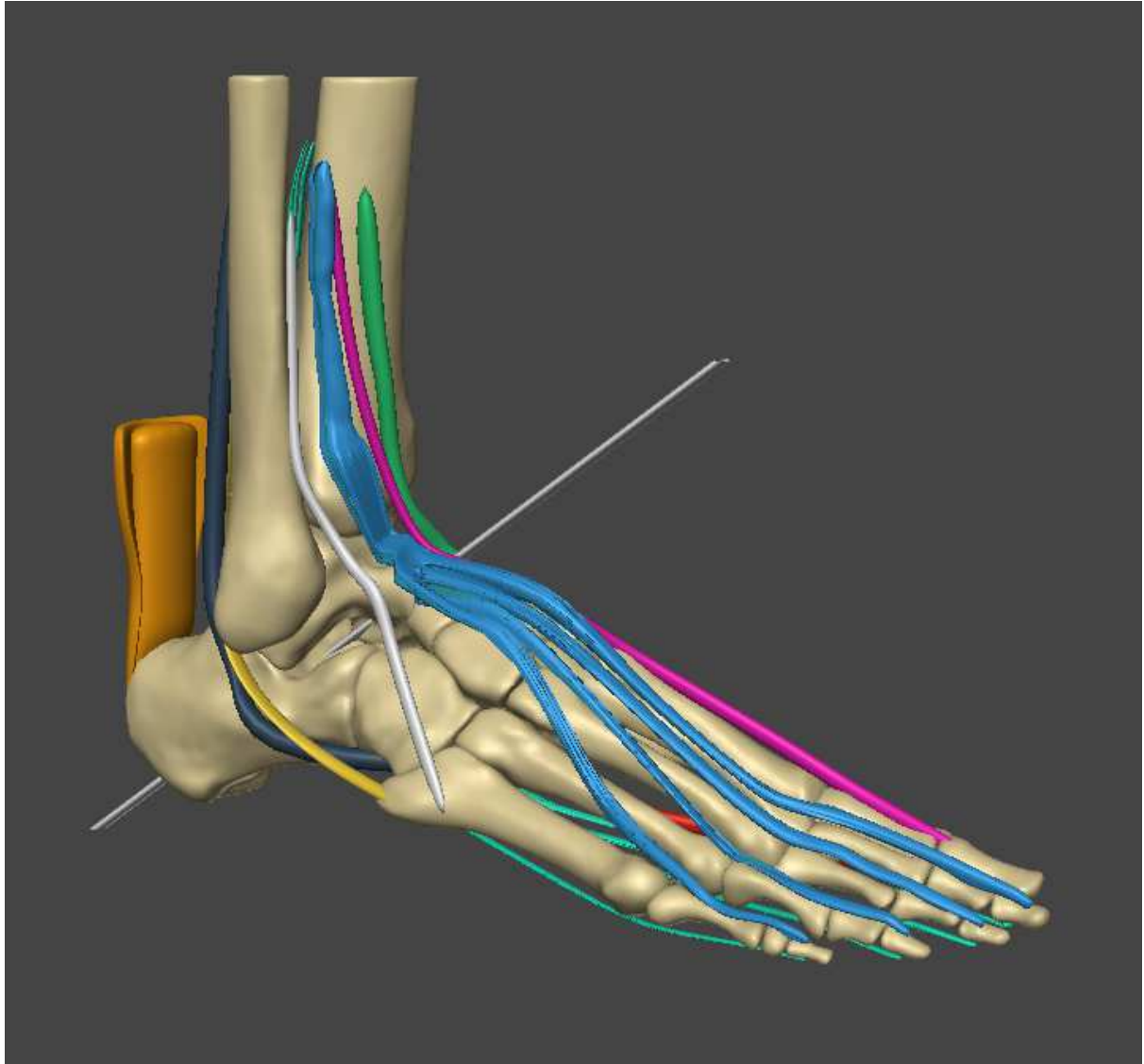


Pronatie en Supinatie in de Enkel

Een in situ studie naar de momentsarmen



Afstudeeronderzoek

Stephanie Erd

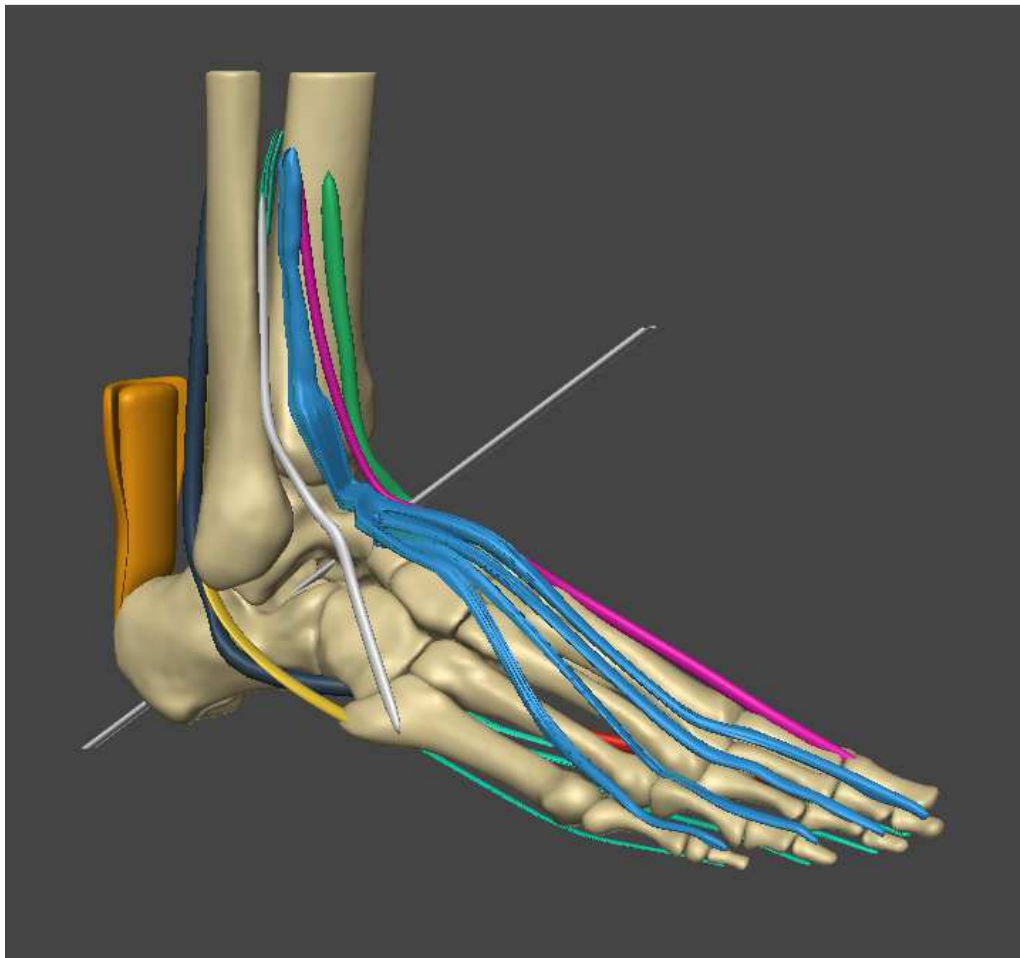
De Haagse Hogeschool

Bewegingstechnologie

Juni 2018

Pronatie en Supinatie in de enkel

Een in situ studie naar de momentsarmen



Afstudeeronderzoek

Stephanie Erd

Begeleiders

Drs. Henk Schutte

Liz Haverkate, Msc

De Haagse Hogeschool

Bewegingstechnologie

Juni 2018

Voorwoord

Voor u ligt het afstudeerwerk 'Pronatie en Supinatie in de Enkel, een in situ studie naar de momentsarmen'. Deze afstudeeropdracht is uitgevoerd aan De Haagse Hogeschool in samenwerking met de Vrije Universiteit Amsterdam. Dit is het resultaat van mijn afstuderen aan de opleiding Bewegingstechnologie aan De Haagse Hogeschool. Ik heb van 12 maart tot 13 juni aan dit onderzoek en het schrijven van dit verslag gewerkt.

Aan het begin van de afstudeerfase had ik niet verwacht wat voor opties dit onderzoek mij allemaal te bieden had. Maar met dank aan Henk en zijn contacten kreeg het project steeds meer vorm en toevoegingen. Bedankt voor de begeleiding en de uitdaging. Ik heb met veel plezier aan de verschillende onderdelen van dit afstudeerwerk gewerkt.

Bij dezen wil ik graag de medewerkers van de Vrije Universiteit Amsterdam bedanken voor alle geweldige hulp. Guus, bedankt dat je mij kennis hebt laten maken met Anim8or. Ik heb zelf mogen ondervinden hoe aanstekelijk jouw affectie en enthousiasme voor dit programma is. Leon, bedankt dat u niet schrok van de voeten en bereid was mij te helpen bij het plaatsen van de as. Jordi, bedankt voor je hulp bij het maken van de doorsneden en de praatjes op de snijzaal.

Tevens wil ik graag de medewerkers van De Haagse Hogeschool bedanken die mij in het voortraject en aan het begin van de afstudeerfase hebben begeleid. Manon, bedankt voor het beoordelen van mijn onderzoeksvoorstel en de zetjes in de goede richting. Hester, bedankt voor de helpende hand bij het beoordelen van het onderzoeksvoorstel en de begeleiding aan het begin van mijn afstudeerfase. Hopelijk zien wij elkaar weer bij het examengesprek. Liz, bedankt voor de feedback tijdens mijn presentatie van het projectplan en de nul-versie.

Tot slot wil ik Henk nogmaals hartelijk bedanken. Bedankt voor alle tijd en energie die u met mij in dit afstudeerwerk heeft gestoken. Bedankt dat dit mooie project ook mooi afgesloten is.

Ik wens u veel leesplezier toe.

Stephanie Erd

Den Haag, 13 juni 2018

Inhoudsopgave

VOORWOORD

SAMENVATTING - 3 -

INLEIDING - 4 -

LITERATUURONDERZOEK..... - 6 -

LIGGING COMPROMIS-AS - 6 -

ANIM8OR MODEL - 7 -

METHODE BEPALING MOMENTSARMEN - 9 -

METHODE VAN DE DOORSNEDE..... - 9 -

METHODE - 14 -

I. LIGGING VAN DE COMPROMIS-AS..... - 14 -

II. STANDEN VAN DE VOET - 14 -

III. DOORSNEDEN - 15 -

IV. MOMENTSARMEN BEPALEN..... - 16 -

DATA VOETPREPARATEN - 16 -

RESULTATEN - 17 -

DATAVERWERKING - 17 -

RESULTATEN..... - 19 -

DISCUSSIE - 21 -

CONCLUSIE - 24 -

LITERATUUR..... - 25 -

BIJLAGE I: MEETPROTOCOLLEN - 27 -

I. Compromis-As - 27 -

II. Pro en Supinatie - 28 -

III. Doorsneden - 29 -

IV. Momentsarmen - 30 -

BIJLAGE II: SNIJVLAKKEN EN PEESVERLOOP - 31 -

Dorsaalflexoren doorsnede - 31 -

Plantairflexoren - 32 -

Metatarsaal I doorsnede..... - 33 -

Triceps Surae doorsnede - 33 -

BIJLAGE III: DATACOLLECTIE - 34 -

Dorsaalflexoren..... - 34 -

Plantairflexoren - 35 -

Metatarsaal I - 36 -

Triceps Surae - 37 -

BIJLAGE IV: AANGEPASTE MOMENTSARMEN - 38 -

BIJLAGE V: ONDERZOEKSVOORSTEL - 40 -

BIJLAGE VI: PERSOONLIJKE LEERDOELEN - 43 -

Samenvatting

Pronatie en supinatie zijn bewegingen om een fysiologische as in de enkel. Wanneer deze bewegingen plaatsvinden om de compromis-as zoals beschreven door Isman & Inman (1969) kunnen spieren worden ingedeeld in pronatoren en supinatoren. De momenten van de pronatoren en supinatoren bepalen het effect van de spier op de beweging van de enkel.

Het accuraat kwantificeren van de momentsarmen is van groot belang bij het verplaatsen van pezen, het evalueren van behandelingen en het accuraat modeleren van voet- en enkel gedrag (McCullough, Ringleb, Arai, Kitoaka, & Kaufman, 2011). Daarnaast is het een interessant aspect uit educatief oogpunt.

Het doel van dit onderzoek is om de momentsarmen van pronatoren en supinatoren in de enkel in situ te meten. Ter visuele ondersteuning van de ligging van de pezen en momentsarmen ten opzichte van de compromis as wordt een digitaal model van de voet gebouwd. In het computerprogramma Anim8or zijn de voet, de compromis-as en de pezen van alle pronatoren en supinatoren opgenomen.

Voor dit onderzoek is de methode van de doorsnede ontworpen. Hierbij wordt een drie dimensionale analyse teruggebracht naar twee dimensies door doorsneden loodrecht op de compromis as te maken. Uit twee doorsneden worden de coördinaten van het intreden en uitreden van de pees ten opzichte van de compromis-as bepaald. Met deze twee coördinaten kan de werklijn van de pees worden bepaald en daarmee de momentsarm worden berekend.

De momentsarmen van de pronatoren en supinatoren in de enkel worden met acht doorsneden uit negen voetpreparaten bepaald. Deze zijn opgedeeld in drie standen. Zo kan de momentsarm van de pezen worden bepaald in pronatie, neutrale en supinatie stand van de voet.

Uit de resultaten is gebleken dat de methode van de doorsnede geschikt is om momentsarmen van spieren te bepalen. Zo zijn de verschillen tussen de gevonden momentsarmen van de flexor digitorum longus (verschil = $\pm 1-6$ mm), flexor hallucis longus (verschil = $\pm 2-12$ mm) en tibialis posterior (verschil = ± 3 mm) en de referentiewaarden uit de literatuur klein. De verschillen tussen de gevonden momentsarmen van de overige pezen waren echter wel groot.

De verschillen kunnen worden toegeschreven aan de locatie van de doorsneden. In dit onderzoek is geen rekening gehouden met het volledige peesverloop in de voet. Hierdoor is de richting van de werklijn van de spier geen correcte weergave van de realiteit. De afwijking van de werklijn heeft tot een overschatting van de momentsarmen geleid.

In het vervolg zullen doorsneden moeten worden gekozen waarin de gehele werklijn van de spier wordt gerepresenteerd. Hiervoor wordt het intreden van de pees gemeten rond de malleoli en het uittreden kort voor de insertie plaats of phalanges.

De methode van de doorsnede is een mogelijke manier om meer data te verzamelen over de momentsarmen van spieren betrokken bij de pronatie en supinatie beweging van de enkel. Vervolgonderzoek moet uitwijzen of de aangepaste locatie van de doorsnede leidt tot momentsarmen die overeenkomen met de referentiewaarden. Daarnaast zal vervolgonderzoek ook de betrouwbaarheid en validiteit van deze methode moeten bewijzen.

Inleiding

Iedereen doet het en niemand staat er bij stil, de pronatie en supinatie van de enkel. Een combinatie beweging die het de mens mogelijk maakt met een soepel gangpatroon over straat te gaan. De pronatie en supinatie beweging, beiden opgebouwd uit drie basisbewegingen in de enkel, zijn hierbij tegengesteld van elkaar.

Uitgaande van een anatomische houding van de mens waarbij de voeten plat op de horizontaal worden geplaatst, kan de pronatie beweging worden opgedeeld in dorsaal flexie in het sagittale vlak, abductie in het transversale vlak en eversie van de voet in het frontale vlak. De tegenhanger hiervan, de supinatie beweging, kan worden opgedeeld in plantairflexie, adductie en inversie van de voet (Hertel, 2002).

Hoewel deze bewegingen te beschrijven zijn met behulp van drie losse bewegingen, elk om een eigen theoretische as, wordt door verschillende auteurs een beweging om een combinatie as aangenomen (Isman & Inman, 1969). Een compromis-as waar omheen de pronatie en supinatie beweging van de enkel plaatsvindt.

