

De rol van de voetspieren bij het voorkomen van inversietrauma's

Inge ROBEYNS

promotor :

Prof. dr. Koos VAN ZWIETEN

Voorwoord

De thesis schrijven vormt het hoogtepunt en het sluitstuk van een universitaire opleiding en ze komt er natuurlijk niet zomaar. Je doet het met vallen en opstaan, met een lach en een traan. Ik spendeerde zeer lange en eenzame dagen in de dissectiezaal en bracht veel uren door aan de computer. Maar het was wel een ongelooflijk leerrijk jaar. In dat jaar stond ik er gelukkig niet alleen voor. Zonder de hulp van andere zou deze verhandeling er heel anders hebben uitgezien. Vandaar dat ik hier graag enkele personen wil bedanken voor hun rechtstreekse bijdrage tot het voltooien van deze thesis.

In de eerste plaats moet ik zeker mijn promotor, prof. Dr. Koos Jaap Van Zwieten, bedanken. Hij heeft mij op weg geholpen, bijgestuurd, terechtgewezen en aangemoedigd. Ook dank aan prof. M. Vandersteen, prof. P. L. Lippens en Dr. Palmers voor hun hulp, raad en opmerkingen bij het maken van deze thesis.

Dank gaat ook uit naar de mensen van de Universiteit Hasselt die steeds bereid waren om mij verder te helpen met mijn onderzoek. Ik denk hier vooral aan O. De Moor (prosector), R. Jacobs (technicus), L. Houbrechts (technicus) en M. Withofs (fotograaf).

Op deze manier wil ik ook iets terug geven aan mijn vriend, Wilfried, die mij altijd is blijven steunen zodanig dat ik met succes mijn studies kan beëindigen.

Tot slot wil ik ook graag mijn ouders bedanken, die het mij niet hebben kwalijk genomen dat ik de huiskamer bezaaide met boeken, artikelen en laptop. Ook voor de jarenlange steun en toeverlaat wil ik hen enorm hard bedanken.

Abstract

Situering: In deze studie werd gekeken naar de rol van voetspieren bij het voorkomen van inversietrauma's. Hierbij wordt vooral nagegaan of, op het moment dat de voet nog vrij kan bewegen en geen belasting ondervindt (dus tijdens de zwaai fase van de wandelcyclus), er al enkele voetspieren actief zijn om zo een inversietrauma te voorkomen. Hierbij is men vooral geïnteresseerd in de intrinsieke voetspieren, zoals de m. extensor hallucis brevis en de m. adductor hallucis, die bestaat uit het caput transversum en obliquum. Voor de volledigheid werd ook nagegaan in welke mate de m. tibialis anterior (een invertor) en de m. peroneus longus (en evertor) zorgen voor respectievelijk inversie en eversie. Er werd dus gekeken naar de precieze werking van deze intrinsieke en extrinsieke voetspieren en naar hun biomechanische kenmerken ten opzichte van de in- en versie posities van de voet. Bovendien werd ook nagegaan of er eventuele variaties voorkwamen in deze spieren.

Methoden: Aan de hand van een anatomisch onderzoek op tien humane preparaten, worden metingen uitgevoerd op de tracings van hun röntgenfoto's. Voor elke spier keek men eerst naar grootte van de hoek waarmee ze de longitudinale inversieas kruiste. Uit deze hoeken kan theoretisch de mate van spiereffectiviteit afgeleid worden bij het voorkomen van inversietrauma's. Nadien werd de lengte van hun momentarm, ten opzichte van deze inversieas, gemeten. Deze afstand geeft bijkomende informatie over de bewegingsefficiëntie van de spier.

Resultaten: Dit onderzoek heeft benadrukt dat de m. tibialis anterior een zeer sterke invertor is en dat de m. peroneus longus in sterkere mate betrokken is bij eversiebewegingen van de voet. Ook is gebleken dat het caput transversum van de m. adductor hallucis theoretisch, in sterkere mate betrokken is bij het voorkomen van inversietrauma's. Opmerkelijk is ook dat dit caput transversum van de m. adductor hallucis afwezig was in 30% van de tien preparaten.

Conclusies: Uit dit onderzoek kunnen we in elk geval besluiten dat het caput transversum van de m. adductor hallucis, in sterkere mate een voorbereidende rol zou kunnen spelen ter voorkoming van een inversietrauma. Personen waarbij de m. adductor hallucis enkel bestaat uit een caput obliquum, zouden dus, theoretisch, veel sneller een inversietrauma kunnen ontwikkelen. Verder zou dit niet alleen gevolgen kunnen hebben voor sporters maar ook voor mensen met Multiple Sclerose (MS). Aangezien bij deze patiënten de extensoren minder goed functioneren, zal bijgevolg de kans op enkelinstabiliteit vergroten. Echter verder onderzoek is vereist.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	1
1.1	Inversietrauma.....	1
1.2	Anatomie van de voet en de enkel	2
1.3	Bewegingsassen van de voet	4
1.3.1	Bewegingsas van de articulatio talocruralis	4
1.3.2	Bewegingsas van de articulatio subtalaris	5
1.3.3	Bewegingsassen van het transversaal tarsaal gewricht	5
1.4	De normale wandelcyclus.....	8
1.5	Spieractiviteit tijdens het wandelen	9
1.5.1	Spieractiviteit tijdens de standfase.....	9
1.5.2	Spieractiviteit tijdens de zwaai fase	10
1.6	Doel van het onderzoek.....	12
2	Materiaal en methode	16
2.1	Dissectie.....	16
2.2	Metingen.....	17
2.2.1	Bepalen van meetpunten	17
2.2.2	Het maken van radiografieën	18
2.2.3	Het maken van tracings	19
3	Resultaten.....	21
3.1	Gevonden variaties in de voet.....	22
3.2	Resolutie en contrast van de opgenomen RX beelden	25
3.3	Identificatie van de markeringen en de longitudinale inversieas	30
3.3.1	De M. extensor hallucis brevis	34
3.3.2	Het caput obliquum van de m. adductor hallucis.....	34
3.3.3	Het caput transversum van de m. adductor hallucis	35
3.3.4	De m. peroneus longus.....	36
3.3.5	De m. tibialis anterior.....	37
4	Discussie.....	42
	Literatuur.....	49

1 Inleiding

In dit onderzoek naar de functioneel-anatomische achtergrond van niet sagittale bewegingen van de voet staat het voorkomen (preventie) van inversietrauma's centraal. Deze laterale enkelverzwikking is het meest voorkomende traumatische sportletsel ter hoogte van de onderste extremiteit (40% van alle sportletsels). Ze treedt op wanneer de enkel, buiten de wil van de sporter, in inversie gekanteld wordt en in deze positie neerkomt op de grond (figuur 1)



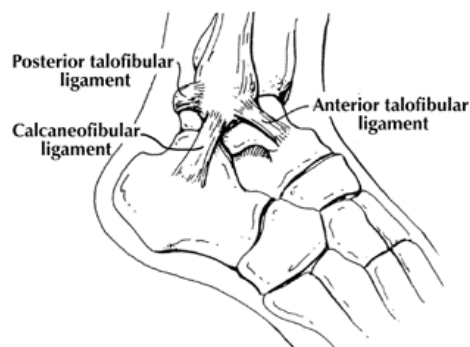
Figuur 1: Inversie en eversion van de voet (Tortora & Grabowski, 2000) (1)

1.1 Inversietrauma

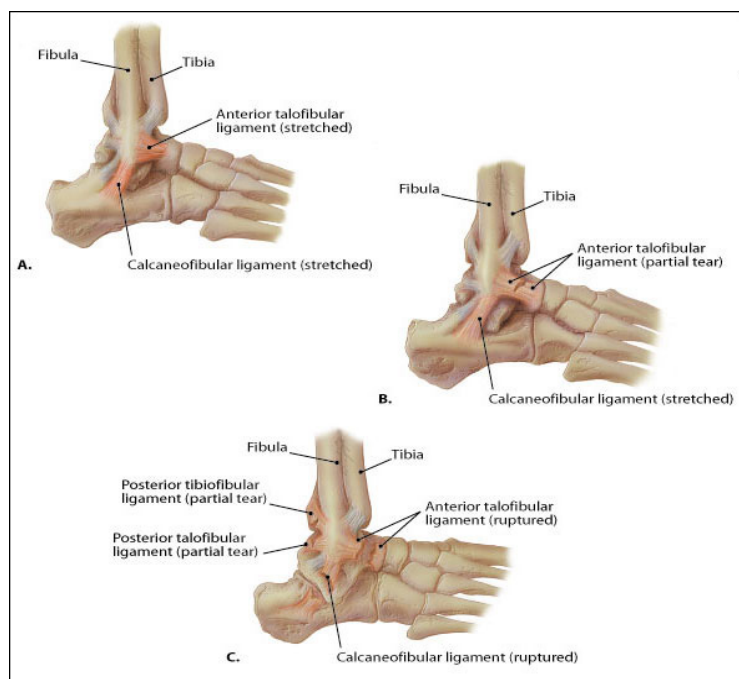
Inversietrauma's komen voor in meerdere gradaties, variërend van licht tot ernstig. Een graad I letsel kan aanzien worden als een verrekking van de ligamenten. Deze ligamentaire structuren houden de verschillende botstukken samen en ondersteunen de enkel (figuur 2). Een verrekking van deze ligamenten heeft een minimale functionele beperking tot gevolg (figuur 3a). Bij een graad II letsel is er een partiele scheur van de ligamentaire structuren (figuur 3b). Dit leidt tot pijn, zwelling en een bepaalde instabiliteit. Wanneer de ligamentaire structuren volledig gescheurd zijn, spreekt men van een graad III letsel (figuur 3c). Dit gaat gepaard met pijn, zwelling, bewegingsbeperking en een duidelijke instabiliteit (2).