In het onderzoek van Bruckner (1993) worden verschillende mogelijke vormen en oriëntaties van deze compromis-as beschreven. Zo introduceren Isman & Inman (1969) een oriëntatie van een enkele, gemiddelde, rechte as. Dit wordt ondersteund met bevindingen van Manter (1941) en Root et al. (1966). Engsberg (1987), Siegler et al. (1988) en Kirby (1989) beschrijven een bewegelijke of meervoudige as. Dit principe is echter nog niet volledig onderzocht. Daarnaast zorgt het dynamische aspect van dit principe ervoor dat de validiteit van in situ onderzoek in twijfel kan worden getrokken. Tot slot wordt nog het Mann-Inmann model (1964) besproken. Waarbij de ligging van de as ten opzichte van de beweging van de enkel (in vivo) wordt beschreven (Bruckner, 1993).

Uitgaande van de ligging van de compromis-as beschreven door Isman & Inman (1969), zoals in het boek Anatomie in Vivo (Gerritsen, Berger, Elshoud, & Schutte, 2016), kunnen de betrokken spieren in het onderbeen verdeeld worden over pronatoren en supinatoren. Tot de pronatoren behoren de extensor digitorum longus, extensor hallucis longus, peroneus longus, peroneus brevis, peroneus tertius en de tibialis anterior. Tot de supinatoren behoren de flexor digitorum longus, flexor hallucis longus, tibialis posterior, gastrocnemius en soleus (ook wel samen de Triceps Surae).

Het effect van de pronatoren en supinatoren kan worden beschreven door het moment dat deze spieren in de enkel leveren. Hierbij zijn de kracht die de spier kan leveren en de momentsarm van belang. De momentsarmen hebben de invloed van spier op skelet en skelet op spier (Klein, Mattys, & Rooze, 1996). Het accuraat kwantificeren van de momentsarmen is van groot belang bij het verplaatsen van pezen, het evalueren van behandelingen en het accuraat modeleren van voet en enkel gedrag (McCullough, Ringleb, Arai, Kitoaka, & Kaufman, 2011). Daarnaast is het een interessant aspect uit educatief oogpunt.

In het boek *Anatomie in Vivo* (Gerritsen, Berger, Elshoud, & Schutte, 2016), zijn van een aantal spieren de momentsarmen opgenomen. In het geschetste overzicht van momentsarmen ontbreekt echter de data van de extensor hallucis longus en Triceps Surae. De opgenomen momentsarmen zijn gebaseerd op het interactieve simulatieprogramma (SIMM) van Delp et al. (1990). In dit computermodel is het mogelijk om van elke willekeurige spier in het lichaam de momentsarmen te simuleren en te berekenen. Dit programma is gebaseerd op meting verkregen uit een enkel preparaat.

Om een aanvulling te bieden op de in het boek *Anatomie in Vivo* weggelaten momentsarmen en een in situ gemeten onderbouwing van de in SIMM gegenereerde resultaten te bieden, wordt onderzoek gedaan naar de momentsarmen van de pronatoren en supinatoren van de enkel.

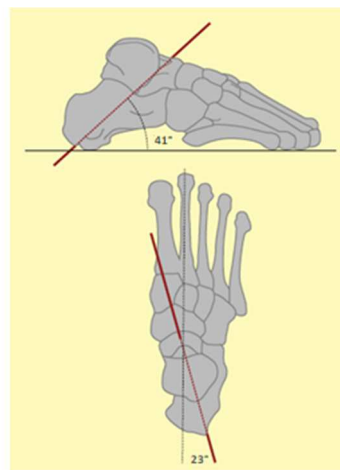
Het doel van dit onderzoek is om de momentsarmen van alle pronatoren en supinatoren te meten. Hier zal een literatuuronderzoek aan vooraf gaan waarin de ligging van de compromis-as en een geschikte meetmethode in situ worden gevonden. Gevolgd door metingen in situ en een analyse van de momentsarmen.

Literatuuronderzoek

In de volgende hoofdstukken worden de conclusies gegeven van het literatuuronderzoek. Hier zijn antwoorden gevonden op de volgende twee onderzoeksvragen: 'Wat is de ligging van de compromis-as voor pronatie en supinatie?' en 'Hoe kunnen de momentsarmen van de pezen die zijn betrokken bij de pronatie en supinatie beweging in de enkel worden bepaald?'.

Ligging compromis-as

Isman & Inman hebben in 1969 de ligging van de as van het talocalcaneale gewricht als volgt onderzocht en beschreven. Hierbij gaat het om een gemiddelde ligging bepaald uit 46 preparaten. De ligging van deze compromis-as is bepaald door de ontworpen Talus stevig tegen de calcaneus te houden en te roteren. Het punt dat superieur op de Talus het minst oogt te roteren wordt als superieure uitgang van de compromis-as beschouwd. Het inferieure uitgangspunt van de as is gevonden door een klein stuk draad in het kraakbeen van de posterieure gewrichtsfacet van de calcaneus in te brengen. De Talus is vervolgens wederom stevig tegen de calcaneus aangehouden en geroteerd. Hierbij markeert de draad de boog van de beweging in het kraakbeen van de Talus. Het hieruit afgeleide centrum van rotatie wordt aangenomen als de inferieure uitgang van de compromis-as. De as is door deze twee punten door Talus en calcaneus geboord (Isman & Inman, 1969). De gemiddelde ligging van de as is weergegeven in Afbeelding 1.



Afbeelding 1: Ligging compromis-as (Tanaka & Mason, 2011).

In de beschrijving van de ligging van de compromis-as wordt uitgegaan van een normale voet. Deze wordt plat op de ondergrond geplaatst en de tibia maakt een hoek van 90° met de horizontaal. De compromis-as ligt onder een hoek van 41° met de horizontaal en wijkt 23° van de longitudinale as naar mediaal af. De longitudinale as loopt door het midden van de calcaneus en tussen de tweede en derde teen door. De as heeft een opwaarts en mediaal verloop in de voet en ligt 8 mm ventraal van het meest distale punt van de laterale malleoli (Isman & Inman, 1969).

De door Isman & Inman (1969) beschreven ligging van de compromis-as vormt de basis in verschillende artikelen met name in onderzoeken naar de kinematica van het talocrurale en subtale gewricht (Sheehan, Seisler, & Lohmann Siegel, 2007) en naar momenten van de pronatie en supinatie beweging (Fong, Chung, Chan, & Chan, 2012). Ook in onderzoeken naar enkel stabiliteit (Hertel, 2002), (Tanaka & Mason, 2011), blessures (Fong, Chan, Mok, Yung, & Chan, 2009) en training methodes (Hagen, et al., 2015) wordt deze beschrijving aangehaald.

Daarnaast wordt deze omschrijving ook gebruikt in de 'Software for interactive Musculoskeletal Modeling' (SIMM) (Delp, et al., 1990). SIMM is een programma wat het modeleren, animeren en de analyse van drie dimensionale musculoskeletale systemen mogelijk maakt. Bovendien is het mogelijk om van het musculoskeletale model de gewrichtsmomenten van elke spier in elke gewenste positie te berekenen (Motion Analysis, 2018). De data van de tabellen uit het boek Anatomie in Vivo is gebaseerd op in SIMM gevonden waarden.

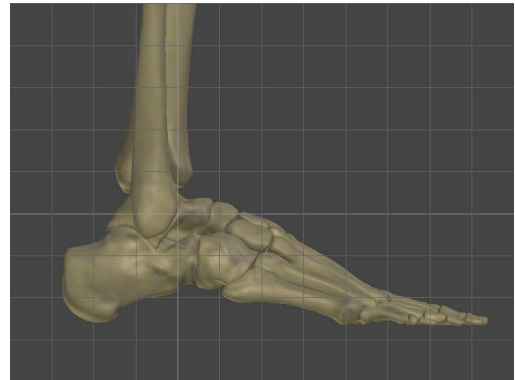
De ligging van de compromis-as beschreven door Isman & Inman (1969) zal in dit onderzoek worden gebruikt.

Anim8or Model

Om beter inzicht in het verloop van de pezen in de voet te verkrijgen wordt met behulp van het animatie programma 'Anim8or' een digitaal model van de voet en diens pezen ontworpen.

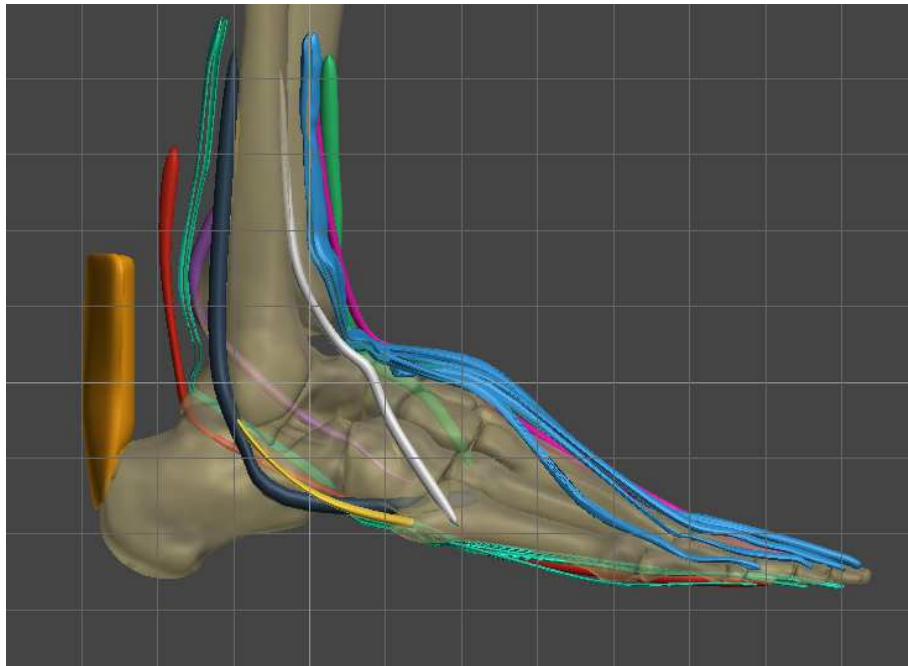
De basis voor dit model is de voet in neutrale stand, Afbeelding 2. Aan dit model worden de pezen van de bij pronatie en supinatie betrokken spieren toegevoegd.

Hierbij wordt het verloop van de spieren zo anatomisch correct mogelijk rond de voet gemodelleerd.



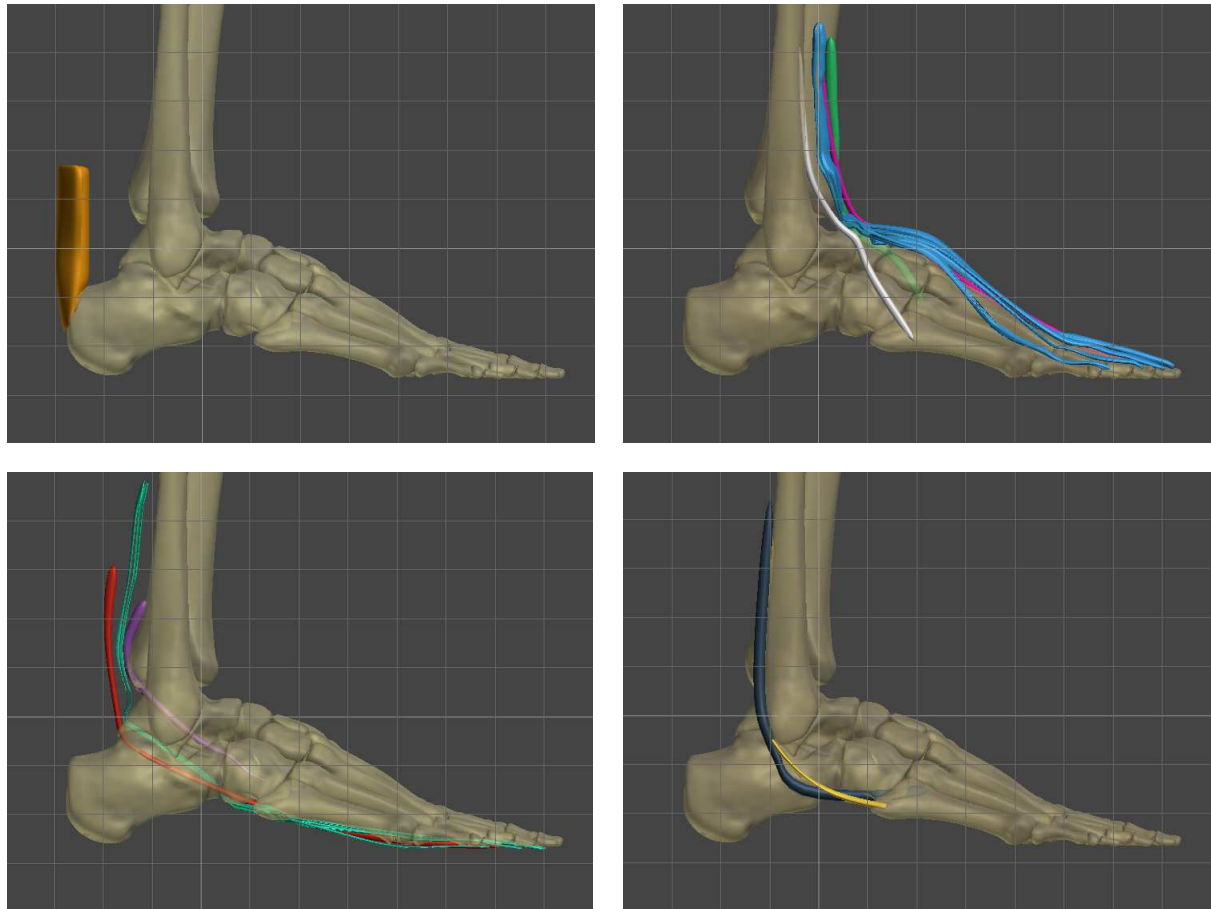
Afbeelding 2: Basis digitale model (Anim8or).

Het complete model met alle pezen ziet er als volgt uit, Afbeelding 3.



Afbeelding 3: Model met alle pezen.

Om het overzicht te bewaren worden de pezen in vier groepen verdeeld. De Oppervlakkige Flexoren, de Diepe Flexoren, de Extensoren en de Peroneus groep. De groepen en de daarbij ingedeelde pezen zijn weergegeven in onderstaande Afbeelding 4.



Afbeelding 4: De vier Spiergroepen.
Oppervlakkige Flexoren (linksboven):
 Gastrocnemius en soleus (oranje).

Diepe Flexoren (linksonder):
 Flexor digitorum longus (turquoise), flexor hallucis longus (rood) en tibialis posterior (paars).

Extensoren (rechtsboven):
 Extensor digitorum longus (blauw), extensor hallucis longus (roze), peroneus tertius (wit), en tibialis anterior (groen).
Peroneus (rechtsonder):
 Peroneus longus (zwart) en peroneus brevis (geel).

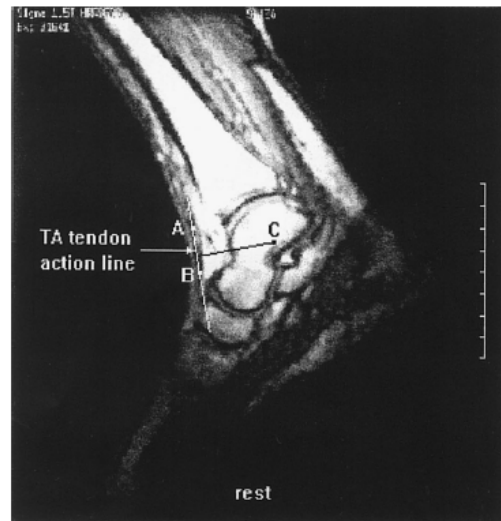
Dit digitale model zal ook worden gebruikt om de vinding momentsarmen van de pezen visueel te onderbouwen.

Methode bepaling momentsarmen

De ontworpen methode is gebaseerd op het onderzoek van Maganaris (2000, 2004). Hierbij is gebruik gemaakt van MRI-scans om de momentsarm van de pees van onder andere de tibialis anterior ten opzichte van de talocrurale gewrichtsas te bepalen.

Zoals weergegeven in Afbeelding 5, wordt de momentsarm van de tibialis anterior, vanaf het centrum van de gewrichtsas, loodrecht op de werklijn van de spier gemeten.

In dit onderzoek kan, in tegenstelling tot het onderzoek van Maganaris, geen gebruik worden gemaakt van MRI-scans. Hier is gekozen voor een soortgelijke methode. Omdat een MRI-scan beschouwd kan worden als een non-invasieve doorsnede van de voet, kan de methodologie worden toegepast op een daadwerkelijke doorsnede van de voet. In dit onderzoek wordt gebruik gemaakt van doorsneden van de voet.



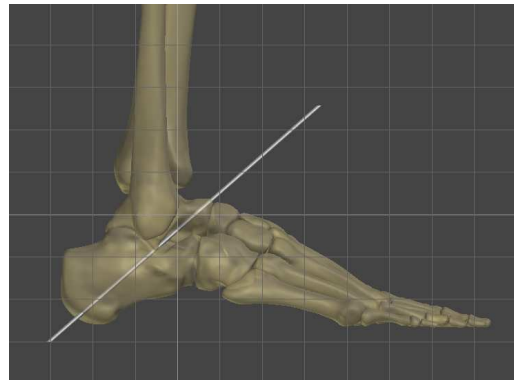
Afbeelding 5: Momentsarm bepaling met behulp van MRI-scans van de enkel (Maganaris C. , 2000), (Maganaris C. , 2004).

Methode van de doorsnede

In dit onderzoek wordt aan de hand van de doorsneden de coördinaten van de pezen en bijbehorende momentsarmen bepaald. Deze doorsneden worden loodrecht op het verloop van de compromis-as gemaakt. Door de verplaatsing van de pees in de doorsnede te meten kan de positie van de pees ten opzichte van de compromis-as worden berekend. Het principe van de methode van de doorsnede wordt aan de hand van het Anim8or model uitgelegd.

Neutrale stand Voet

In Afbeelding 6 is de voet met de daarin gelegen compromis-as (wit) weergegeven. Deze opstelling vormt de basis van de methode waarbij de momentsarmen van de pezen rond de compromis-as worden gemeten.



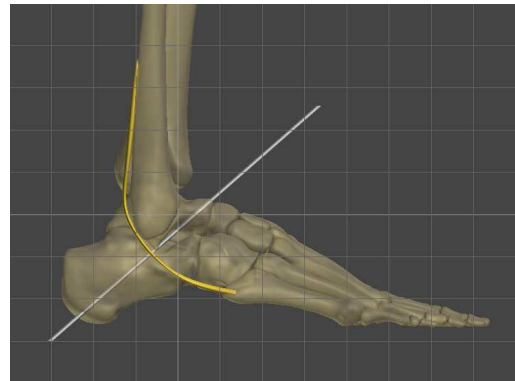
Afbeelding 6: Voet met compromis-as.

Peesverloop in de voet

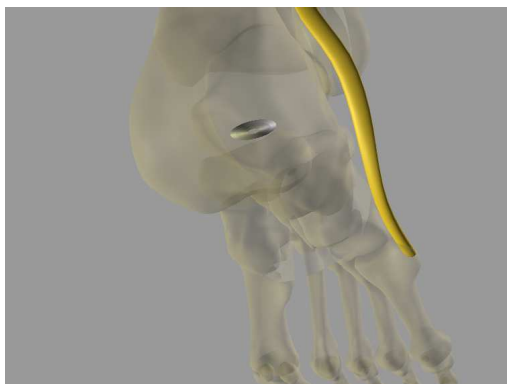
Om de methode van de doorsnede uit te leggen wordt als voorbeeld de pees van de peroneus brevis (geel) aan het model toegevoegd. De volgende Afbeelding 7 wordt dan verkregen.

Het peesverloop van de pronatoren en supinatoren is anatomisch correct in het Anim8or model opgenomen.

Omdat vanuit dit aanzicht de afstand tussen pees en compromis-as lastig in te schatten is wordt het aanzicht gewijzigd.



Afbeelding 7: Voet met compromis-as en fibularis brevis.



Afbeelding 8: Doorsnede Voet met compromis-as en peroneus brevis.

Doorsnede loodrecht op Compromis-as

Om niet alleen de ligging ten opzichte van de pees te verduidelijken maar ook de analyse van de afstanden tussen de pezen en de compromis-as te versimpelen, wordt gekozen voor een aanzicht loodrecht op de ligging van de compromis-as.

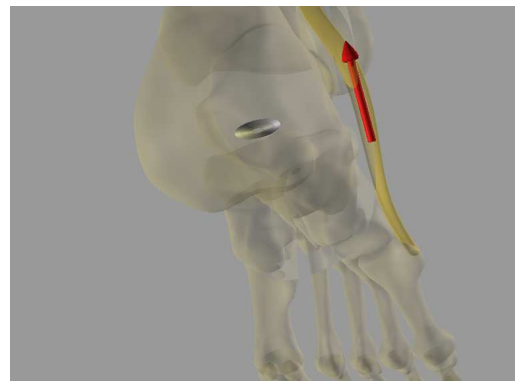
Dit betekent dat de doorsneden loodrecht op de ligging van de compromis-as gemaakt zullen worden. Hierbij kan de compromis-as als punt worden aangezien, Afbeelding 8.

Momentsarm in de doorsnede

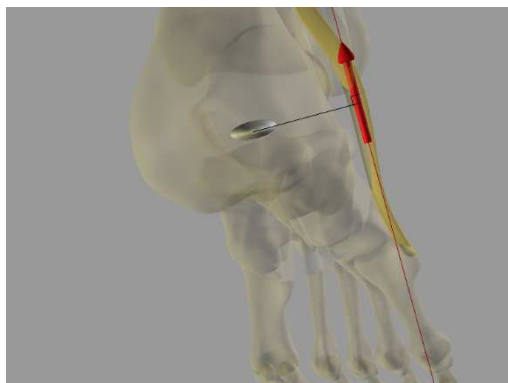
Om de momentsarm van de peroneus brevis te bepalen zal eerst de richting van de kracht moeten worden bepaald. Deze richting is aangegeven met een pijl (rood), Afbeelding 9.

Het begin en einde van de pijl geven het in- en uittreden van de pees in de doorsnede weer.

De lengte van de momentsarm, de afstand tussen de as en de pijl, wordt aan de hand van de coördinaten van het intreedpunt en uittreedpunt van de pees en de coördinaten van de compromis-as berekend.



Afbeelding 9: Kracht richting van de peroneus brevis ten opzichte van de compromis-as.



Afbeelding 10: Momentsarm peroneus brevis ten opzichte van de compromis-as.

Hierbij wordt het deel van de pees tussen intreden en uittreden als lijn beschouwd en wordt de loodrechte afstand (zwart) van de compromis-as tot deze lijn berekend, Afbeelding 10. Deze afstand is de momentsarm van de pees tot de as.

De lengte van de momentsarm wordt berekend aan de hand van formules die in het volgende onderdeel worden beschreven.

Berekening van de momentsarm

Door de doorsneden loodrecht op de ligging van de compromis-as te maken, kan de volgende analyse in twee dimensionaal vlak plaatsvinden. Hierbij wordt de compromis-as beschouwd als punt in plaats van lijn.

In de eerste doorsnede worden de coördinaten (x,y) van de compromis-as (C) en het intreden (A) van de pees bepaald, Afbeelding 11 (1).

Hierbij zijn de Y-coördinaten de afstanden van de onderrand van de doos tot aan het centrum van het punten. De X-coördinaten worden met behulp van de stelling van Pythagoras bepaald.

$$Ax = \sqrt{Az^2 - (Ay - Cy)^2}$$

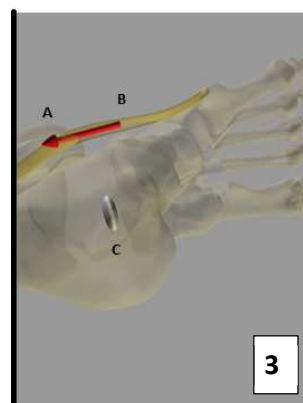
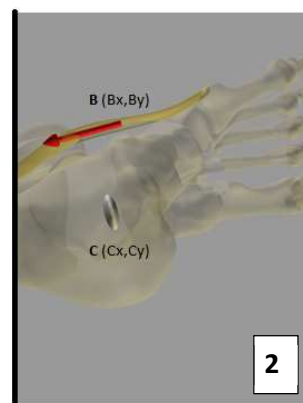
In de tweede doorsnede worden de coördinaten van de compromis-as (C) en het uittreden van diezelfde pees (B) op zelfde wijze bepaald, Afbeelding 11 (2).

De X-coördinaten van punt A en B worden ten opzichte van de X-coördinaat van punt C beschreven. Hierbij geldt $Cx = 0$.

De coördinaten kunnen als volgt worden beschreven:

$$A = \begin{pmatrix} Ax \\ Ay \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} Bx \\ By \end{pmatrix}; C = \begin{pmatrix} Cx \\ Cy \end{pmatrix}$$

Het geheel kan hiermee in twee dimensies worden verwerkt. Alle drie gevonden punten zijn in een afbeelding weergegeven, Afbeelding 11 (3).



Om de verplaatsing van de pees van A naar B weer te geven wordt een lijn door punt A en punt B getekend, Afbeelding 11 (4). De richting van deze lijn wordt gegeven door de vector AB.

$$AB = \begin{pmatrix} Bx - Ax \\ By - Ay \end{pmatrix}$$

Hierbij valt op dat de afstand tussen het uittreden van de pees (B) en de compromis-as groter is dan de afstand tussen het intreden van de pees (A) en de compromis-as. Er is dus sprake van een verplaatsing van de pees tussen de twee doorsneden.

Omdat de momentsarm loodrecht van de compromis-as (C) op de werklijn van de spier (AB) moet staan, wordt de normaalvector (N) van AB berekend, Afbeelding 11 (5). Hierbij dienen de X- en Y-waarden van de vector te worden omgedraaid.

$$N = \begin{pmatrix} By - Ay \\ Ax - Bx \end{pmatrix}$$

Om aan de hand van de normaalvector de afstand tussen Lijn AB en de compromis-as (C) te berekenen zal eerst de genormeerde normaalvector (N_0) moeten worden bepaald, Afbeelding 11 (6).

$$N_0 = \frac{N}{|N|}$$

Hierbij wordt de lengte van N ($|N|$) berekende met de stelling van Pythagoras.

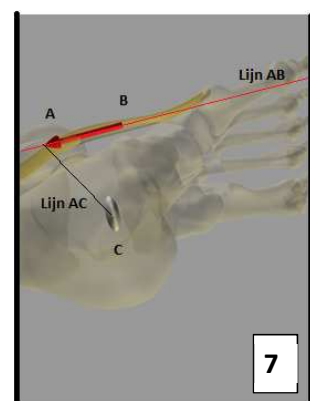
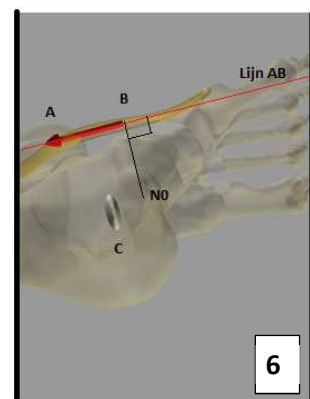
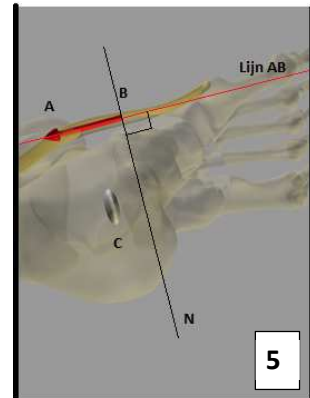
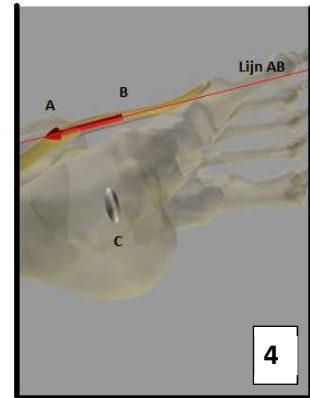
$$N_0 = \frac{1}{\sqrt{(By - Ay)^2 + (Ax - Bx)^2}} * N$$

De genormeerde normaalvector heeft dezelfde richting als de normaalvector, loodrecht op lijn AB, maar heeft een lengte van 1.

Om de juiste afstand tussen punt C en de Lijn AB te bepalen dient de genormeerde normaalvector te worden vermenigvuldigd met de vector van een willekeurig punt op de Lijn AB naar punt C.

In dit geval wordt voor dit punt op Lijn AB, punt A gekozen. De oriëntatie van de vector van punt A naar punt C (AC) wordt als volgt weergegeven, Afbeelding 11 (7).

$$AC = \begin{pmatrix} Cx - Ax \\ Cy - Ay \end{pmatrix}$$

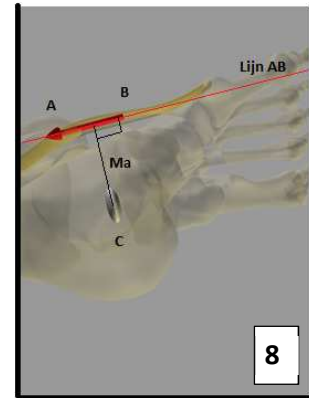


Tenslotte wordt de absolute afstand van punt C loodrecht op Lijn AB berekend, Afbeelding 11 (8). Dit is de momentsarm (M_a).

$$M_a = |AC * N_0|$$

De berekende momentsarm wordt uitgedrukt in centimeters omdat de ingevoerde coördinaten (x,y) ook in centimeters worden uitgedrukt.

Hoewel de coördinaten (x,y) voor punten A,B en C per peesverloop variëren blijft de berekening van de momentsarm voor elke spier gelijk.



Afbeelding 11: Berekening van de momentsarm.

Methode

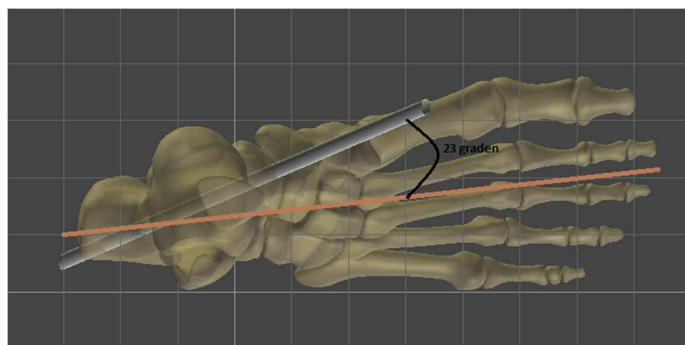
Het doel van dit onderzoek is de momentsarmen uit doorsneden van de voet te bepalen. De doorsneden worden loodrecht op het verloop van de compromis-as gemaakt. Hierbij worden van negen voetpreparaten de momentsarmen van de pezen in drie standen onderzocht: pronatie, neutrale en supinatie stand.

Om doorsnedes loodrecht op de compromis-as te kunnen maken worden een aantal opeenvolgende onderdelen doorlopen. Te beginnen bij het vaststellen van de ligging van de compromis-as.

De meetprotocollen die in deze onderdelen worden gebruikt zijn opgenomen in Bijlage I: Meetprotocollen. In onderstaande teksten wordt een samenvatting van de beschreven handelingen gegeven.

I. Ligging van de compromis-as

Twee gradenbogen worden gebruikt om de ligging van de compromis-as in elk preparaat vast te stellen. Hierbij wordt de voet in neutrale stand op de eerste gradenboog geplaatst. Het is van belang dat de longitudinale as door het midden van de calcaneus en tussen de tweede en derde teen door loopt, zie Afbeelding 12 (links). De 23° lijn geeft het verloop van de compromis-as naar mediaal weer.



Afbeelding 12: Verplaatsing Longitudinale as naar mediaal (links), verplaatsing horizontale as naar proximaal (rechts).

Vervolgens wordt de tweede gradenboog langs de zijden van de voet geplaatst. Hierbij wordt de verplaatsing van de compromis-as naar 41° proximaal gevonden, Afbeelding 12 (rechts). Beide gradenbogen samen geven de medio-proximale ligging van de compromis-as weer zoals door Isman & Inman (1969) beschreven. Het in- en uittreden van de as wordt gemarkeerd.

Vervolgens worden de voetpreparaten in ingevroren neutrale stand, aan de hand van de markeringen, doorboord. Een zes mm dikke houten staaf wordt aangebracht ter representatie van de compromis-as. Alle bewegingen van de voet zullen nu rond deze gefixeerde compromis-as plaats vinden.