Een inversietrauma is een laterale enkelverzwikking en het eerste wat beschadigd wordt is het voorste talofibulaire ligament (lig. talofibulare anterior). Het tweede ligament dat beschadigd wordt is het calcaneofibulaire ligament (3). Nadat het lig. talofibulare anterius beschadigd is neemt de inversie beweging van de achtervoet toe waardoor er meer kracht wordt uitgeoefend op de overblijvende intacte ligamenten. Schade aan het achterste talofibulaire ligament (lig. talofibulare posterior) heeft alleen plaats bij de ernstige enkelletsels en gaat meestal gepaard met fracturen, dislocaties of beiden (4).

Inversietrauma's komen veelvuldig voor in sporten zoals basketbal, volleybal, voetbal en atletiek. Dus voornamelijk bij sporten waar er loop- en springactiviteiten gebeuren. Ze kunnen echter ook optreden tijdens het wandelen.



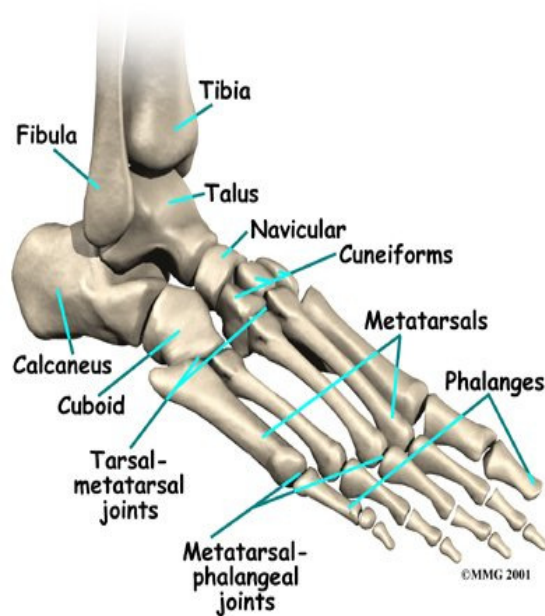
Figuur 2: De laterale ligamenten van de enkel
(Nicholas J, 2002) (5)



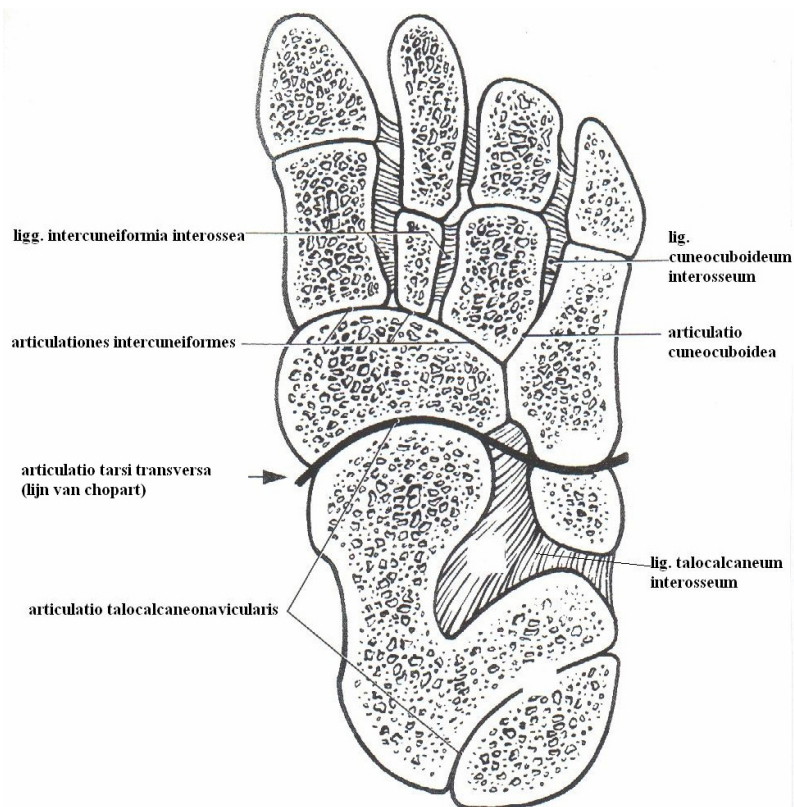
Figuur 3: verschillende gradaties die kunnen voorkomen bij inversietrauma's (Michael W, 2001) (2)

1.2 Anatomie van de voet en de enkel

De voet kan onderverdeeld worden in 3 functionele segmenten: de voorvoet, de middenvoet en de achtervoet (figuur 4). De voorvoet bevat 5 metatarsalen en 14 falangen. Hij is gescheiden van de middenvoet door de tarsometatarsale gewrichten (gewricht van Lisfranc) (figuur 4). De middenvoet omvat de 3 cuneiformen, het os naviculare en het os cuboideum en is gescheiden van de achtervoet door het medio-tarsale gewricht of het transversaal tarsaal gewricht (gewricht van Chopart) (figuur 5). De achtervoet is opgebouwd uit twee botstukken, namelijk de talus en de calcaneus (6). In deze achtervoet bevinden zich ook nog twee gewrichten, namelijk de articulatio talocruralis en de articulatio subtalaris. De articulatio talocruralis (het bovenste spronggewricht) zorgt voor een verbinding tussen de tibia, de fibula en de talus (figuur 6). De articulatio subtalaris zorgt voor een articulatie tussen de onderkant van de talus met de bovenzijde van de calcaneus (figuur 7) (8).



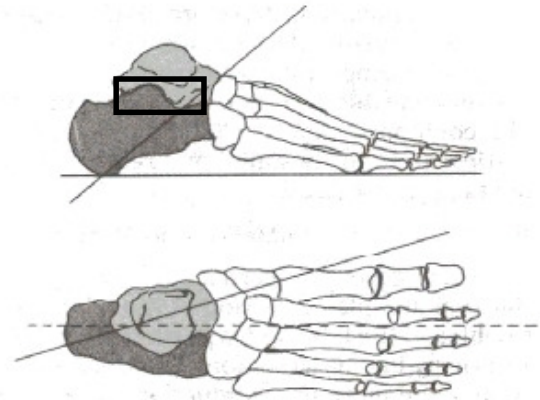
Figuur 4: De verschillende botstukken van de voet (www.allaboutarthritis.com) (6)



Figuur 5: Het medio-tarsale of transversaal tarsaal gewricht (zie pijl) vormt een scheidingslijn tussen middenvoet en achtervoet (Feneis H, 1999) (7)



Figuur 6: De articulatio talocruralis
(Versprille K, 2004) (10)



Figuur 7: De articulatio subtalaris (zie zwarte kader) vormt een scheiding tussen de talus (lichtgrijs) en de calcaneus (donker grijs) (Monteyne P, 2002) (9).

Boven: lateraal zicht

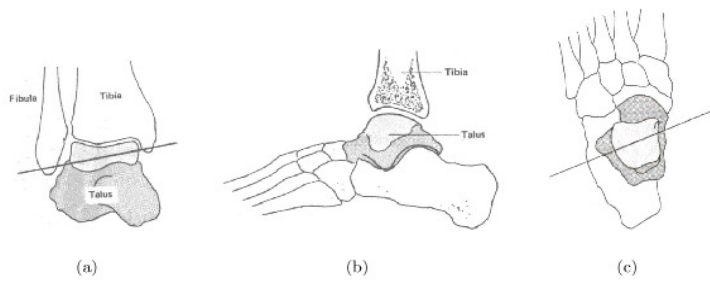
Onder: dorsaal zicht

1.3 Bewegingsassen van de voet

In de voet zijn er vier verschillende bewegingsassen, één in de articulatio talocruralis, één in de articulatio subtalaris en twee in het transversaal tarsaal gewricht.