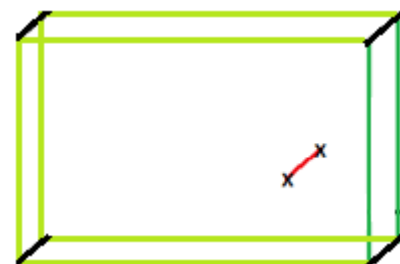
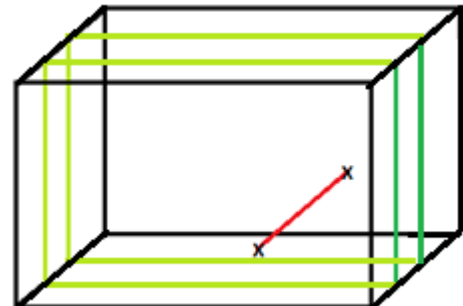
II. Standen van de voet

Om de momentsarmen in drie verschillende standen, pronatie, neutraal en supinatie, te onderzoeken worden drie voetpreparaten, elk in een van de drie standen gebracht. Zodat de preparaten zonder hulpmiddelen in desbetreffende stand kunnen worden gefixeerd, dienen de deze ingevroren te zijn. Hiervoor worden de voetpreparaten ontdooit en in maximale pronatie, neutrale of supinatie stand gebracht. De maximale stand wordt visueel bepaald. Daaropvolgend worden touwen gespannen tussen prominente botpunten om de stand te behouden.

Wanneer de voetpreparaten zijn ingevroren worden de schroeven verwijderd. Hierdoor leveren deze geen problemen op tijdens het doorzagen. Het is belangrijk dat de voetpreparaten in de bepaalde stand blijven, zodat er tijdens de voorbereidingen geen hoek veranderingen optreden.

III. Doorsneden

Elk preparaat wordt ingevroren in een rechthoekige doos geplaatst. Hierbij loopt de compromis-as loodrecht door twee overstaande zijden van de doos, zie Afbeelding 13 (rood). Wanneer vervolgens de doorsnede parallel aan een van deze zijden van de doos wordt gemaakt (groen), wordt automatisch een doorsnede loodrecht op de compromis-as gegenereerd (groen).



Afbeelding 13: Doorsnede bepaling doos met compromise-as.

Om het preparaat in de doos te fixeren wordt deze met porschuim opgevuld. Het preparaat zal zich hierdoor tijdens het maken van de doorsneden niet kunnen verplaatsen.

De hoogte van de te maken doorsneden wordt op de zijde parallel aan de compromis-as genoteerd. Omdat niet alle pezen in elke doorsnede zichtbaar zullen zijn worden acht verschillende doorsneden gemaakt. Deze zijn gebaseerd op de doorsnedes weer gegeven in Bijlage II: Snijvlakken en Peesverloop. Hier is ook met een rode staaf de aangenomen werklijn van de pees in de doorsnede weergegeven.

Iedere doorsnede heeft de lokalisering van een samenstelling van spieren als doel. De doorsneden luiden als volgt:

Tabel 1: Doorsneden oriëntatie.

DOORSNEDE	SPIEREN	PROXIMAAL	DISTAAL
DORS FLEX	EDL, EHL, PT, TA	Ventraal van ventrale zijde tibia	Gewrichtsspleet os Cuneiforme mediale en Metatarsaal I
PLANT FLEX	FDL, PB, TP	Ventraal van dorsale zijde malleolus laterale	Proximaal van basis Metatarsaal V.
META I	FHL, PL	Ventraal van dorsale zijde malleolus mediale	Gewrichtsspleet os Cuneiforme mediale en Metatarsaal I
TRI SUR	G, S	Ventraal van dorsale zijde pees	Dorsaal van ventrale zijde pees

De gekozen namen geven een gemeenschappelijke factor van de pezen weer. De extensor digitorum longus (EDL), extensor hallucis longus (EHL), peroneus tertius (PT) en tibialis anterior (TA) zijn allen dorsaalflexoren (Dors Flex). En de flexor digitorum longus (FDL), peroneus brevis (PB) en tibialis posterior (TP) zijn allen plantairflexoren (Plant Flex). Beiden flexor hallucis longus (FHL) en peroneus longus (PL) hebben een insertie op Metatarsaal I (Meta I). De gastrocnemius en soleus (GS) vormen samen de Triceps Surae (Tri Sur), Bijlage II: Snijvlakken en Peesverloop.

De beschreven hoogte van de doorsneden zijn gekozen op basis van de ligging van het preparaat in de doos. Bij elke hoogte is nagegaan of de gezochte spieren in de doorsnede zichtbaar zullen zijn.

IV. Momentsarmen bepalen

Wanneer de doorsneden zijn gemaakt worden de voetpreparaten lichtelijk ontdooit. Hierbij is het van belang dat de kern van de doorsneden nog bevroren is maar de oppervlakken ontdooit zijn. Doordat de verschillende structuren aan het oppervlak beweeglijk zijn is het gemakkelijker deze te onderscheiden. Het is van belang dat de kern nog bevroren is om de compactheid van de doorsnede te garanderen.

Met een pincet worden de pezen voorzichtig in de doorsneden gelokaliseerd. Met behulp van een schuifmaat wordt de afstand van de onderrand van de doos tot aan de pezen en de compromis-as en de afstand tussen as en pezen gevonden, Bijlage III: Datacollectie. Aan de hand van deze afstanden worden de coördinaten van de as en de pezen in de doos berekend. Met behulp van eerder beschreven formules worden aan de hand van deze coördinaten de momentsarmen van de pezen in elke doorsnede gevonden.

Data voetpreparaten

Tabel 2 geeft een overzicht van de verdeling van de voetpreparaten. Hier wordt weergegeven welke preparaten in welke stand en welke doorsnede zijn ingedeeld.

Tabel 2: Onderzoek aantekeningen.

DOORSNEDE	SPIEREN	STAND	PREPARAAT	BIJZONDERHEDEN
DORS FLEX	EDL, EHL, PT, TA	<i>Pronatie</i>	SA 01 R	
DORS FLEX	EDL, EHL, PT, TA	<i>Neutraal</i>	SA 05 R *	
DORS FLEX	EDL, EHL, PT, TA	<i>Supinatie</i>	Sa 06 R	
PLANT FLEX	FDL, PB, TP	<i>Pronatie</i>	SA 02 L	
PLANT FLEX	FDL, PB, TP	<i>Neutraal</i>	SA 01 L	Extra Pees Soleus
PLANT FLEX	FDL, PB, TP	<i>Supinatie</i>	SA 02 R	
META I	FHL, PL	<i>Pronatie</i>	SA 03 R	
META I	FHL, PL	<i>Neutraal</i>	SA 04 L	
META I	FHL, PL	<i>Supinatie</i>	SA 04 R	
TRI SUR	G, S	<i>Pronatie</i>	SA 01 R	
TRI SUR	G, S	<i>Neutraal</i>	SA 05 R *	
TRI SUR	G, S	<i>Supinatie</i>	SA 06 R	

* Indicator scheve ligging as. Waarbij de fout gecorrigeerd is bij SA 05 R. SA 05 L heeft echter nog wel een afwijking van de ideale positie en wordt in hierdoor ingedeeld als reserve preparaat.

De doorsneden voor de Dorsaalflexoren en de Triceps Surae worden uit dezelfde voetpreparaten verkregen. De afstand tussen beiden is groot genoeg zodat de een de ander niet beïnvloedt.

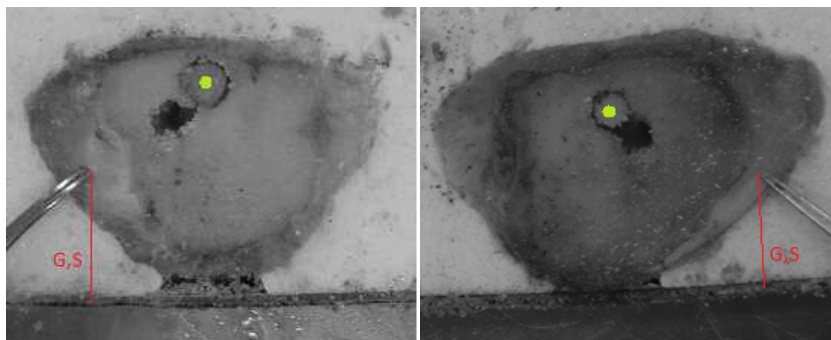
De indeling van de voetpreparaten speelt een rol bij de begrijpen en analyseren van de resultaten.

Resultaten

In Bijlage II: Snijvlakken en Peesverloop, zijn de posities van de doorsneden en het in- en uittreden van de pezen beschreven. De doorsneden zijn opgenomen in Bijlage III: Datacollectie. Hier is de ligging van de pees ten opzichte van de onderrand van de doos en de compromis-as zichtbaar. Aan de hand van deze doorsneden wordt de momentsarm op volgende wijze bepaald.

Dataverwerking

De dataverwerking wordt aan de hand van de Triceps Surae doorsnede, Afbeelding 14, uitgelegd. In deze afbeelding is het intreden van de pees (links) en het uittreden van de pees (rechts) te zien.



Afbeelding 14: Voorbeeld dataverwerking, in- en uittreden van de Triceps Surae (einde rode streep) en locatie van de as (groen).

In beide doorsneden wordt de afstand van onderrand van de doos tot de compromis-as (groen) en de pees bepaald (rode lijn). Vervolgens wordt de afstand tussen de pees en de as bepaald, Tabel 3.

Tabel 3: Voorbeeld dataverwerking, in- en uittreden van de Achillespees.

	AFSTAND – RAND INTREDEN	AFSTAD – AS INTREDEN	AFSTAND – RAND UITTREDEN	AFSTAND – AS UITTREDEN
AS	3.48		3.67	
PEES	1.92	2.21	2.48	3.04

De in de methode beschreven formules worden gebruikt om aan de hand van deze afstanden de momentsarm te bepalen.

De gemiddelde afstand tussen onderrand van de doos en de compromis-as wordt berekend. Met deze gegevens worden de X- en Y- coördinaten van de pees en de as berekend.

$$Ax = \sqrt{Az^2 - (Ay - Cy)^2}$$

$$Ax = \sqrt{2.21^2 - (1.92 - 3.48)^2} = 1.92$$

Dezelfde formule wordt ook toegepast om Bx te berekenen. Dit resulteert in de volgende coördinaten, Tabel 4.

Tabel 4: Voorbeeld dataverwerking, coördinaten van het in- en uittreden van de Achillespees.

	X-COÖRDINAAT INTREDEN	Y-COÖRDINAAT INTREDEN	X-COÖRDINAAT UITTREDEN	Y-COÖRDINAAT UITTREDEN
AS		3.58		3.58
PEES	1.66	1.92	1.10	2.48

Hier worden de volgende coördinaten voor het punt van intreden (A), het punt van uittreden (B) en de locatie van de compromis-as (C) gevonden.

$$A = \begin{pmatrix} Ax \\ Ay \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} Bx \\ By \end{pmatrix}; C = \begin{pmatrix} Cx \\ Cy \end{pmatrix}$$

$$A = \begin{pmatrix} 1.66 \\ 1.92 \end{pmatrix}; B = \begin{pmatrix} 1.10 \\ 2.48 \end{pmatrix}; C = \begin{pmatrix} 0 \\ 3.58 \end{pmatrix}$$

De volgende formules kunnen worden ingevuld en uitgerekend.

$$Vector AB = \begin{pmatrix} Bx - Ax \\ By - Ay \end{pmatrix}$$

$$Vector AB = \begin{pmatrix} 1.10 - 1.66 \\ 2.48 - 1.92 \end{pmatrix}$$

$$N = \begin{pmatrix} By - Ay \\ Ax - Bx \end{pmatrix}$$

$$N = \begin{pmatrix} 2.48 - 1.92 \\ 1.66 - 1.10 \end{pmatrix}$$

$$N_0 = \frac{1}{\sqrt{(By - Ay)^2 + (Ax - Bx)^2}} * N$$

$$N_0 = \frac{1}{\sqrt{(2.48 - 1.92)^2 + (1.66 - 1.10)^2}} * N$$

$$Vector AC = \begin{pmatrix} Cx - Ax \\ Cy - Ay \end{pmatrix}$$

$$Vector AC = \begin{pmatrix} 0 - 1.66 \\ 3.58 - 1.92 \end{pmatrix}$$

$$Ma = |AC * N_0|$$

$$Ma = |AC * N_0| = 12$$

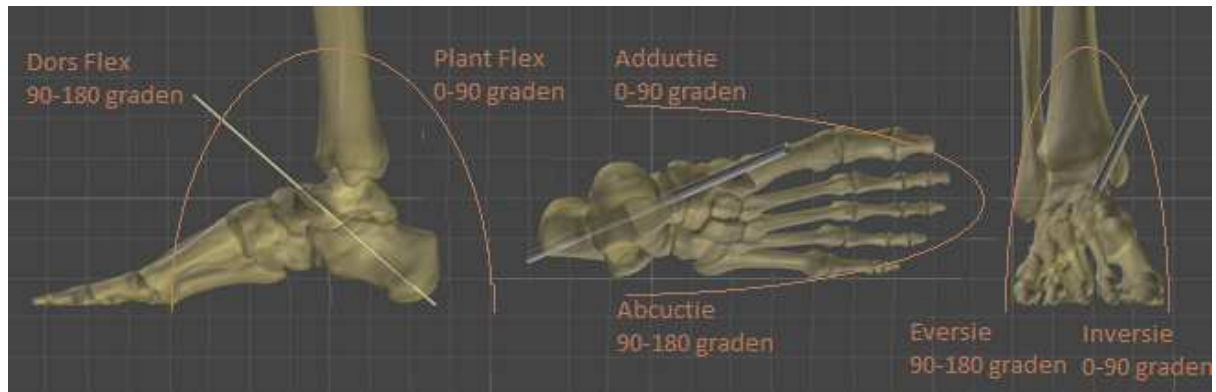
De gevonden momentsarm voor de Triceps Surae in deze doorsnede is 12 mm. De volgende resultaten zijn op dezelfde wijze verkregen.

Resultaten

Tabel 5: Onderzoeksresultaten.

DOORSNEDE	SPIEREN	STAND	PREPARAAT	(°) PLANT- /DORS FLEX	(°) AD- /ABDUCTIE	(°) IN- /EVERSIE	MOMENT- ARM (MM)
DORS FLEX	EDL	<i>Pronatie</i>	SA01R	90	86	90	64
		<i>Neutraal</i>	SA05R	90	65	92	79
		<i>Supinatie</i>	SA06R	88	82	90	62
	EHL	<i>Pronatie</i>	SA01R	90	86	90	53
		<i>Neutraal</i>	SA05R	90	65	92	44
		<i>Supinatie</i>	SA06R	88	82	90	49
	PT	<i>Pronatie</i>	SA01R	90	86	90	67
		<i>Neutraal</i>	SA05R	90	65	92	58
		<i>Supinatie</i>	SA06R	88	82	90	57
PLANT FLEX	TA	<i>Pronatie</i>	SA01R	90	86	90	41
		<i>Neutraal</i>	SA05R	90	65	92	39
		<i>Supinatie</i>	SA06R	88	82	90	- NA
	FDL	<i>Pronatie</i>	SA02L	90	90	96	20
		<i>Neutraal</i>	SA01L	105	85	88	26
		<i>Supinatie</i>	SA02R	105	55	80	- NA
	PB	<i>Pronatie</i>	SA02L	90	90	96	- MF
		<i>Neutraal</i>	SA01L	105	85	88	62
		<i>Supinatie</i>	SA02R	105	55	80	- NA
META I	TP	<i>Pronatie</i>	SA02L	90	90	96	- NA
		<i>Neutraal</i>	SA01L	105	85	88	23
		<i>Supinatie</i>	SA02R	105	55	80	- NA
	FHL	<i>Pronatie</i>	SA03R	83	81	96	26
		<i>Neutraal</i>	SA04L	88	89	90	14
		<i>Supinatie</i>	SA04R	112	75	86	27
	PL	<i>Pronatie</i>	SA03R	83	81	96	56
		<i>Neutraal</i>	SA04L	88	89	90	- MF
		<i>Supinatie</i>	SA04R	112	75	86	- MF
TRI SUR	GS	<i>Pronatie</i>	SA01R	90	90	90	12
		<i>Neutraal</i>	SA05R	90	65	92	37
		<i>Supinatie</i>	SA06R	88	82	90	4

De gemeten hoekuitslagen van de gewrichten zijn volgens de verdeling weergegeven in Afbeelding 15 gemeten.



Afbeelding 15: Weergave oriëntatie hoek uitslagen resultaten.

Hierbij is loodrecht op de Horizontaal 90° . Bij rotatie om de transversale as beslaat plantairflexie het gebied van $0-90^\circ$ en Dorsaal flexie het gebied van $90-180^\circ$. Bij rotatie om de longitudinale as in het onderbeen rijkt Adductie van $0-90^\circ$ en Abductie van $90-180^\circ$. Bij de kanteling om de sagittale as is de voet beslaat Inversie $0-90^\circ$ en Eversie $90-180^\circ$. Deze waarden zijn zo gekozen zodat de pronatie beweging, dorsaalflexie, abductie en eversie, uit hoekstanden van $90-180^\circ$ bestaat. De supinatie beweging, plantairflexie, adductie en inversie beslaat dan hoekstanden van $0-90^\circ$.

Afwezigheid van een resultaat kan ontstaan zijn door een afwezigheid (NA) van een pees in de doorsnede of door een niet loodrechte op de onderrand gepositioneerde afstandsbepaling van de pees in de doorsnede (MF).

Discussie

Met behulp van de ligging van de pezen ten opzichte van de compromis-as is de momentsarm van pronatoren en supinatoren bepaald. Daarnaast is bepaald welke spieren als pronatoren gelden, en welke als supinatoren gelden.

In een poging de verkregen resultaten met referentiewaarden uit de literatuur te vergelijken, valt met name het tekort in de literatuur op, Tabel 6. Dit tekort onderbouwt de relevantie van dit onderzoek en de ontwikkelde methodologie, waarbij de momentsarm van spieren kan worden bepaald.

In onderstaande tabel worden de onderzoeksresultaten vergeleken met referentiewaarden verkregen uit SIMM 4.0, het onderzoek van Wang et al. (2011) en het onderzoek van Klein et al. (1996).

Tabel 6: Referentiewaarden.

SPIEREN		STAND	RESULTAAT (MM)	(SIMM 4.0, 2016) (MM)	(WANG & GUTIERREZ-FAREWIK, 2011) (MM)	(KLEIN, MATTYS, & ROOZE, 1996) (MM)
EDL	P	Pronatie	64	13		
		Neutraal	79	12		
		Supinatie	62	9		
EHL	P	Pronatie	53	2		
		Neutraal	44	4		
		Supinatie	49	6		
FDL	S	Pronatie	20	19		
		Neutraal	26	20		
		Supinatie		19		
FHL	S	Pronatie	26	16		
		Neutraal	14	16		8
		Supinatie	27	15		
PL	P	Pronatie	56	28		
		Neutraal		27		22
		Supinatie		25		
PB	P	Pronatie		30		
		Neutraal	62	29		21
		Supinatie		26		
PT	P	Pronatie	67	17		
		Neutraal	58	20		
		Supinatie	57	19		
TA	P	Pronatie	41	9	11	
		Neutraal	39	13	13	4
		Supinatie		15	1	
TP	S	Pronatie		20		
		Neutraal	23	20		19
		Supinatie		17		
GS	S	Pronatie	12	9	10	
		Neutraal	37	4	4	5
		Supinatie	4	3	6	

Uit Tabel 6 blijkt dat vele gemeten momentsarmen groter zijn dan de referentiewaarden. De waarden van de flexor digitorum longus (verschil = $\pm 1-6$ mm), flexor hallucis longus (verschil = $\pm 2-12$ mm) en tibialis posterior (verschil = ± 3 mm) zijn maar enkele millimeters groter dan de gevonden referentiewaarden. Wanneer de ligging van de doorsnede en de hierin gevonden werklijn van de spier wordt vergeleken met het verloop van de pees, Bijlage II: Snijvlakken en Peesverloop, valt op dat voor deze drie pezen het intreden wordt gemeten onder de malleoli. Vervolgens loopt de pees redelijk recht door de voet en wordt over een lang stuk de werklijn bepaald.

De waarden van de extensor digitorum longus, extensor hallucis longus, peroneus longus, peroneus brevis, peroneus tertius en de tibialis anterior wijken het meest af van de referentiewaarden. Wanneer naar het peesverloop en werklijn van deze spieren wordt gekeken valt op dat de momentsarm van deze spieren op een kortere werklijn is gebaseerd dan bij de flexoren. Dit zou de oorzaak kunnen zijn voor de grote waarde verschillen.

Daarnaast is bij de extensoren en de tibialis anterior aan het stuk van de pees gemeten dat grootstendeels onder de ligamenten van de enkel ligt. Hierbij is het verloop van de pezen in de voet achterwege gelaten. Een soortgelijke situatie doet zich voor bij de peroneus spieren. Daar valt op dat het intreden van de pees niet onder de malleoli is meten. Daarnaast is ook maar een kort deel van het verloop van de pees in de doorsnede opgenomen. Hier ontbreken aan beide zijden informatie over het verloop van de pees.

In Bijlage IV: Aangepaste Momentsarmen, zijn de in dit onderzoek gemeten momentsarmen (rood) van elke spier aangegeven. Voor elke spier is daarnaast de theoretische momentsarm (groen) aangegeven. Deze theoretische momentsarm is gebaseerd op een langer peesverloop tussen in- en uittreden. Deze loopt ongeveer van de malleoli tot aan de insertieplaats van in de voet of het begin van de phalanges. Opvallend is dat bij elke nieuw getekende werklijn de momentsarm kleiner uitvalt dan de gemeten momentsarm.

Vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen of waarden vergelijkbaar met de referentiewaarden kunnen worden verkregen wanneer de doorsneden op de in Bijlage IV: Aangepaste Momentsarmen gesuggereerde aangegeven locaties worden gemaakt. Hierbij wordt het gehele peesverloop in de berekening van de momentsarm meegenomen. Bovendien wordt voorkomen dat de omleidingen van de pees invloed heeft op de coördinaten die gebruikt worden bij het bepalen van de momentsarm.

Tijdens het bepalen van de locatie van de doorsneden zal nauwkeurig te werk moeten worden gegaan. Deze mag niet te hoog of te laag worden geplaatst om afwezigheid van de pees in de doorsnede te voorkomen. In dit onderzoek heeft dit tot het verlies van data van vier pezen geleidt, Tabel 5 (NA). Daarnaast zal tijdens het bepalen van de afstanden in de doorsnede gecontroleerd moeten worden dat dit loodrecht op de onderrand van de doos wordt gemeten, zodat de berekening voor de X-coördinaat op alle data toepasbaar is (MF). Het ontbreken van de data ten gevolge van deze handelingen kan gedeeltelijk worden toegeschreven aan de nieuw ontworpen methodologie. Door de hier opgedane ervaring is een sluitende methodologie voor vervolgonderzoek geschreven.

Uit de resultaten van de hoekstanden van de enkel blijkt dat de hoekuitslagen van pronatie, 90-180° in elke beweging, alleen in SA02L wordt gevonden. Enkel SA04L nadert zich de neutrale stand en alleen SA06R voldoet aan alle waarden voor de supinatie stand. Voor SA02L en SA04L komen de gevonden waarden overeen met de referentiewaarden. Voor SA06R komt alleen de waarde voor de gastrocnemius en soleus overeen. Het verschil in de overige spieren zou echter kunnen worden toegeschreven aan eerdergenoemde plaatsing van het in-en uittreden van de pees in de doorsnede.

Bij de bepaling van de momentsarm van de gastrocnemius en soleus is het centrum van de Achillespees als referentiepunt genomen. Omdat het hierbij om een lang en breed oppervlak gaat, is het interessant om in een vervolgstudie de mogelijkheid te doorgronden of dit oppervlak te verdelen is in de mediale en laterale zijde van de gastrocnemius en de soleus. Dit zal ook de betrouwbaarheid van het resultaat verhogen.

Opvallend is dat Wang et al. (2011) een grotere waarde dan Klein et al. (1996) hebben gevonden voor de momentsarmen van de tibialis anterior. Dit kan worden toegeschreven aan de verschillende bepaling van de ligging van de as. In het onderzoek van Klein et al. is de ligging van de as niet gedefinieerd waar Wang et al. (2011), net als dit onderzoek en SIMM 4.0 (2016), de definitie van Isman & Inman (1969) hanteert.

Tot slot moet bij de vergelijking van deze resultaten worden opgemerkt dat de resultaten van SIMM gebaseerd zijn op data van relatief klein aantal subjecten (Delp & Loan, A computational framework for simulating and analyzing human and animal movement, 2000). In tegenstelling tot de resultaten van Wang et al. (2011) en Klein et al. (1996) die gebaseerd zijn op de data van acht en tien subjecten.

Hoewel in dit onderzoek negen voetpreparaten zijn onderzocht, is ieder resultaat gebaseerd op één subject. Een vervolgstudie zal uit moeten wijzen of de hier geïntroduceerde methode betrouwbaar en valide is.

Conclusie

Het doel van dit onderzoek was de momentsarmen van alle pronatoren en supinatoren die invloed hebben op de pronatie en supinatie beweging van de enkel in situ te meten.

De methode van de doorsnede blijkt een manier om momentsarmen te bepalen. Hierdoor is het gebruik van een MRI-scan overbodig. Met deze methode konden de momentsarmen in alle voetpreparaten worden gemeten.

De verschillen tussen de gemeten en de in de literatuur gevonden momentsarmen waren groter dan verwacht. Alleen de momentsarmen van flexor digitorum longus (verschil = $\pm 1-6$ mm), flexor hallucis longus (verschil = $\pm 2-12$ mm) en tibialis posterior (verschil = ± 3 mm) zijn met de literatuur te vergelijken.

Bij het gebruik van deze methode moet nauwkeurig te werk worden gegaan. In dit onderzoek zijn twee oorzaken van het gebrek aan data te benoemen. De locatie van enkele doorsneden heeft tot een afwezigheid van gewenste pezen in de doorsnede geleidt. Hierdoor is het in- of uittreden niet bepaald. Daarnaast zijn de afstanden van onderrand tot pees niet loodrecht op de onderrand gemeten. Hier door was het niet mogelijk de X-coördinaat van de pees te berekenen. Wanneer in overleg met een tweede onderzoeker en volgens het protocol wordt gehandeld, is dit te voorkomen.

De methode van de doorsnede is een manier om meer data te verzamelen over de momentsarmen van spieren betrokken bij de pronatie en supinatie beweging van de enkel. Uit dit onderzoek is gebleken dat lengte van het peesverloop in de doorsnede invloed heeft op de bepaling van de momentsarm. Het is van belang dat bij deze methode een zo lang mogelijk peesverloop wordt gebruikt voor de bepaling van de momentsarm.

Daarom moeten kleine aanpassingen in de locatie van de doorsneden worden gemaakt om resultaten te verkrijgen die in overeenstemming met de referentiewaarden uit de literatuur zijn. Hierbij zal het intreden van de pees rond de malleoli moeten liggen en het uittreden van de pees kort voor de insertieplek van de pees of de phalanges in de voet.

Vervolgonderzoek zal moeten uitwijzen hoe groot de invloed is van de aangepaste locatie van de doorsnede op de gemeten momentsarmen. En of deze waarden beter overeenkomen met de referentiewaarden. Daarnaast zal vervolgonderzoek ook de betrouwbaarheid en validiteit van deze methode moeten bewijzen.

Literatuur

- Bruckner, J. (1993). *The human subtalar joint*. Indiana: Dissertation Indiana University.
- Delp, S., & Loan, J. (2000). A computational framework for simulating and analyzing human and animal movement. *Computing in Science & Engineering*, 46-55.
- Delp, S., Loan, J., Hoy, M., Zajac, F., Topp, E., & Rosen, J. (1990). An interactive graphics-based model of the lower extremity to study orthopaedic surgical procedures. *Transactions on bio-medical engineering*, 37(8), 757-767.
- Engsberg, J. (1987). A biomechanical analysis of the talocalcaneal joint - in vitro. *Journal of Biomechanics*, 20(4), 429-442.
- Fong, D.-P., Chan, Y.-Y., Mok, K.-M., Yung, P., & Chan, K.-M. (2009). Understanding acute ankle ligamentous sprain injury in sports. *Sports medicine, arthroscopy, rehabilitation, therapy & technology*, 1-14.
- Fong, D.-P., Chung, M.-L., Chan, Y.-Y., & Chan, K.-M. (2012). A mechanical jig for measuring ankle supination and pronation torque in vitro and in vivo. *Medical engineering and physics*, 34, 791-794.
- Gerritsen, B., Berger, M., Elshoud, G., & Schutte, H. (2016). *Anatomie in Vivo*. Houten: Bohn Stafleu van Longhum.
- Hagen, M., Lescher, S., Gerhardt, A., Lahner, M., Felber, S., & Hennig, E. (2015). Shank muscle strength training changes foot behaviour during a sudden ankle supination. *PLOS one*, 1-17.
- Hertel, J. (2002). Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. *Journal of athletic training*, 37(4), 364-375.
- Isman, R., & Inman, V. (1969). Anthropometric studies of the human foot and ankle. *Bulletin of Prosthetics Research*, 97-129.
- Kirby, K. (1989). Rotational equilibrium across the subtalar joint axis. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 79(1), 1-14.
- Klein, P., Mattys, S., & Rooze, M. (1996). Moment arm length variations of selected muscles acting on talocrural and sutalar joint during movement - an in vitro study. *Journal of Biomechanics*, 29(1), 21-30.
- Maganaris, C. (2000). In vivo measurement-based estimation of the moment arm in the human tibialis anterior muscle-tendon unit. *Journal of biomechanics*, 33, 375-379.
- Maganaris, C. (2004). Imaging-based estimates of moment arm length in intact human muscle-tendons. *European journal for applied Physiology*, 91, 130-139.
- Mann, R., & Inman, V. (1964). Phasic activity of the intrinsic muscles of the foot. *Journal of Bone and Joint Surgery*, 46(A), 469-481.

- Manter, J. (1941). Movements of the Subtalar and Transverse Tarsal Joints. *The Anatomical Record*, 80, 397-410.
- McCullough, B., Ringleb, S., Arai, K., Kitoaka, H., & Kaufman, K. (2011). Moment arms of the ankle throughout the range of motion in three planes. *Foot & Ankle International*, 23(3), 300-306.
- Motion Analysis. (2018, mei). *SIMM*. Retrieved from Motion Analysis:
<https://www.motionanalysis.com/software/simm/>
- Root, M., Sgarlato, T., & Bluth, D. (1966). Axis motion of the subtalar joint - an anatomical study. *Journal of the American Podiatric Medical Association*, 56, 149-155.
- Sheehan, F., Seisler, A., & Lohmann Siegel, K. (2007). In vivo talocrural and subtalar kinematics: a non-invasive 3D dynamic MRI study. *Foot & Ankle International*, 28(3), 323-335.
- Siegler, S., Chen, J., & Schneck, C. (1988). The three-dimensional kinematics and flexibility characteristics of the human ankle and the subtalar joints - part 1 - kinematics. *Journal of Biomechanical Engineering*, 110, 364-373.
- SIMM 4.0. (2016). Output plot file made by SIMM 4.0. *Literatuur Aantekeningen M. Berger voor Anatomie in Vivo*, Subtalar_angle moment arm vs. Subtalar_angle.
- Tanaka, H., & Mason, L. (2011). Chronic ankle instability. *Avicenna journal of medicine*, 269-278.
- Wang, R., & Gutierrez-Farewik, E. (2011). The effect of subtalar inversion/eversion on the dynamic function of the tibialis anterior, soleus and gastrocnemius during the stance phase of gait. *Gait & Posture*, 34(1), 29-35.

Bijlage I: Meetprotocollen

De volgende protocollen worden doorlopen om de momentsarm van de spieren te bepalen.