1.3.1 Bewegingsas van de articulatio talocruralis

De articulatio talocruralis van de enkel vormt een verbinding tussen drie beenderen, de tibia, de fibula en de talus. Door de vele ligamenten die rond de enkel aanwezig zijn, is de beweging in dit gewricht quasi uniaxiaal rond een schuinliggende as (figuur 12a). Deze as loopt doorheen de mediale (binnenenkel) en laterale malleolus (buitenenkel) en doorheen de talus. Men neemt algemeen aan dat deze as in het frontale vlak ongeveer 10° naar beneden helt aan de buitenzijde van de voet (zie figuur 8a). In het transversale vlak ligt de as 20 tot 30° lateraal gedraaid (zie figuur 8c). Deze gewrichtsas is aan verschillende vlakken gemeenschappelijk. Dit heeft tot gevolg dat de beweging rond het enkelgewricht een combinatie van bewegingen is in de verschillende gedefinieerde vlakken. Dus de talocrurale dorsiflexie wordt vergezeld door een lichte laterale beweging van de voet en bij de plantairflexie treedt er een lichte mediale beweging van de voet op. Toch blijft de voornaamste beweging deze in het sagittale vlak (dorsiflexie en plantairflexie) (figuur 9 en figuur 12a) (8, 9).



Figuur 8: De art. talocruralis met zijn licht schuinliggende as.

(a) in het frontaal vlak (b) in het sagittale vlak (c) in het transversaal vlak (Monteyne P. 2002) (9)



Figuur 9: Dorsiflexie en plantairflexie van de voet (Tortora & Grabowski, 2000) (1)

1.3.2 Bewegingsas van de articulatio subtalaris

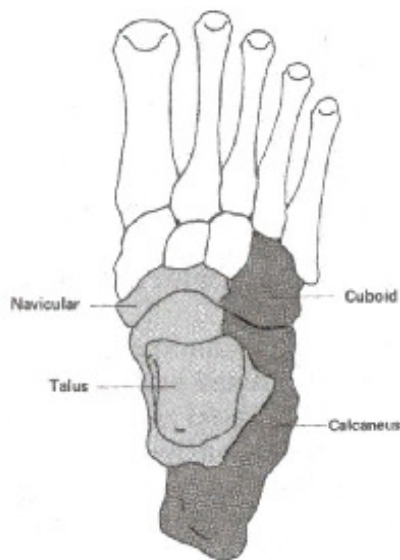
De articulatio subtalaris wordt gevormd door een concaaf gedeelte van het onderoppervlak van de talus en het convex gedeelte van de Facies articularis talaris van de calcaneus (9). De beweging rond de as van dit gewricht is een combinatie van bewegingen, in de drie anatomische vlakken, die men pronatie en supinatie noemt. Supinatie wordt gedefinieerd als de beweging van de distale component van de voet in inversie, plantairflexie en adductie. Bij pronatie zal de distale component van de voet bewegen in eversie, dorsiflexie en abductie. Deze bewegingsas van het subtalaire gewricht gaat van de dorsomediale zijde van het os naviculare doorheen het laterale plantaire deel van de calcaneus (figuur 12b) (8, 9).

1.3.3 Bewegingsassen van het transversaal tarsaal gewricht

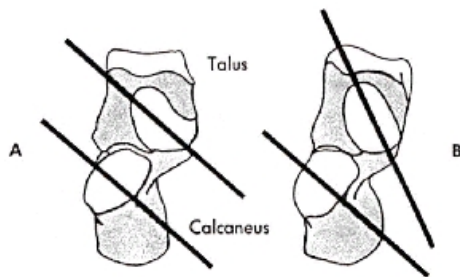
Het transversaal tarsaal gewricht bestaat uit twee delen, de articulatio talocalcaneonavicularis en de articulatio calcaneocuboidea (figuur 10). Deze gewrichten kunnen enigszins afzonderlijk van elkaar werken, maar meestal wordt een beweging van het ene vergezeld van enige beweging van het andere (9). De twee gewrichten hebben elk hun eigen bewegingsas. In de articulatio talocalcaneonavicularis is de schuine of obliquum as gelegen en in de articulatio

calcaneocuboidea bevindt zich de longitudinale as. De obliquum as ligt ongeveer evenwijdig met de as van de articulatio talocruralis en zorgt vooral voor plantairflexie en dorsiflexie (figuur 12c). De longitudinale as loopt parallel met de subtalaire as en zorgt zo ook voor eversie-abductie en inversie-adductie (figuur 12d). Samen zorgen de twee assen voor een supinatie-pronatie beweging (8).

De beweging in het transversaal tarsaal gewricht is echter afhankelijk van de positie van het subtalaire gewricht. Wanneer het subtalaire gewricht gepronéerd is (eversie), dan zullen de twee assen divergeren en uiteindelijk parallel komen te staan. Hierdoor zal het transversaal tarsaal gewricht mobiel zijn en kan het bewegen. Wanneer echter het subtalaire gewricht supineert (inversie), zullen de twee assen convergeren waardoor de bewegingsmogelijkheden beperkt worden (8).



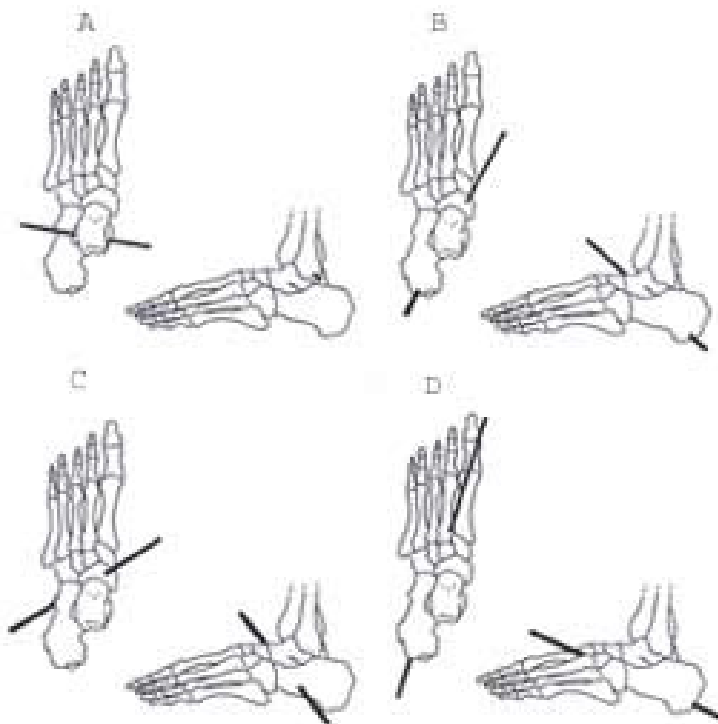
Figuur 10: Het transversaal tarsaal gewricht. Licht grijs: art. talocalcaneonavicularis. Donker grijs: articulatio calcaneocuboidea (Monteyne P, 2002) (9)



Figuur 11: Vooraanzicht van de assen van het transversaal tarsaal gewricht (Monteyne P, 2002) (9)

A: Als de calcaneus eversie ondergaat hebben de art. calcaneocuboidea en de art. talocalcaneonavicularis evenwijdig liggende assen en de voet zal bijgevolg een maximale beweeglijkheid bezitten.

B: De assen van de art. calcaneocuboidea en de art. talocalcaneonavicularis kruisen elkaar wanneer de calcaneus inverteert (supinatie van de voet) wat de beweeglijkheid van de voet sterk zal reduceren.



Figuur 12: De bewegingsassen van de voet in het transversale vlak en sagittale vlak

(a) de schuinliggende as van de articulatio talocruralis **(b)** de as van de articulatio subtalaris **(c)** de schuine as van het transversaal tarsaal gewricht **(d)** de longitudinale as van het transversaal tarsaal gewricht (Karas & Hoy, 2002) (8)

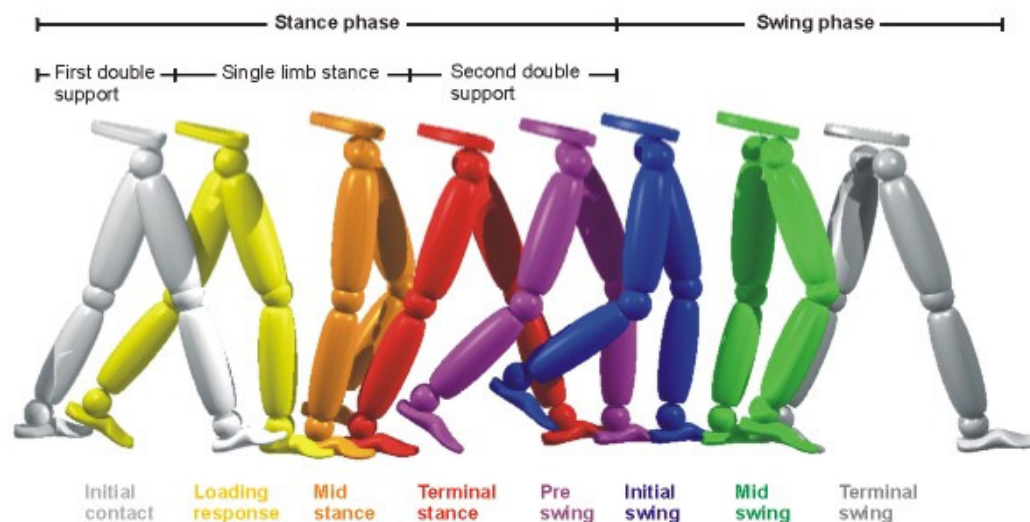
Om na te gaan wat mogelijk aanleiding kan zijn tot een inversietrauma, volgt nu eerst de bespreking van de normale wandelcyclus.

1.4 De normale wandelcyclus

Een normale wandelcyclus wordt opgedeeld in twee fasen, een standfase en een zwaai fase. Een been bevindt zich 60% van de tijd in de standfase en 40% in de zwaai fase.

De standfase begint wanneer de hiel van het voorste been, bijvoorbeeld het rechter been, contact maakt met de grond (heel strike, foot strike of initieel contact). Daarna zal de voet van dit been volledig contact maken met de grond, terwijl de hiel van de het andere been loskomt van de grond (foot flat, opposite toe-off of loading response). Tijdens het derde deel van de standfase blijft de voet van het rechter been in vol contact met de grond, maar zal de voet van het linker been de grond niet meer raken (mid-stance of opposite toe off). Vervolgens is er de heel-off of terminal stance fase waarin de hiel van het rechter been geen contact meer maakt met de grond. Dit wordt ook wel de opposite foot strike genoemd, aangezien de hiel van het linker been nu de grond raakt. De standfase eindigt wanneer, na het loskomen van de hiel, ook de tenen geen contact meer hebben met de grond. De eerste teen zal als laatste geen contact meer maken met de grond (toe off of pre swing) (figuur 13) (11, 12).

Het tweede deel van het wandelpatroon, de zogenaamde zwaai fase, begint wanneer de rechter voet geen contact meer heeft met de grond. Dit been is nu vrij om te bewegen (initiële zwaai fase). Eerst zal dit zwaaiende been tot onder de romp gebracht worden (mid swing of vroege zwaai fase). Vervolgens zal de hiel van deze voet terug contact maken met de grond (heel strike of late zwaai fase) (figuur 13) (11, 12).



Figuur 13: De verschillende fasen tijdens een normale wandelcyclus

(<http://www.sportsci.com/apasgait/images/Afbeelding4.1.jpg>) (12)

1.5 Spieractiviteit tijdens het wandelen

Verschillende onderzoeken, die verzameld werden door Michael Gunther (11), hebben met behulp van elektromyografie (EMG) de spieractiviteit bestudeerd tijdens het wandelen (figuur 14). Met behulp van deze techniek kan men de signalen, die actieve spieren afgeven, registreren. Het is dus een bijkomende manier om informatie te verkrijgen over wat zich inwendig in het bewegingsstelsel afspeelt.

1.5.1 Spieractiviteit tijdens de standfase

Tijdens de loading response fase blijken zeer veel spieren actief te zijn. De dorsiflexoren van de enkel zijn geactiveerd om ervoor te zorgen dat de voet gecontroleerd de grond raakt. Ook de m. quadriceps femoris is actief om de flexiepositie van de knie te controleren. Er treedt een isometrische werking op van de hamstrings en van de gluteus maximus. Door de isometrische werking wordt de flexie van de heup onder controle gehouden. Er werd een activiteit geregistreerd in de adductoren van de heup, de m. tensor fasciae latae en de bovenste delen van de m. gluteus maximus. Deze spieren controleren de adductie van de heup. De mm. gluteus medius en minimus en de spieren van de adductorgroep zorgen, door hun activiteit, ervoor dat de heup een inwendige rotatie ondergaat. Wanneer het zwaartepunt van het lichaam beweegt over het stilstaande been (mid-stance), zullen de adductoren van de heup actief blijven. Tijdens deze fase worden ook de intrinsieke voetspieren geactiveerd. Deze intrinsieke voetspieren zijn hier voornamelijk de subtalaire supinators, en hun supinatiekracht wordt versterkt door activiteit van de plantaire flexoren in de enkel (onder andere via de achillespees). De m. quadriceps femoris spieren zullen concentrisch werken waardoor de knie in extensie gaat (11, 13).

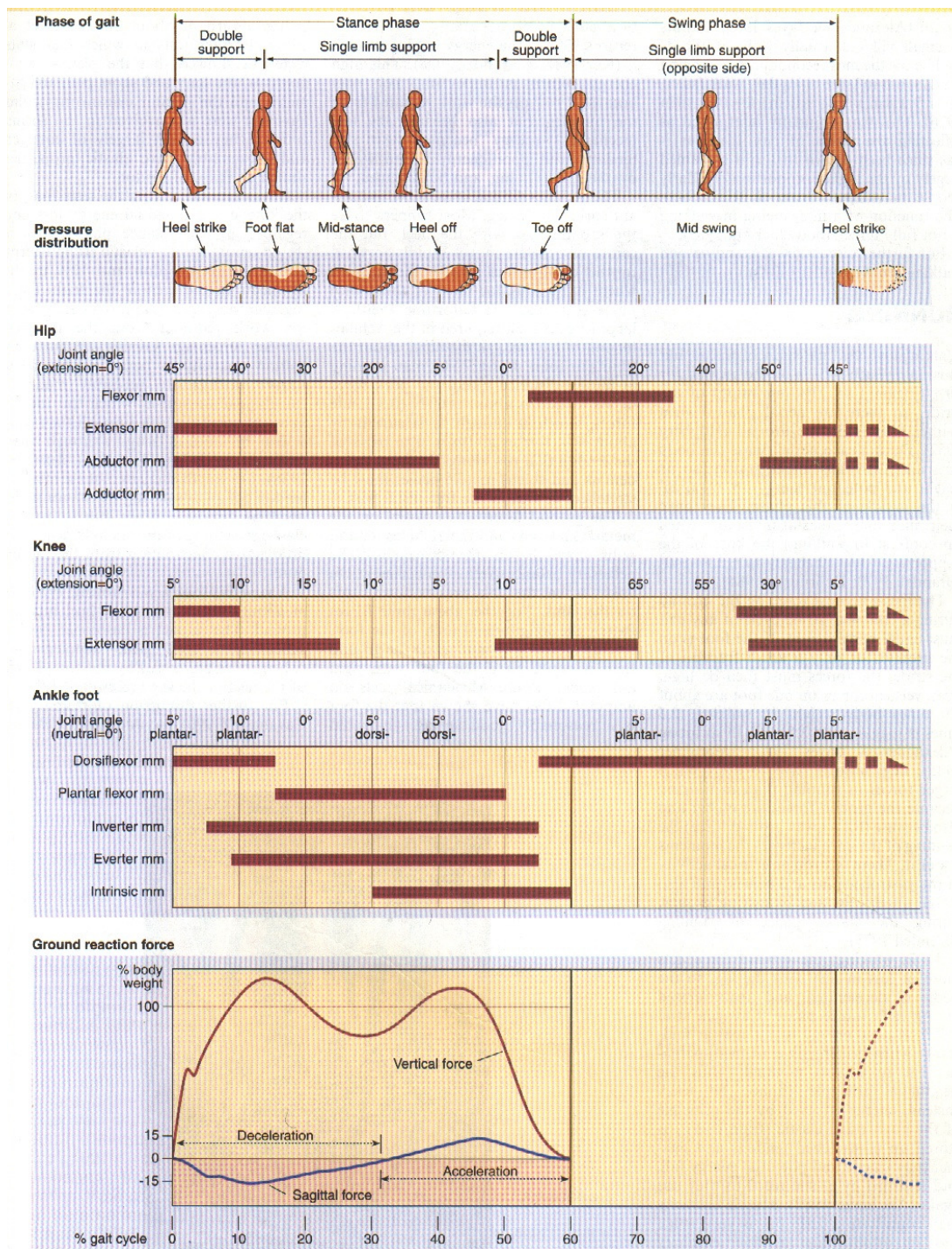
De intrinsieke en ook de extrinsieke spieren van de voet (dit zijn de m. tibialis anterior, de m. peroneus longus en de m. peroneus brevis) blijven geactiveerd tijdens de heel-off fase, maar ze hebben nu eerder een isometrische activiteit. Ook de adductoren van de heup gaan van een excentrische naar een isometrische tot concentrische activiteit. Door deze verandering wordt de pelvis omhoog geheven als voorbereiding voor de swingfase. De iliopsoas spieren worden ook actief tijdens deze fase en controleren excentrisch de maat van heup extensie. Aangezien zowel de grond-reactiekrachten als de activiteit in de plantaire flexoren de extensie van de knie beïnvloeden, en ook omdat het de eindstand is van de knie, zullen de quadriceps niet meer actief zijn tijdens de heel-off fase (figuur 11) (11, 13).