I. Compromis-As

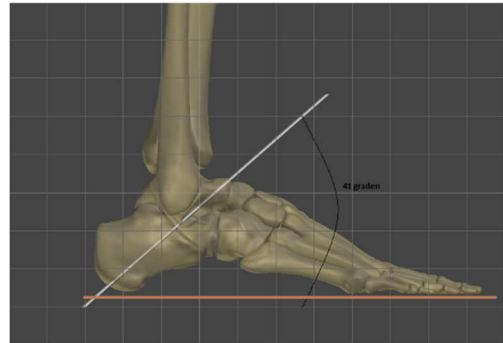
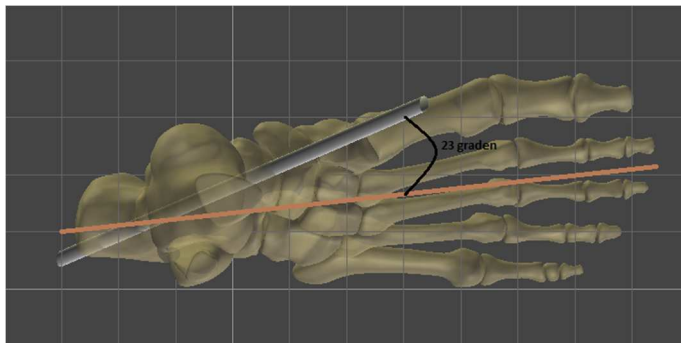
Om een doorsnede loodrecht op de ligging van de compromis-as te verkrijgen zal de as in elk preparaat moeten worden gevonden.

Materiaal:

- Voetpreparaten (N = 10); huid, vet, venen en nerven zijn verwijderd.
- Elektrische handzaag.
- Gradenboog 41°.
- Gradenblad 23°.
- Scalpel.
- Elektrische handboor.
- 20x Universeel schroef PZ 2, RVS 5.0 x 30 m
- Machineboor, boor d = 6 m
- 10 houten staven, l = minimaal 23 cm, d = 6 m

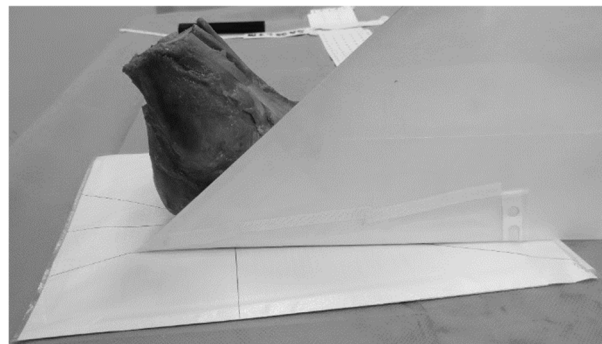
Methode:

Het proximale deel van het onderbeen wordt verwijderd om zo de omgang met het preparaat te vergemakkelijken. Hierbij worden 5-10 cm van tibia en fibula behouden. Het preparaat wordt vervolgens op het gradenblad geplaatst. Hierbij wordt deze zo geplaatst dat de dwarslijn door het midden van de tibia loopt. De lengtelijn loopt tussen de 2^e en 3^e teen en in het midden van de calcaneus. De 23° lijn laat nu het verloop van de compromis-as zien in dit vlak, Afbeelding 16.



Afbeelding 16: Ligging compromis-as volgens Isman & Inman (1969).

Om de drie dimensionale (3D) ligging van de compromis-as te bepalen wordt de gradenboog langs de laterale zijde van de voet gelegd. Hierbij wordt de schuine zijde 8 mm voor het meest distale punt van de malleolus gelegd, Afbeelding 17. Deze afstand wordt met het oog bepaald. Om het dorsale punt van uittreden van de compromis-as te bepalen wordt het scalpel wordt plat op de schuine zijde van de gradenboog gelegd. Vervolgens wordt het scalpel verplaatst tot het snijpunt van de 41° boog en 23° lijn. Met het scalpel wordt het punt



Afbeelding 17: Proefopstelling.

aangegeven waarde lijnen snijden. Op dit punt van de calcaneus wordt de eerste referentie schroef geboord.

De voet wordt wederom op het gradenblad geplaatst. De gradenboog wordt aan laterale zijde van de voet geplaatst. Wanneer de locatie van de gradenboog is bepaald, wordt deze ligging gemarkeerd met behulp van een dwarslijn (parallel de dwarslijn door de tibia). De gradenboog wordt vervolgens naar de mediale zijde van de voet verplaatst op de gelijke hoogte als voorheen genoteerd. Wederom wordt het snijpunt van de 41° boog en de 23° lijn bepaald met behulp van het scalpel. Op dit punt wordt in het os naviculare en tweede referentie schroef geboord.

Ter controle wordt het preparaat nogmaals op het gradenblad gezet. Hierbij wordt de ligging van de schroeven vergeleken met de ligging van de 23° lijn. Daarna wordt de ligging van de schroeven vergeleken met de 41° boog. Deze handelingen worden voor alle 10 voetpreparaten herhaald.

Met behulp van de machineboor wordt de as geboord. Hiervoor wordt eerst de ventrale schroef uit het preparaat verwijderd. Het preparaat wordt onder de boor geplaatst en gefixeerd. Wanneer de boor tot aan de dorsale schroef is gekomen wordt het proces onderbroken om de schroef te verwijderen. Hierna wordt het boorproces hervat en wordt de complete as geboord. De houten staaf wordt door het boorgat geschoven. De ligging van de staaf wordt met behulp van gradenblad en gradenboog gecontroleerd. De staaf representeert de compromis-as in de voet. Deze handelingen worden voor alle 10 voetpreparaten herhaald.

II. Pro en Supinatie

Om de momentsarm in drie standen te meten worden de voetpreparaten in ontdooide toestand in pronatie, neutrale of supinatie stand gebracht en ingevroren.

Materiaal:

- Elektrische handboor.
- 50x Universeel schroef PZ 2, RVS 5.0 x 30 m
- Touw.

Methode:

Om de momentsarmen in drie verschillende standen te onderzoeken worden per preparaat 5 schroeven in prominent aanwezige botpunten geplaatst. De eerste schroeven (oranje) worden in de tibia en fibula, proximaal van de malleoli gedraaid, Afbeelding 18. De derde schroef wordt aan de medio-distale zijde van de calcaneus gedraaid. De vierde schroef wordt aan mediale zijde in de basis van de proximale Phalanx van de Hallux gedraaid en de vijfde aan laterale zijde in de basis van os Metatarsaal V

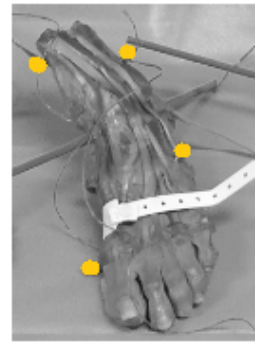
Het ontdooide preparaat wordt vervolgens in een van de volgende drie standen gebracht: pronatie, neutrale of supinatie stand. Hiervan zijn drie voetpreparaten in pronatie, drie voetpreparaten in supinatie en vier voetpreparaten in neutrale stand gebracht. Hierbij zijn de voetpreparaten op formaat in drie groepen opgedeeld. Deze keuze is gemaakt omdat verwacht wordt dat de waarden van de momentsarmen beter bij elkaar passen wanneer soortgelijke voetpreparaten met elkaar worden vergeleken. Van iedere grootte wordt een preparaat in pronatie, een preparaat in neutrale en een preparaat in supinatie stand gebracht. Het preparaat wordt in deze stand met touwen om de schroeven gefixeerd en ingevroren.

De locatie van de gebruikte schroeven voor elke stand wordt weergegeven in volgende Tabel 7 en Afbeelding 18.

Tabel 7: Oriëntatie stand.

STAND	SCHROEF 1	SCHROEF 2	SCHROEF 3	SCHROEF 4
PRONATIE	Fibula	Metatarsaal V		
NEUTRAAL	Tibia	Bs Hallux	Fibula	Metatarsaal V
SUPINATIE	Tibia	Calcaneus	Bs Hallux	

Het touw is tussen twee (pronatie), twee keer twee (neutraal) of drie (supinatie) schroeven gespannen om het preparaat in de juiste stand te plaatsen.



*Afbeelding 18:
Oriëntatie stand.*

Daarna worden met behulp van twee touwen de pezen rond de enkel gefixeerd. Een touw loopt distaal van de malleoli langs en het tweede touw loopt distaal van de schroeven door de tibia en fibula. Ten slotte worden de voetpreparaten worden ingevroren en de schroeven en touwen worden verwijderd.

III. Doorsneden

De voetpreparaten worden in de dozen gefixeerd met de compromis-as loodrecht op een van de zijden van de doos. Hiermee wordt een loodrechte doorsnede op de compromis-as gegarandeerd.

Materiaal:

- Gradenboog.
- 2x Meetlint 100 c
- Kartonnen doos 23 x 18 x 10 c
- Duct tape.
- Vershoudfolie.
- 2x 750 mL Peurschui
- Bandzaag.

Methode:

De voetpreparaten worden ontdaan van schroeven en touwen. Met behulp van een gradenboog worden de gewrichtstanden van dorsaal- /plantairflexie, ab-/adductie en in-/eversie bepaald. Vervolgens worden twee meetlinten loodrecht op elkaar geplaatst. Het preparaat wordt tussen de meetlinten gelegd en vanaf verschillende hoeken gefotografeerd om het peesverloop in de voet vast te leggen. Daarna worden de voetpreparaten in vershoudfolie gewikkeld.

De kartonnen dozen worden in elkaar gevouwen en op de lengszijde wordt op beide kanten twee lijnen getekend. Deze lijnen worden op 9 cm vanaf een zijde in horizontale richting en 3 cm in verticale richting op de buitenzijde van de doos getekend. Het snijpunt van deze twee lijnen geeft de locatie van de compromis-as aan. Met het scalpel wordt een incisie gemaakt op het snijpunt.

De staaf wordt, met de hiel zijde eerst, door de voorgesneden opening van de doos geregen. De voet wordt met de mediale zijde naar onder in de doos geplaatst. Vervolgens wordt de andere zijde van de staaf door de tegenoverliggende opening geregen. De voet ligt nu met laterale zijde naar boven in de doos.

Vanuit deze positie wordt op de brede zijde van de doos genoteerd waar de zaagsneden plaats moeten vinden. Hierbij worden de spieren over vier zaagsneden verdeeld. De namen en referentiepunten van deze zaagsneden zijn genoteerd, Tabel 8.

Tabel 8: Doorsneden oriëntatie (in anatomische houding).

NAAM	SPIEREN	PROXIMAAL	DISTAAL
DORS FLEX	EDL, EHL, PT TA	Ventraal van ventrale zijde tibia	Gewrichtsspleet os Cuneiforme mediale en Metatarsaal I
PLANT FLEX	FDL, PB TP	Ventraal van dorsale zijde malleolus laterale	Mediaal van basis Metatarsaal V.
META I	FHL, PL	Ventraal van dorsale zijde malleolus mediale	Gewrichtsspleet os Cuneiforme mediale en Metatarsaal I
TRIC SUR	G, S	Ventraal van dorsale zijde pees	Dorsaal van ventrale zijde pees

Wanneer alle dozen zijn gemarkeerd worden de voetpreparaten gefixeerd met peurschuim. Hierbij wordt de doos voor 1/3^e gevuld. Na 12 uur is het peurschuim uitgehard en worden de dozen in de vriezer geplaatst.

De ingevroren voetpreparaten worden met behulp van een bandzaag op de aangegeven hoogtes in plakken gesneden. Deze plakken worden bewaard en geanalyseerd.

IV. Momentsarmen

De afstanden van de as en de pezen in de doorsnede worden bepaald. Aan de hand van deze gegevens worden de coördinaten van deze punten en de momentsarmen berekend.

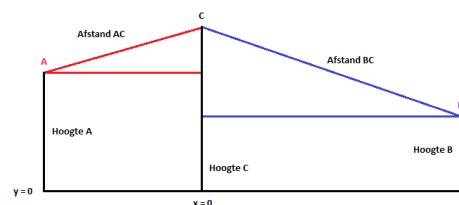
Materiaal:

- Gradenboog.
- Schuifmaat.

Methode:

Verschillende afstanden worden in de doorsneden bepaald om vervolgens de lengte van de momentsarmen te berekenen. Hiervoor wordt met behulp van een schuifmaat in elke doorsnede de afstand van de onderrand van de doos tot aan de as en tot aan het centrum van de in die doorsnede gevonden pees bepaald. Hierbij wordt de gradenboog op een hoek van 90° met de onderrand van de doos gelegd. De schuifmaat wordt parallel aan de gradenboog gehouden om zo loodrecht de afstand op de onderrand van de doos te meten. Vervolgens wordt de afstand van het centrum van de as tot het centrum van de pees bepaald.

Aan de hand van deze afstanden kunnen de onderlinge relaties van de gevonden punten worden bepaald, Afbeelding 19. De y-coördinaat is de gemeten afstanden van de doos tot aan de structuren. Door deze van elkaar af te trekken, wordt een zijde van de driehoek gevonden. Met behulp van de afstand en de lengte van de zijde kan met de stelling van Pythagoras de x-coördinaat worden gevonden.

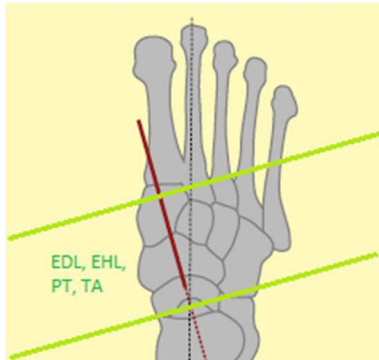


Afbeelding 19: Berekening coördinaten Intreden (A), As (C) en uittreden (B).

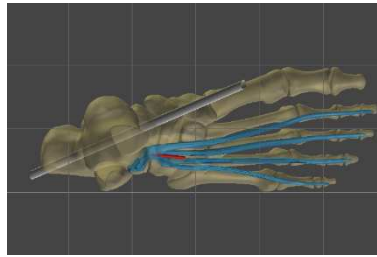
Met behulp van de eerder beschreven formules wordt de momentsarm van elke pees in de doorsnede bepaald.

Bijlage II: Snijvlakken en Peesverloop

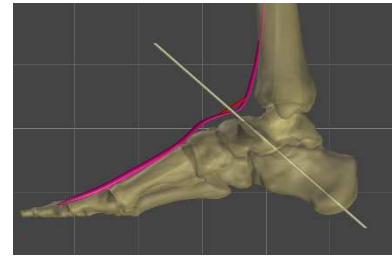
Dorsaalflexoren doorsnede
Extensor digitorum longus (EDL),
Extensor hallucis longus (EHL),
Peroneus tertius (PT) &
Tibialis anterior (TA).



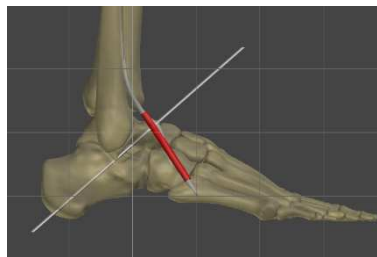
Afbeelding 22: Dors Flex doorsnede.



Afbeelding 21: Doorsnede EDL.



Afbeelding 20: Doorsnede EHL.



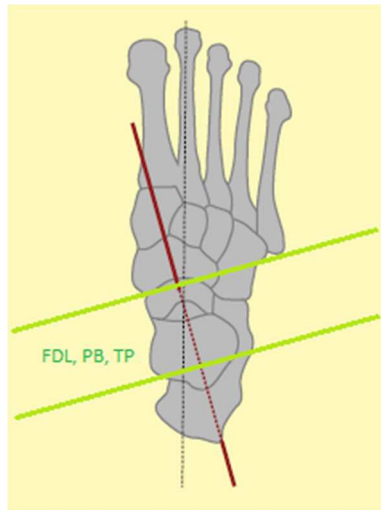
Afbeelding 24: Doorsnede PT.



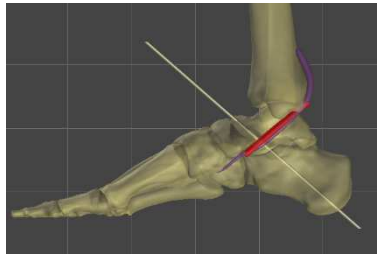
Afbeelding 23: Doorsnede TA.