Tijdens de preswing fase zullen er opnieuw zeer veel spieren actief zijn. Niet alleen de plantaire flexoren maar ook de iliopsoas verkrijgen een concentrische activiteit. Op deze

manier kunnen ze bijdragen aan de propulsie van het zwaaibeen. De mm. erector spinae produceren een grotere EMG activiteit dan tijdens de loading response fase. Om de flexie van de knie te beperken en de flexie van de heup te versterken, zal de m. rectus femoris, bij personen die snel wandelen, werken op een isometrische manier. Wanneer een persoon trager wandelt, zullen ook de flexoren van de knie, zoals de korte kop van de biceps femoris, werken, onder andere omdat de grond-reactiekrachten en de gewricht-reactiekrachten te klein zijn om te zorgen voor een flexie van de knie (figuur 11) (11, 13) .

1.5.2 Spieractiviteit tijdens de zwaai fase

Tijdens het begin van deze fase zullen de extensoren van de knie en de flexoren van de heup hun activiteit verder zetten. De dorsiflexoren werken concentrisch zodanig dat de voorvoet de grond niet meer raakt. Bij bepaalde personen zullen ook de adductoren van de heup helpen om de heup in de flexiestand te krijgen. Juist voordat de voet de grond raakt, zullen de quadriceps en de abductoren van de heup actief zijn. Daarna zullen de hamstrings excentrisch werken en de dorsiflexoren houden de enkel in de juiste positie zodanig dat deze contact kan maken met de grond (figuur 11) (11, 13) .



Figuur 14: De gebeurtenissen die optreden tijdens de verschillende fasen van de wandelcyclus. De verandering van de druk op het plantaire oppervlak van de voet, veranderingen in de hoeken van de heup-, knie- en enkelgewrichten samen met de activiteit in de corresponderende spiergroepen en de verticale en horizontale componenten van de grond-reactiekracht tijdens de standfase worden weergegeven (Williams P.L, 1995) (11)

1.6 Doel van het onderzoek

In deze studie zijn we vooral geïnteresseerd in de zwaafase van de wandelcyclus. Uit het voorgaande is gebleken dat de plantaire flexoren, de invertoren, de evertoren en de intrinsieke voetspieren niet actief zijn gedurende de zwaafase van de normale wandelcyclus. Aangezien tijdens het begin van deze fase de voet lichtjes gesupineerd of geïnverteerd is, zou dit betekenen dat de voet op de grond terechtkomt in een inversiestand.

Het is mogelijk dat bepaalde voetspieren een voorbereidende rol spelen bij het sturen van de beweging. Aangezien, in de literatuur, onvoldoende gegevens aanwezig zijn over de rol van de intrinsieke voetspieren bij in- en eversiebewegingen tijdens de wandelcyclus, proberen we in dit onderzoek een antwoord te formuleren op de volgende hypothese: “ De intrinsieke voetspieren, bijvoorbeeld de m. extensor hallucis brevis en de m. adductor hallucis, zijn van invloed op de loopbeweging, waardoor inversietrauma's vermeden kunnen worden”.

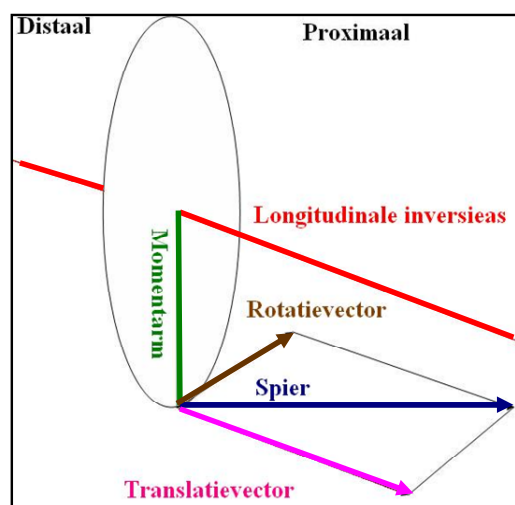
Aangezien wel bekend is dat de dorsiflexoren, zoals de m. tibialis anterior en de m. peroneus longus, actief zijn gedurende de stand- en de zwaafase, wordt er ook gekeken in welke mate deze spieren eventueel een inversietrauma zouden voorkomen.

Om de efficiëntie van deze voetspieren ten opzichte van de in- of eversie te kennen, moet eerst de krachtvector van deze spieren bepaald worden en vervolgens moet de hoek daarvan ten opzichte van de uit de literatuur bekende assen van inversie en eversie gemeten worden. Uit deze hoeken kan theoretisch de mate van spiereffectiviteit afgeleid worden bij het voorkomen van inversietrauma's. Voor dit onderzoek is het meest geschikt een subtalaire as, meer bepaald de longitudinale inversieas, die op de tracings van gewone RX-foto's van ieder voetpreparaat kan worden ingetekend. Deze as loopt volgens Bojsen Møller (1979) en verschillende andere auteurs (14) als één rechte lijn doorheen de knobbel aan de achterzijde van de calcaneus (tuber calcanei), meer bepaald de processus lateralis tuberis calcanei, het plantair uitsteeksel van het os cuboideum (processus calcaneus) waarop het superior deel van de facies articularis cuboidea van de calcaneus rust, en uiteindelijk tussen de eerste en de tweede teen (de eerste interdigitale spleet) (15). Een goede representatie hiervan wordt gegeven door Karas & Hoy (2002).

De m. extensor hallucis brevis, de m. tibialis anterior, de m. peroneus longus en delen van de m. adductor hallucis kruisen deze as schuin zodanig dat in tracings van dorso-plantaire RX-opnames de trekrichtingcomponenten van deze spieren ontbonden kunnen worden in een translatievector en een rotatievector ten opzichte van deze as (figuur 15). De translatievector ligt evenwijdig met de inversie-as en de rotatievector ligt loodrecht op deze as. De lengte van deze laatste vector representeert theoretisch de efficiëntie van de spier ten opzichte van in- of

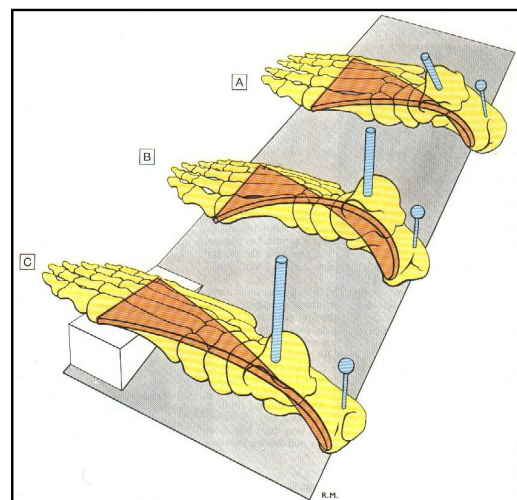
eversie. Door laterale RX-opnames te maken, kan ook de afstand van de spier tot de as gemeten worden. Deze lengte is een maat voor de momentarm ten opzichte van de inversie-as en geeft bijkomende informatie over de bewegingsefficiëntie.

Een welbepaalde spier kan dus enkel een inversie van de voet (figuur 16C) voorkomen, wanneer ze in staat is om de voetzool naar buiten te draaien. Er moet dus gezorgd worden voor een eversiebeweging. Dit kan enkel wanneer de rotatievector van die spier ervoor zorgt dat de voet uit figuur 16 B in tegenwijzerzin draait rond de longitudinale inversieas. Op deze manier zal de mediale voetrand dalen.



Figuur 15: Een spier die de longitudinale inversieas kruist, kan ontbonden worden in een rotatievector en translatievector. De rotatievector staat loodrecht op de inversieas en de translatievector loopt evenwijdig met deze as. De rotatievector vertelt iets meer over hoe de spier beweegt rond de as. Deze vector zorgt ervoor dat de spier zodanig trekt dat de voet een cirkel beschrijft. In dit geval zorgt de rotatievector ervoor dat de cirkel in tegenwijzerzin draait. De straal van deze cirkel is de momentarm van de rotatievector. Deze figuur kan toegepast worden op figuur 16.

N.B. In deze schets is de translatievector groter dan de rotatievector. Het is ook mogelijk dat de rotatievector groter is dan de translatievector. Theoretisch kan worden afgeleid dat dit het geval is wanneer de kruisingshoek van de spier met de as groter is dan 45° .

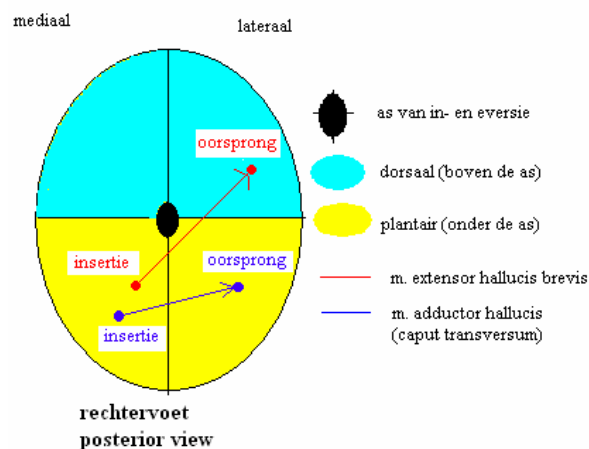


Figuur 16: (A) Supinatie (inversie) van de voet (B) pronatie (eversie) van de voet (C) Supinatie (inversie) van de voet op een onregelmatig oppervlak (Williams P.L, 1995) (16).