Plantairflexoren

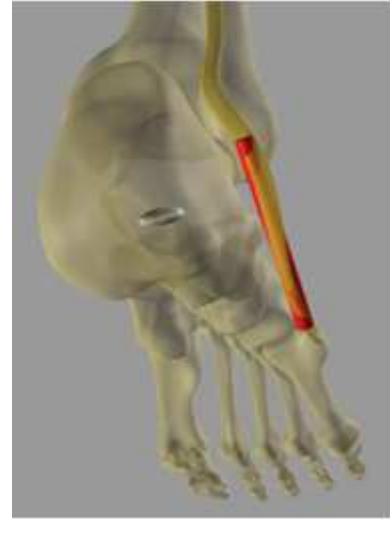
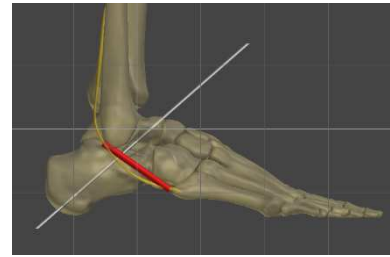
*Flexor digitorum longus (FDL),
Peroneus brevis (PB) &
Tibialis posterior (TP).*



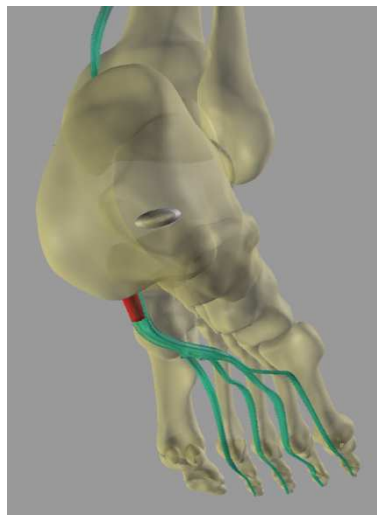
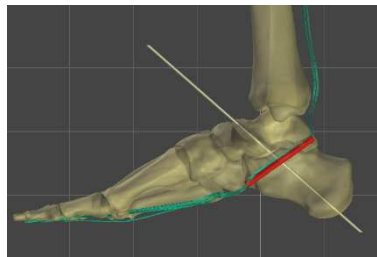
Afbeelding 27: Plant Flex doorsnede.



Afbeelding 26: Doorsnede TP.

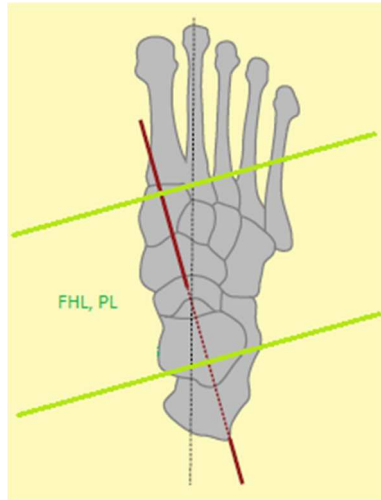


Afbeelding 25: Doorsnede PB.

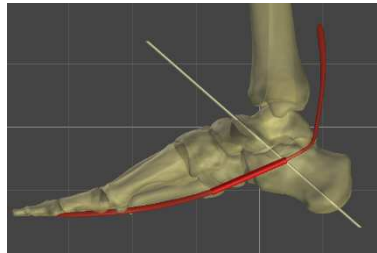


Afbeelding 28: Doorsnede FDL.

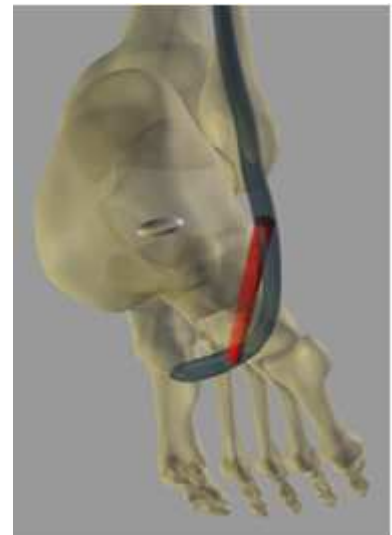
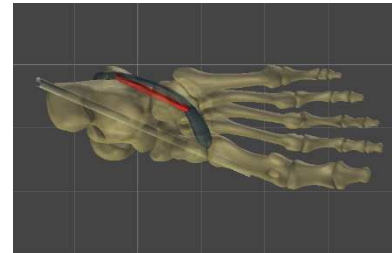
Metatarsaal I doorsnede
*Flexor hallucis longus (FHL) &
 Peroneus longus (PL).*



Afbeelding 31: Meta I doorsnede.

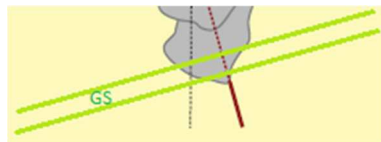


Afbeelding 30: Doorsnede FHL.

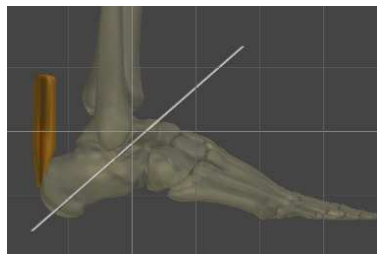


Afbeelding 29: Doorsnede PL.

Triceps Surae doorsnede
Gastrocnemius/soleus (GS).



Afbeelding 33: Tri Sur doorsnede.



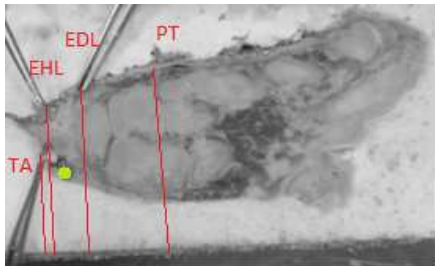
Afbeelding 32: Doorsnede GS.

Bijlage III: Datacollectie

Dorsaalflexoren

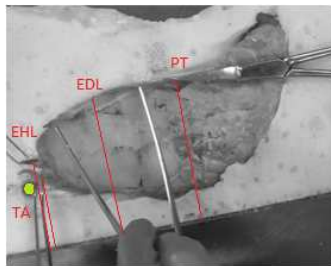
Proximaal

Pronatie:



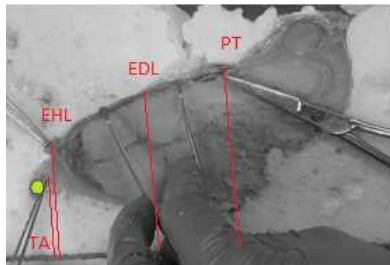
	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.26	
EDL	6.41	3.49
EHL	5.47	2.39
PT	6.79	5.08
TA	4.56	1.48

Neutraal:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.26	
EDL	6.95	5.54
EHL	4.33	1.42
PT	6.83	8.9
TA	3.61	1.64

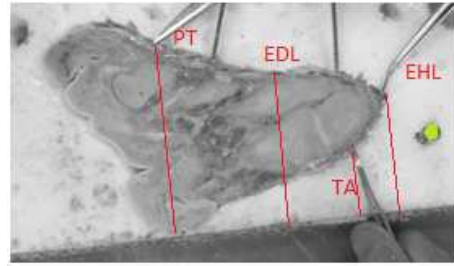
Supinatie:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.07	
EDL	6.59	5.6
EHL	4.39	2.01
PT	7.24	8.58
TA		

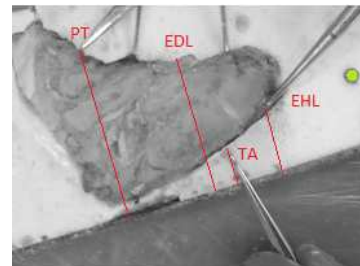
Distaal

Pronatie:



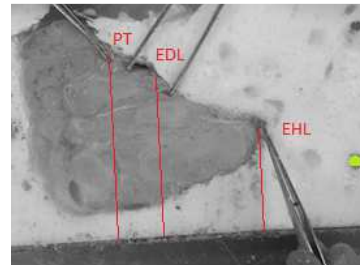
	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.21	
EDL	6.38	9.18
EHL	4.99	2.72
PT	6.95	11.94
TA	2.41	5.51

Neutraal:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.28	
EDL	5.89	8.04
EHL	3.07	4.36
PT	7.24	12.3
TA	1.93	6.78

Supinatie

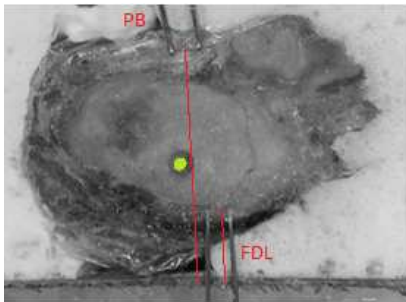


	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.15	
EDL	6.94	9.48
EHL	4.99	5.01
PT	7.84	11.63
TA		

Plantairflexoren

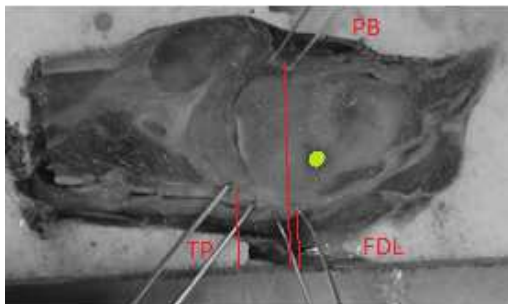
Proximaal

Pronatie:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	2.96	
FDL	1.79	1.64
PB	5.65	2.63
TP		

Neutraal:



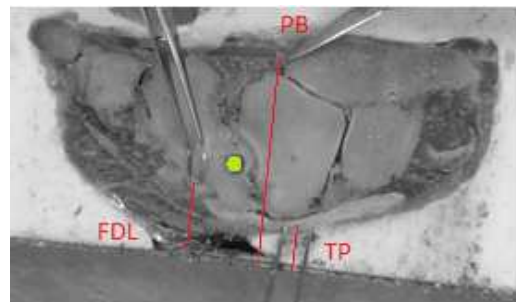
	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.21	
FDL	2.05	1.99
PB	6.14	3.01
TP	2.03	1.68

Supinatie:

NA

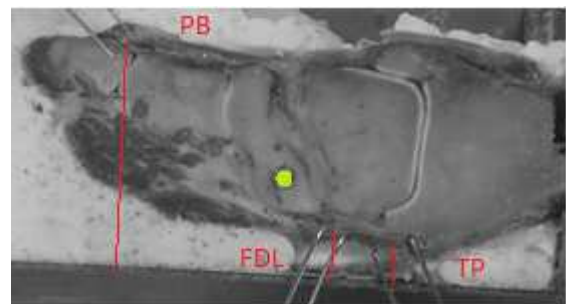
Distaal

Pronatie:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.01	
FDL	2.18	1.34
PB	6.19	3.40
TP		

Neutraal:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.23	
FDL	1.78	2.46
PB	7.29	6.68
TP	1.29	3.68

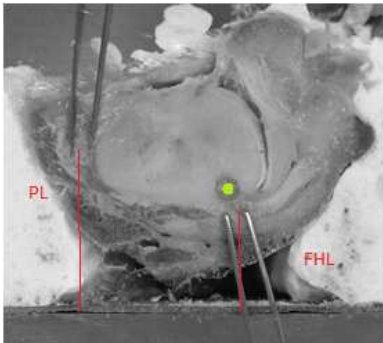
Supinatie

NA

Metatarsaal I

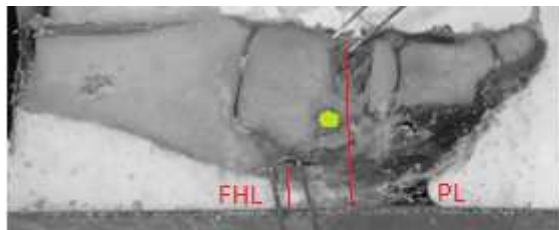
Proximaal

Pronatie:



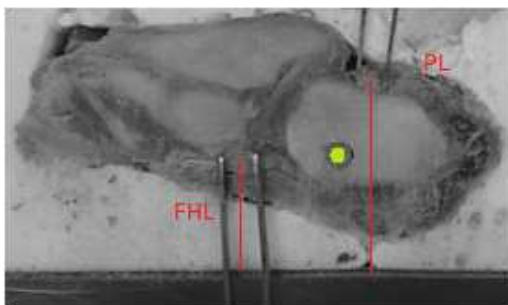
	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.27	
FHL	2.85	4.13
PL	3.98	8.02

Neutraal:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	2.94	
FHL	1.42	1.88
LL	5.25	2.21

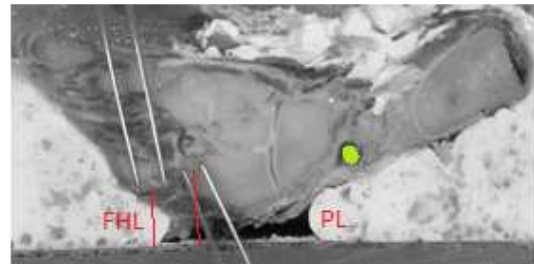
Supinatie:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.07	
FHL	2.92	2.39
PL	4.99	2.12

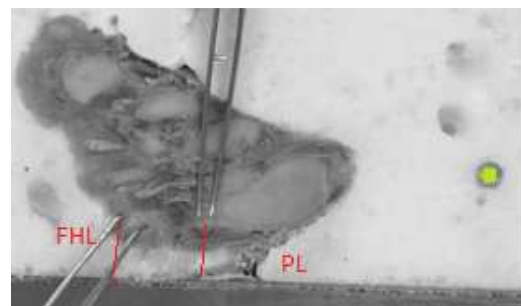
Distaal

Pronatie:



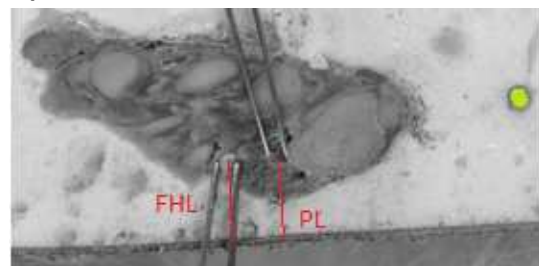
	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.27	
FHL	2.41	6.99
PL	2.74	5.72

Neutraal:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.03	
FHL	1.47	9.14
PL	2.09	6.48

Supinatie:

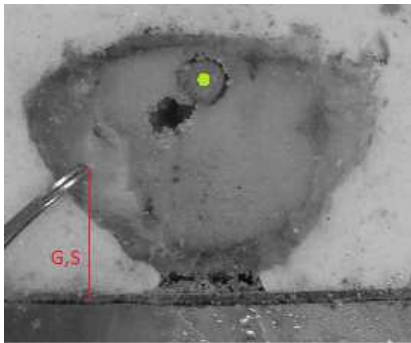


	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	2.19	
FHL	1.92	7.57
PL	2.29	6.11

Triceps Surae

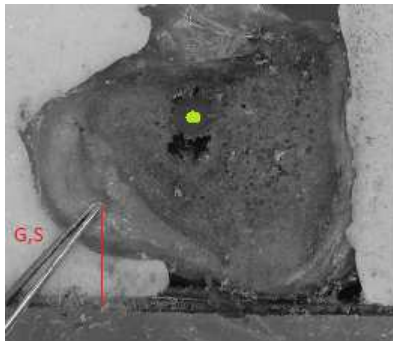
Proximaal

Pronatie:



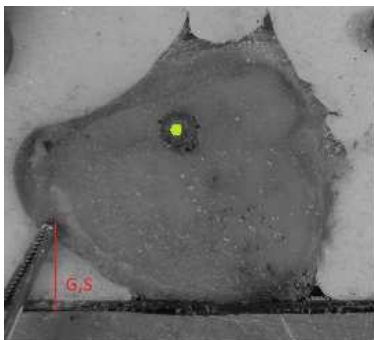
	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.48	
G, S	1.92	2.21

Neutraal:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.17	
G, S	1.78	2.23