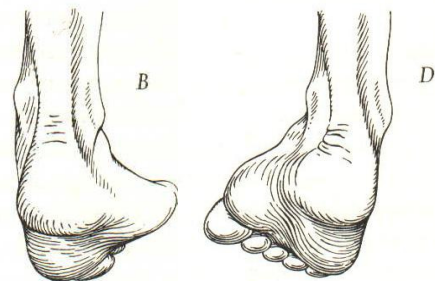
Wanneer de voet geïnverteerd is (figuur A of C) dan zal een bepaalde spier de mediale voetrand naar onder moeten trekken, zodanig dat de mediale voetrand daalt. Op deze manier wordt er dan een eversie (figuur B) van de voet bekomen. Deze figuur wordt abstract voorgesteld in figuur 15.

Met behulp van deze informatie kan men verwachten dat de m. extensor hallucis brevis en het caput transversum van de m. adductor hallucis waarschijnlijk een voorbereidende rol spelen ter voorkoming van het inversietrauma. De m. extensor hallucis brevis ontspringt aan het laterale deel van de calcaneus en insereert aan de phalanx proximalis. De oorsprong is dus lateraal gelegen en de insertie mediaal. Door te kijken naar de ligging van de longitudinale inversieas kan men ook afleiden dat de oorsprong van deze spier boven de inversieas gelegen is en dat de insertieplaats onder deze as gelegen is. Het caput transversum van de m. adductor hallucis heeft dezelfde insertieplaats. Dus deze spier insereert ook aan de mediale zijde van de as en onder de as. Het caput transversum ontspringt echter aan de metatarsophalangeale gewrichten. Deze gewrichten bevinden zich onder de longitudinale inversieas (figuur 17).

Vooropgesteld dat een spier altijd samentrekt van de insertieplaats naar de plaats van oorsprong, betekent dit dat zowel de m. extensor hallucis brevis als het caput transversum van de m. adductor hallucis rond de as draaien in tegenwijzerzin. Op deze manier zorgen zij dus voor een eversie bewegingen en spelen ze dus een voorbereidende rol ter voorkoming van het inversietrauma (figuur 17). In figuur 18 wordt deze inversiebeweging weergegeven.



Figuur 17: Posterior aanzicht van de rechtervoet. De m. extensor hallucis brevis ontspringt boven de longitudinale inversieas en insereert onder deze as. De insertie van de spier beweegt naar de oorsprong toe, dus deze extensor zorgt voor een eversiebeweging. Het caput transversum van de m. adductor hallucis ontspringt en insereert onder de as. Ook deze spier beweegt in de richting van de oorsprong en zorgt dus ook voor eversie.



Figuur 18: De inversiebeweging (D) en de eversiebeweging (B) van de rechtervoet (posterior aanzicht) (Lohman AHM, 1972) (17).

Wanneer een spier de mediale voetrand in tegenwijzerzin beweegt, dan zorgt deze voor een eversie van de voet (de mediale voetrand daalt) (B). Wanneer een spier ervoor zorgt dat de mediale voetrand beweegt in wijzerzin, dan resulteert dit in een inversie (D)

In deze studie wordt dus gekeken naar de precieze werking van de m. extensor hallucis brevis en het caput transversum en het caput obliquum van de m. adductor hallucis en naar de genoemde biomechanische kenmerken ten opzichte van de in- en eversie posities van de voet. Er wordt ook nagegaan of er eventuele variaties zijn in deze spieren.

Methodologisch wordt de werking van twee extrinsieke voetspieren, namelijk de m. tibialis anterior en de m. peroneus longus, vergeleken met de voorgaande intrinsieke voetspieren. De werking van deze extrinsieke voetspieren ten opzichte van inversie en eversie, is reeds bekend uit de literatuur.

2 Materiaal en methode

Volgens een recent succesvol gebleken methodiek bij de spieren van de onderarm (Lambrichts et al, 2005) (18) werden tien onbewerkte anatomische preparaten gedissecteed en vervolgens van metalen markeringen voorzien. Het betreft tien onderste ledematen, van juist onder de knie tot aan de tenen. De preparaten werden gefixeerd in een vloeistof bestaande uit 4,6% formaldehyde, 3,07% glycerine, 3,07% fenol, 6,2% ethanol, 30,78% gedenatureerde alcohol en 52,3% water. Aan deze vloeistof werd ook nog één koffielepel van het schimmelwerende middel thymol toegevoegd. De preparaten werden vervolgens bewaard in een formalineoplossing < 4% in water.

Voor de dissectie van het onderbeen en de voet werd gebruik gemaakt van verschillende instrumenten, waaronder dissectiemesjes nr. 24, 15, 11, een groot anatomisch pincet, een klein anatomisch pincet, een klein chirurgisch pincet, een schaar, een kleine chirurgische schaar en een spreider.

2.1 Dissectie

Tijdens de dissectie van het onderbeen en de voet zijn we tewerk gegaan volgens de richtlijnen, geformuleerd in Dankmeyer *et al.* (1973) (19). Verdere informatie werd verkregen uit Vandersteen (1996-1997) (20). Nadat de huid afgeprepareerd werd, het vetweefsel verwijderd en de fasciae ingesneden waren, gingen we op zoek naar de m. extensor hallucis brevis, de m. tibialis anterior (twee dorsale voetspieren), de m. adductor hallucis, bestaande uit het caput transversum en het caput obliquum, en de m. peroneus longus (twee plantaire voetspieren). Om een goed beeld van de plantaire voetspieren te verkrijgen, werden de plantaire aponeurose, de pees van de m. flexor digitorum brevis en deze van de m. flexor digitorum longus proximaal transversaal doorgesneden. Deze laatste flexor werd doorgesneden distaal voorbij zijn kruising in de voet (chiasma pedis) met de m. flexor hallucis longus. Vervolgens werd de pees van de m. flexor digitorum longus losgemaakt van de m. quadratus plantae. Op deze manier werd de m. adductor hallucis, die gelegen is in de derde spierlaag van de voetzool, zichtbaar evenals de pees van de m. peroneus longus die, iets dieper dan deze spierlaag, in een osteofibreuze tunnel loopt.

Tabel 1: Beschrijving van de tien anatomische preparaten

Preparaat	Links/rechts	Stand van het voetpreparaat
1	Links	Plantairflexie van de enkel
2	Rechts	Plantairflexie van de enkel
3	Rechts	- Plantairflexie van de enkel - De voet is licht gepronéerd
4	Rechts	Plantairflexie van de enkel
5	Links	- Plantairflexie van de enkel - De voet is zeer sterk gesupineerd
6	Rechts	- Plantairflexie van de enkel - De voet is licht gesupineerd
7	Links	- Plantairflexie van de enkel - De voet is licht gesupineerd
8	Links	Plantairflexie van de enkel
9	Links	- Plantairflexie van de enkel - De voet is licht gesupineerd
10	Rechts	Plantairflexie van de enkel

2.2 Metingen

2.2.1 Bepalen van meetpunten

Voor het aanbrengen van de markeringen werd gebruik gemaakt van een naaldvoerder, twee pincetten en niet-resorbeerbare hechtingsdraad ETHILON® 3/0. Alvorens men kon overgaan tot het maken van radiografieën moesten de geplaatste meetpunten gemarkeerd worden zodat ze zichtbaar waren op röntgenfoto's. Dit gebeurde met behulp van een metalen draad en een pincet.

In alle preparaten werden zowel markeringen aangebracht in de eindpezen van twee dorsale voetspieren (m. extensor hallucis brevis en m. tibialis anterior) alsook in deze van twee plantaire voetspieren (caput obliquum en caput transversum van de m. adductor hallucis en de m. peroneus longus). Om alle markeringen van elkaar te kunnen onderscheiden op de RX beelden, werden enkele standaard technieken toegepast. Zo werd de metalen draad meerdere

malen rond de pees van de m. tibialis anterior gewonden, en slechts één maal rond de pezen van de andere spieren. Bij de pees van de m. extensor hallucis brevis werd de metalen draad gesloten door een spiraaltje van maximaal drie omwentelingen, terwijl het zes omwentelingen waren bij de plantaire voetspieren. Om de m. adductor hallucis te kunnen onderscheiden van de pees van m. peroneus longus, werd voor deze laatste spier een dikkere draad genomen (twee draden rond elkaar geweven). Omdat hiervoor geen protocol voorhanden is, werd gekozen voor deze pragmatische oplossing.