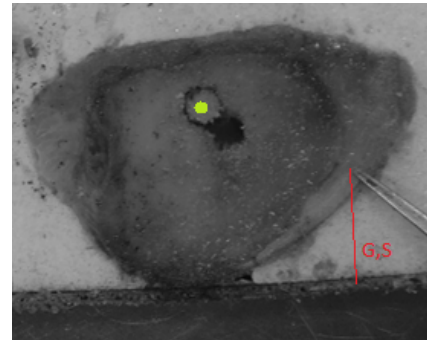
Supinatie:



	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.2	
G, S	1.55	2.8

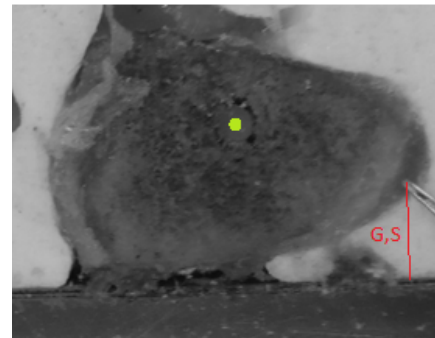
Distaal

Pronatie:



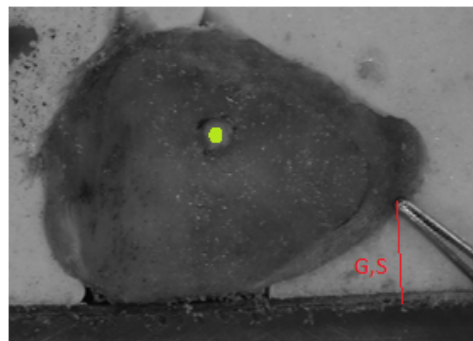
	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.67	
G, S	2.48	3.04

Neutraal:



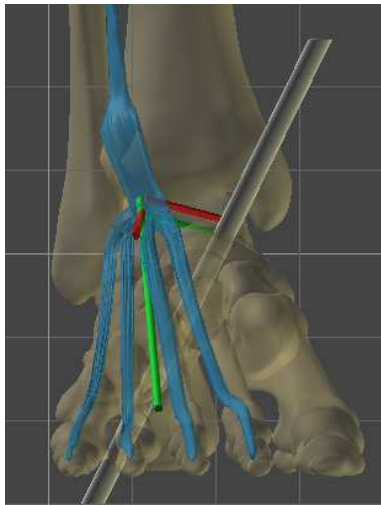
	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.11	
G, S	1.95	3.4

Supinatie:

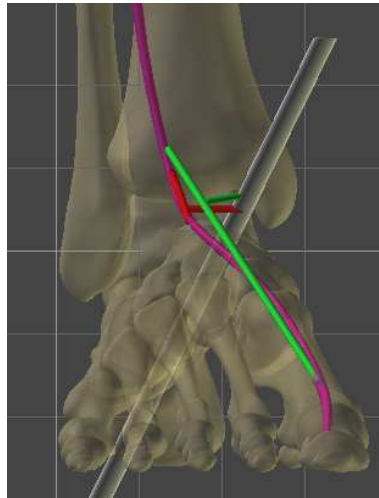


	AFSTAND - RAND	AFSTAND - AS
AS	3.25	
G, S	1.99	3.4

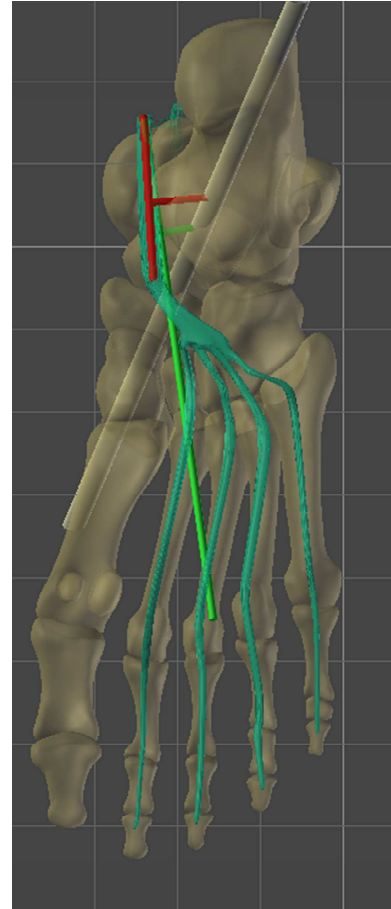
Bijlage IV: Aangepaste Momentsarmen



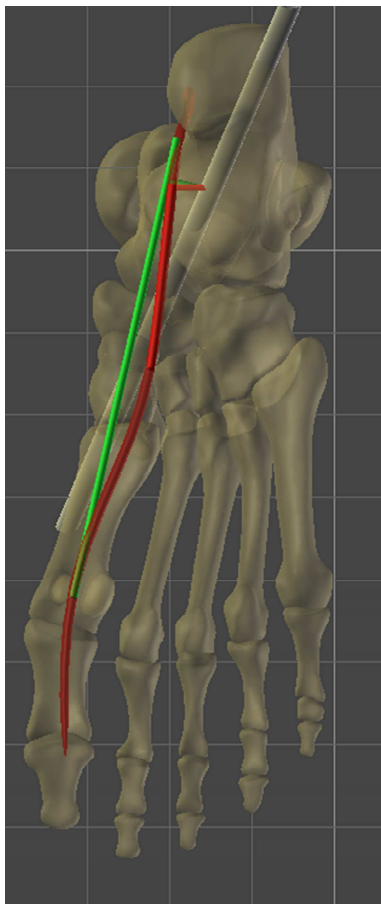
Afbeelding 35: Momentsarm EDL.



Afbeelding 37: Momentsarm EHL.



Afbeelding 34: Momentsarm FDL.



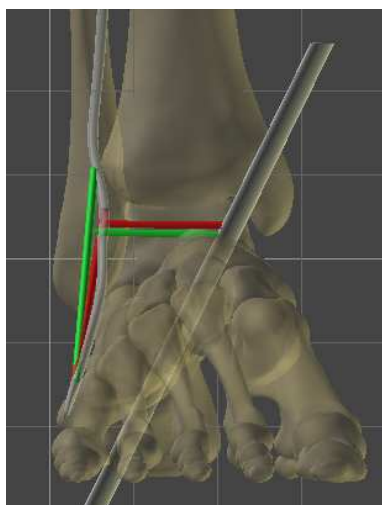
Afbeelding 36: Momentsarm FHL.



Afbeelding 39: Momentsarm PL.



Afbeelding 38: Momentsarm PB.



Afbeelding 42: Momentsarm PT.



Afbeelding 41: Momentsarm TA.



Afbeelding 40: Momentsarm TP.



Afbeelding 43: Momentsarm GS.

Bijlage V: Onderzoeksvoorstel

Inleiding:

De enkel en voet regio bestaat uit 28 botten met 30 gewrichten, het geheel wordt bij elkaar gehouden door vele ligamenten, pezen, spieren en weke delen structuren (Engsberg & Andrews, 1987). Tot de beweegmogelijkheden in de enkel behoren niet alleen de plantair- en dorsaalflexie (in het sagittale vlak), de adductie en abductie (in het transversale vlak) of de eversie en inversie (in frontale vlak) van de voet, maar ook de pronatie en supinatie rond om een compromis-as. Hierbij gaat het niet om een beweging *van* de voet maar bewegingen *in* de voet (Gerritsen, Berger, Elshoud & Schutte, 2016).

Pronatie en supinatie zijn bewegingen die voorkomen in het achterste deel van de voet, de middenvoet en de enkel. De beweging vindt plaats in drie vlakken, pronatie is een combinatie van eversie, abductie en dorsaalflexie. Waar supinatie een combinatie is van inversie, adductie en plantairflexie (Kitaoka, Luo & An, 1997).

De supinatie en pronatie kunnen worden uitgevoerd in een belaste en in een onbelaste voet. In het geval van een onbelaste beweging vindt de supinatie beweging hoofdzakelijk plaats tussen een stilstaande Talus enerzijds en het os naviculare en de calcaneus, anderzijds. Hierbij gebeurt het volgende: het os naviculare schuift voor de vrijwel stilstaande Talus langs en neemt het os cuboideum mee, dat op zijn beurt de calcaneus meevoert, die daardoor een kantelbeweging maakt (Gerritsen, Berger, Elshoud & Schutte, 2016).

In het boek Anatomie in Vivo wordt op gedetailleerde wijze de werking van de verschillende spieren op het enkel gewricht beschreven. Dit boek, dat in eerste plaats bedoeld is als instructie bij de praktijk van de anatomie in vivo, is door de bijzondere illustraties en de grondigheid van de beschrijvingen tegelijkertijd een naslag werk (Bohn Stafleu van Loghum, 2016). Hoewel dit boek bestemd is voor opleidingen in het hbo en wo, is de beschrijving van de pronatie en supinatie beweging in de enkel niet sluitend, aldus Henk Schutte coauteur van Anatomie in Vivo (Schutte, 2017).

In dit onderzoek zal een poging worden gedaan het boek Anatomie in Vivo aan te vullen door de momentsarmen van verschillende spieren in betrekking tot de pronatie en supinatie beweging te beschrijven. De onderzoeksvraag voor deze scriptie luidt als volgt: 'Wat zijn de momentsarmen van spieren in de pronatie en supinatie beweging die in de literatuur onvoldoende zijn gekwantificeerd?'.

Deze vraag zal worden beantwoord aan de hand van een literatuurstudie en een snijzaalanalyse. De literatuurstudie wordt uitgevoerd aan de hand van een viertal deelvragen: 'Wat is de definitie van pronatie en supinatie?', 'Welke spieren zijn met welke momentsarmen bij de pronatie en/of supinatie beweging betrokken?', 'Wat zijn parameters van de pronatie en supinatie beweging?' en 'Welke parameters van de momentsarmen van spieren in de pronatie en/of supinatie beweging zijn niet/onvoldoende gekwantificeerd?'.

Vervolgens zal aan de hand van een snijzaalanalyse de ontbrekende parameters van de momentsarmen in de pronatie en supinatie beweging worden onderzocht en beschreven. Ter afsluiting van het onderzoek wordt een ondersteunend fysiek model gemaakt waarin de momentsarmen van de spieren in de pronatie en supinatie beweging, met gebruik van hout en touwen, versimpeld wordt weergegeven.

Methode:

In dit onderzoek worden drie onderdelen doorlopen: de literatuurstudie, de snijzaal analyse en het ontwerpen en bouwen van een fysiek model.

De literatuurstudie:

Voor dit onderzoek wordt in de database van PubMed en Google Scholar naar Engelstalige literatuur gezocht. De gebruikte zoekwoorden zijn: Pronation, Supination, Ankle, Talocruralis, Talocalcaneonavicularis, Joint, Muscle momentum, Momentum, Foot, Pedis. Deze worden in eerste instantie los van elkaar gezocht (OR) en aan de hand van de gevonden resultaten gecombineerd (AND). De gevonden artikelen en gebruikte zoektermen worden genoteerd.

Door de Titel en het Abstract van de gevonden artikelen te lezen, wordt een eerste selectie gemaakt. Hierbij ligt de nadruk vooral op het filteren op relevante literatuur. De relevante bevonden artikelen worden aan de volgende inclusiecriteria en exclusiecriteria getoetst. De inclusiecriteria zijn: In Vivo of Vitro, Menselijk en Volgroeid. De exclusiecriteria zijn: Ziekte en Afwijkingen (genetische of motorisch). De toetsing vindt plaats door de Introduction, Discussion en Conclusion te scannen.

Van de overgebleven artikelen wordt het geheel geanalyseerd. Hierbij worden notities over de studie specificaties, resultaten en conclusies gemaakt (Bijlage I). Eventueel kan de literatuur worden aangevuld met relevante verwijzingen uit eerder gevonden artikelen.

De schematische weergave van de informatie uit de gevonden artikelen wordt gebruikt om artikelen te groeperen. Aan de hand hiervan worden de eerder opgestelde deelvragen beantwoordt en wordt het onderzoeksprotocol opgesteld.

De snijzaalanalyse:

Het protocol van de snijzaal analyse wordt in overleg met Henk Schutte opgesteld aan de hand van in de literatuurstudie gevonden artikelen.

Het fysieke model:

Het fysieke model zal een versimpelde weergave van de resultaten van dit onderzoek geven. Dit model zal voornamelijk bestaan uit hout en touwen. Het doel van het model is om deze complexiteit van de verschillende momentsarmen van de betrokken spieren versimpeld weer te geven.

Hiervoor zal tijdens het ontwerpen een keuze moeten worden gemaakt tussen relevante en minder relevante structuren. Dit model zal een soortgelijke opbouw krijgen als het voorbeeld in Afbeelding 44.

Het doel is om een anatomisch correcte doch versimpelde weergave van de momentsarmen van spieren weer te kunnen geven.



Afbeelding 44: Fysiekmodel (Rgraylint, 2018).

Referenties:

Bohn Stafleu van Loghum (2016, Jan 18). *Anatomie in Vivo*. <https://www.bsl.nl/shop/anatomie-in-vivo-9789036813372.html> : Bohn Stafleu van Loghu Tetrieved from anatomi in Vivo: <https://www.bsl.nl/shop/anatomie-in-vivo-9789036813372.html>.

Engsberg, J., & Andrews, J. (1987). Kinematic analysis of the talocalcaneal/talocrural joint during running support. *Medicine and Science in Sports and Excercise*, 19(3), 275-284.

Gerritsen, B., Berger, , Elshoud, G., & Schutte, H. (2016). *Anatomie in Vivo*. Houten: Bohn Stafleu van Longhu

Kitaoka, H., Luo, Z., & An, K.-N. (1997). Three-Dimensional Analysis of Normal Ankle and Foot Mobility. *The American Journal of Sports Medicine*, 25(2), 238-242.

Rgraylint. (2018, Jan 17). *Instructables (Afbeelding)*. Retrieved from Science Fair - Articulated Hand < \$20: <http://www.instructables.com/id/Science-Fair---Articulated-Hand--20/>

Schutte, H. (2017, Okt 30). Stageopdracht bespreking. (S. Erd, Interviewer)

Bijlage VI: Persoonlijke leerdoelen

Testen & Onderzoeken, Bewegingsanalyse:

- Stage: In Stage I en Stage II heb ik al onderzoeken afgenomen. Hier stond vooral informatieverzameling centraal. De proefpersonen namen deel op vrijwillige basis.
- Doel: Ervaring opdoen en handigheid ontwikkelen met het opzetten en uitvoeren van toegepaste onderzoeken.
- Actie: Anatomisch onderzoek opzetten en uitvoeren. Hierbij voldoen aan (wettelijke/ethische) eisen en wensen om maximale informatie te verkrijgen.
- Evaluatie: Hoewel ik tijdens dit onderzoek de protocollen zelf heb opgesteld en in overleg met Henk de metingen heb uitgevoerd, heb ik geen aanvraag moeten doen bij de ethische commissie. Ik heb wel geleerd wat de verschillende mogelijkheden en voordelen van snijzaalonderzoek zijn.

Management:

- Stage: In Stage I heb ik al veel aan tijdmanagement gewerkt en in Stage II meegewerkt aan een grotere studie.
- Doel: De eerder opgedane ervaring toepassen in de tijds- en projectmanagement van mijn eigen afstudeeropdracht.
- Actie: Duidelijke en reële planning. Deze ook handhaven en ruimte laten voor vertraging zodat met zekerheid het onderzoek op tijd kan worden afgerond.
- Evaluatie: Door de beperkte aantal momenten dat ik de snijzaal in kon heeft het project meer vertraging opgelopen dan vooraf ingecalculeerd. Hierdoor is in de laatste weken het afronden van het verslag krap geworden. Met extra feedback momenten met Henk is het ons gelukt toch van deze mogelijkheden gebruik te kunnen maken.

Carrièreperspectief:

- Stage: In Stage I en Stage II al twee verschillende werkvelden verkend (Projectmanagement en Topsport).
- Doel: Een beeld vormen bij pathologisch onderzoek en ervaring in het werkveld opdoen.
- Actie: Zo breed mogelijk beeld krijgen van de mogelijkheden in dit werkveld en door middel van gesprekken met collega's alle opties doorgronden.
- Evaluatie: Hoewel ik erg veel heb geleerd van het onderzoek op de snijzaal, denk ik toch dat ik liever in een team werk. De tijd op de VU heeft mij wel doen overwegen na mijn opleiding door te studeren met een master bewegingswetenschappen.