Alle spieren kregen twee markeringen. Voor m. peroneus longus, m. extensor hallucis brevis en het caput obliquum van m. adductor hallucis werd de ene markering zo distaal mogelijk en de andere zo proximaal mogelijk geplaatst. Voor de pees van m. tibialis anterior werd de proximale markering op vijf cm van de distale markering geplaatst. De proximale markering ligt op deze manier op een veilige afstand van het extensor retinaculum, zodanig dat dit retinaculum niet beschadigd wordt. Dit heeft als voordeel dat de pees van m. tibialis anterior in zijn originele positie behouden blijft, zodat de rechte lijn die er later, op de röntgenfoto's, door getrokken moet worden identiek is aan de originele rechte lijn.

Bij het caput transversum van de m. adductor hallucis werden de markeringen zo mediaal en zo lateraal mogelijk geplaatst.

2.2.2 Het maken van radiografieën

Op de röntgenfoto's moeten niet alleen de markeringen zichtbaar zijn maar ook de botstukken van de voet. Dit is noodzakelijk want nadien moet de uit de literatuur gekende longitudinale inversieas aangebracht kunnen worden op de foto's. Het is dus essentieel dat deze structuren, in het bijzonder de processus calcaneus van het os cuboideum, zichtbaar zijn op de röntgenfoto's. Om zowel de markeringen als de processus calcaneus van het cuboideum zichtbaar te maken op de röntgenfoto's, werd voor de eerste vijf preparaten het röntgentoestel (Two-pulse X-ray Apparatus for basic radiographic system (BRS), rotalix tube housing ROT 350 10, 1988) ingesteld op een stralingsterkte van 55 KV (Kilovolt) en een stralingstijd van 13 MAS (Milliampère/seconde) of een stralingssterkte van 60 KV en een stralingstijd van 13 MAS. Deze keuze werd proefondervindelijk bepaald.

Van elk preparaat werden vier radiografische opnames vastgelegd, en wel als volgt. Bij twee opnames werd het toestel ingesteld op 55 KV en 13 MAS en werd er een dorsoplantaire en een mediale opname genomen. Bij de andere twee opnames werd er opnieuw één dorsoplantaire en één mediale opname genomen, maar werd het toestel ingesteld op 60 KV en 13 MAS.

- RX opnames, bij benadering, loodrecht op het frontale vlak (een dorsoplantaire opname): bij deze RX opnames werd het onderbeen zodanig gepositioneerd dat de voetzool plat op de film lag. Om dit te kunnen bereiken, werd gebruik gemaakt van fixatieblokken.
- RX opnames, bij benadering, loodrecht op het sagittale vlak (een mediale opname): bij deze RX opnames werd het onderbeen zodanig geplaatst dat de laterale zijde van de voetzool plat op de film lag. Hiervoor waren er geen fixatieblokken nodig

Om de RX foto's nog duidelijker te maken, werden voor de laatste vijf preparaten niet alleen de stralingssterkte en de stralingstijd veranderd, maar ook de positie van de preparaten. Hierbij volstond het om het toestel in te stellen op een stralingstijd van 18 MAS en een stralingssterkte van 65 KV. Ook deze keuze werd proefondervindelijk bepaald.

Aangezien er nu gewerkt werd met maar één stralingssterkte en –tijd, werden er twee RX foto's opgenomen van elk preparaat. Eén RX opname loodrecht op het frontale vlak en één RX opname loodrecht op het sagittale vlak. Deze laatste worden ook wel laterale RX opnames genoemd. Om deze beelden te verkrijgen werd het onderbeen zodanig geplaatst dat de mediale zijde van de voetzool plat op de film lag. Bij deze positie werd het been, bij benadering, 45° naar binnen gedraaid zodanig dat de hiel en de dikke teen het oppervlak raakten. Hiervoor werd ook gebruik gemaakt van fixatieblokken en een statief.

Op alle röntgenfoto's werd uiteindelijk het nummer van het preparaat (in Romeinse cijfers), de stralingssterkte en de stralingstijd genoteerd.

2.2.3 Het maken van tracings

Van de resulterende röntgenfoto's werden, met behulp van een lichtbak en kalkpapier, tracings gemaakt, waarop eerst de markeringen van de verschillende spieren geïdentificeerd werden. Alle markeringen kregen een bepaalde kleur zodanig dat er onmiddellijk een verband gelegd kon worden tussen een bepaalde markering en de bijhorende spier.

Tabel 2: Identificatie van de markeringen

Spier	Kleur van de markering
m. tibialis anterior	Blauw
m. extensor hallucis brevis	Groen
m. peroneus longus	Rood
caput obliquum van de m. adductor hallucis	Paars
caput transversum van de m. adductor hallucis	Donkergroen

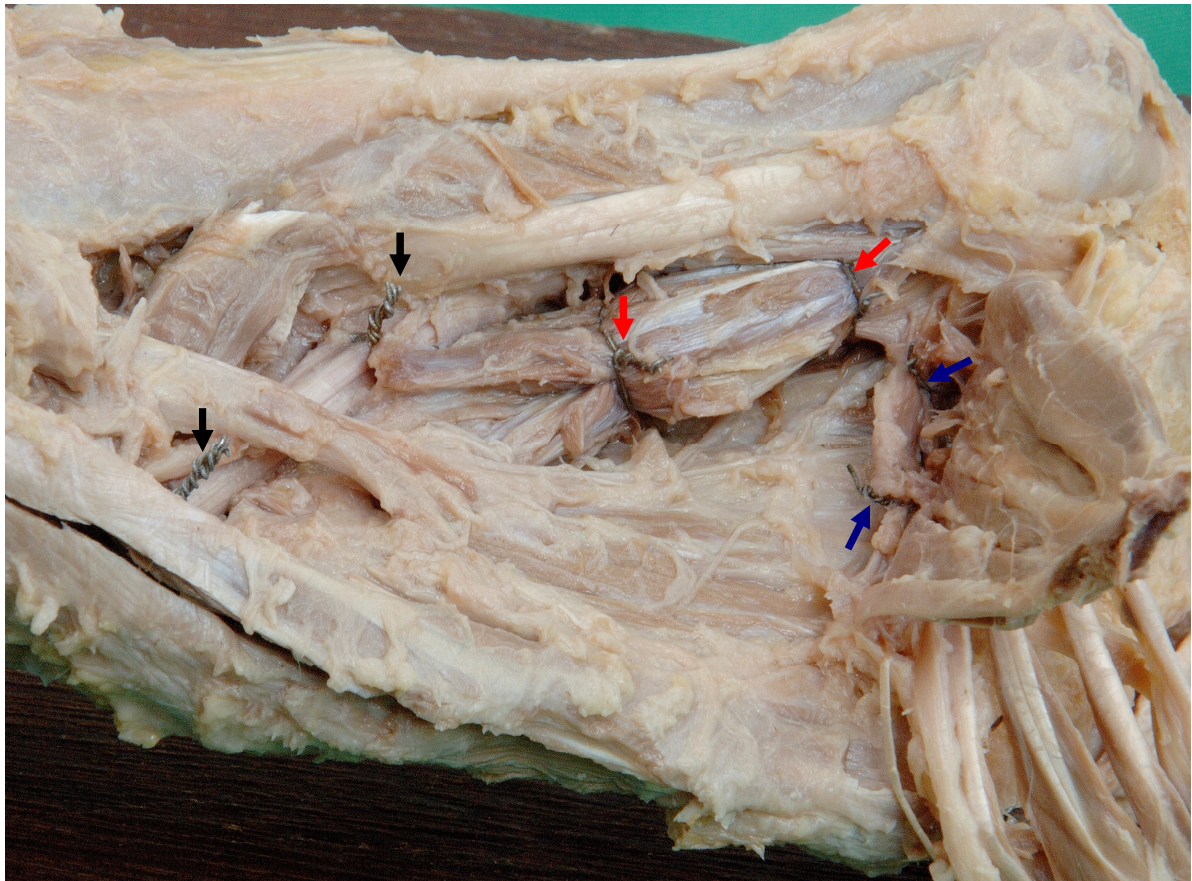
Na deze identificatie werd de longitudinale inversie-as op de tracings van elk voetpreparaat ingetekend. Op de dorso-plantaire werd hiervoor gebruikt gemaakt van de processus calcaneus van het os cuboideum en de eerste interdigitale spleet. Op de mediale of laterale opnames werd de processus calcaneus van het cuboideum en het tuber calcanei gebruikt.

Voor elke spier werd uiteindelijk gekeken naar de grootte van zijn hoek (met behulp van een geodriehoek) en de lengte van zijn momentarm (met behulp van een liniaal) ten opzichte van de longitudinale inversie-as.

Aangezien dit een pilootstudie is, wordt de hierbij onvermijdelijk optredende parallax buiten beschouwing gelaten.

3 Resultaten

In dit onderzoek werden eerst tien humane preparaten gedissecteerd volgens de richtlijnen, geformuleerd in Dankmeyer *et al.* en Vandersteen (19, 20). Vervolgens werden de m. extensor hallucis brevis, de m. adductor hallucis, de m. tibialis anterior en de m. peroneus longus geïdentificeerd en gemarkeerd met een metalen draad (Figuur 19 en figuur 20).



Figuur 19: Identificatie van de plantaire spieren. Linker voetzool, plantair aanzicht, de diepe spierlaag (links proximaal en rechts distaal).

De m. peroneus longus wordt aangetoond door de zwarte pijlen. De rode pijlen duiden het caput obliquum van de m. adductor hallucis aan. De blauwe pijlen staan voor het caput transversum van de m. adductor hallucis. Aan de rechterkant van de foto zijn de gereflecteerde flexorpezen zichtbaar.



Figuur 20: De identificatie van de dorsale spieren (Linker voet, dorsaal aanzicht). De oppervlakkige extensorspieren zijn zichtbaar.

De witte pijlen wijzen op de pees van de m. tibialis anterior en de pees van de m. extensor hallucis brevis wordt weergegeven door de open pijlen.

3.1 Gevonden variaties in de voet

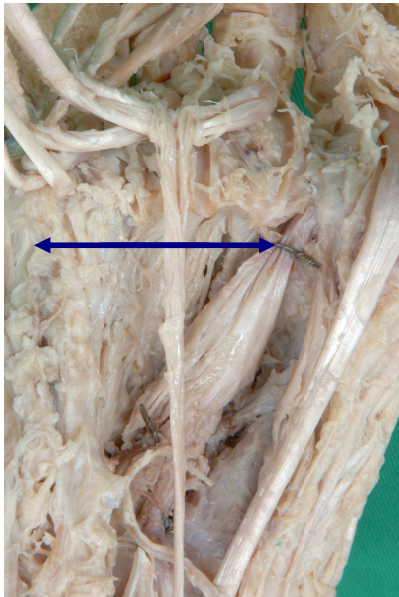
Na de dissectie van de tien humane preparaten en het plaatsen van de markeringen, werden de variaties in de voet nagegaan. Hierbij werd vooral gekeken naar de variaties die kunnen voorkomen in de spieren die voor deze studie onderzocht moeten worden, zoals de m. extensor hallucis brevis, de m. adductor hallucis, de m. tibialis anterior en de m. peroneus longus. Van de belangrijkste variaties werd ook een foto genomen.

In verschillende preparaten werd een aantal variaties gevonden (tabel 2). Zo was het caput transversum van de m. adductor hallucis afwezig in 30% van de voeten (figuur 21) en in 20% van de preparaten bestond het caput obliquum, van de m. adductor hallucis, proximaal uit twee koppen (figuur 22). In preparaat zes was het caput transversum van de m. adductor hallucis ook zeer groot (figuur 23). De extensor expansie (extensor-aponeurose) van de dikke teen werd in

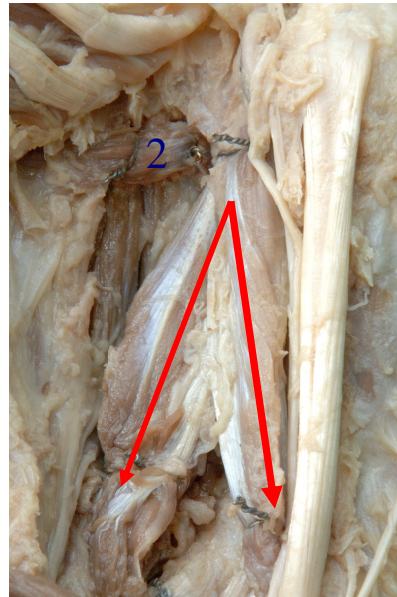
het eerste preparaat slechts gedeeltelijk gevormd door de m. extensor hallucis longus pees, terwijl normaal gezien alle tenen een extensor-expansie hebben die wordt gevormd door peesvezels van intrinsieke en extrinsieke teenspieren (figuur 24). Hoewel anatomische afbeeldingen vaak correct zijn, wordt dit in anatomische tekstboeken meestal niet als zodanig beschreven. In het tweede preparaat gaf de m. flexor hallucis longus een extra peesslip af aan de m. flexor digitorum longus -pees voor de tweede teen. Enkele andere variaties die gevonden werden in bepaalde preparaten waren, dat de m. flexor digitorum longus opgebouwd was uit voornamelijk spierweefsel, en de m. flexor digitorum brevis voornamelijk uit pezen. Dit is het omgekeerde van de normale situatie waarin de m. flexor digitorum longus bestaat uit pezen en de m. flexor digitorum brevis opgebouwd is uit spierweefsel.

Tabel 3: Gevonden variaties in de tien preparaten. Enkel de preparaten waar variaties werden gevonden, worden in deze tabel weergegeven.

Preparaat	variaties
1	- De extensor expansie (extensor-aponeurose) van de dikke teen werd slechts gedeeltelijk gevormd door de m. extensor hallucis longus pees - Proximaal heeft het caput obliquum van de m. adductor hallucis duidelijk twee koppen
2	- De m. flexor hallucis longus geeft een extra peesslip af aan de m. flexor digitorum longus -pees voor de tweede teen. - Het caput transversum van de m. adductor hallucis is afwezig
3	Het caput transversum van de m. adductor hallucis is afwezig
6	- De m. flexor digitorum longus is opgebouwd uit voornamelijk spierweefsel. Normaal gezien is deze flexor hoofdzakelijk opgebouwd uit pezen. - De m. adductor hallucis heeft een zeer groot caput transversum
7	De flexor digitorum brevis bestaat normaal voor het grootste gedeelte uit spierweefsel, maar dit weefsel is hier niet terug te vinden. De spier bestaat hier voornamelijk uit pezen
10	Proximaal heeft het caput obliquum van de m. adductor hallucis duidelijk twee koppen



Figuur 21: Rechter voetzool, plantair aanzicht, de diepe spierlaag. (In deze foto is de bovenzijde de distale kant en de onderzijde de proximale kant). In preparaat 2 heeft de m. adductor hallucis duidelijk geen caput transversum. Deze zou aanwezig moeten zijn op de plaats van de blauwe pijl. Dit in vergelijking met preparaat 10 (Figuur 22) waar het caput transversum wel aanwezig is. (In deze foto is de bovenzijde de distale kant en de onderzijde is de proximale kant).



Figuur 22: Rechter voetzool, plantair aanzicht, de diepe spierlaag. (In deze foto is de bovenzijde de distale kant en de onderzijde de proximale kant). In preparaat 10 bestaat het caput obliquum van de m. adductor hallucis proximaal duidelijk uit twee koppen. Deze twee koppen worden weergegeven door twee rode pijlen. Het blauwe nummer twee wijst op het caput transversum van de m. adductor hallucis, dat in tegenstelling tot de figuur 21, hier wel aanwezig is.



Figuur 23: Rechter voetzool, plantair aanzicht, de diepe spierlaag. (In deze foto is de bovenzijde de distale kant en de onderzijde de proximale kant). In preparaat 6 is het caput transversum van de m. adductor hallucis zeer groot. Dit wordt weergegeven door de rode kader.



Figuur 24: linker voet, dorsaal aanzicht, de oppervlakkige extensoren. (In deze foto is de linkerzijde de distale kant en de rechterzijde de proximale kant).

In preparaat 1 wordt de extensor expansie (extensor-aponeurose) van de dikke teen slechts gedeeltelijk gevormd door de m. extensor hallucis longus pees, terwijl normaal gezien alle tenen een extensor-expansie hebben die bestaat uit peesvezels van intrinsieke en extrinsieke teenspieren.

3.2 Resolutie en contrast van de opgenomen RX beelden

Na dissectie van tien humane preparaten en het aanbrengen van de markeringen, werden er röntgenfoto's genomen. Voor de eerste vijf preparaten werd het toestel ingesteld op een stralingstijd van 13 MAS en een stralingssterkte van 55 KV ofwel een stralingstijd van 13 MAS en een stralingssterkte van 60 KV. Bovendien werd er van elk preparaat een dorsoplantaire en een mediale RX opname gemaakt. Voor de laatste vijf preparaten werd gekozen voor een stralingstijd van 18 MAS en een stralingssterkte van 65 KV. De preparaten werden deze keer in een dorsoplantaire en een laterale positie gefotografeerd.

Na het digitaliseren van de radiografieën werden de negatieven, met behulp van het programma Paint, omgekeerd tot positieven. Voorbeelden van deze positieve dorsoplantaire, mediale en laterale opnames worden weergegeven in figuren 25, 26 en 27.

Bij 80 % van de humane preparaten waren alle botstukken en markeringen goed zichtbaar op de resulterende röntgenfoto's. Dit was echter niet zo voor been 2 en 9. Bij het tweede preparaat was de processus calcaneus van het cuboideum niet zo duidelijk op de dorsoplantaire beelden. Dit was een zeer mager preparaat en waarschijnlijk ook afkomstig van een oudere persoon. Hierdoor kan ontkalking optreden. Bovendien maakt de fixatievloeistof de ontkalking nog

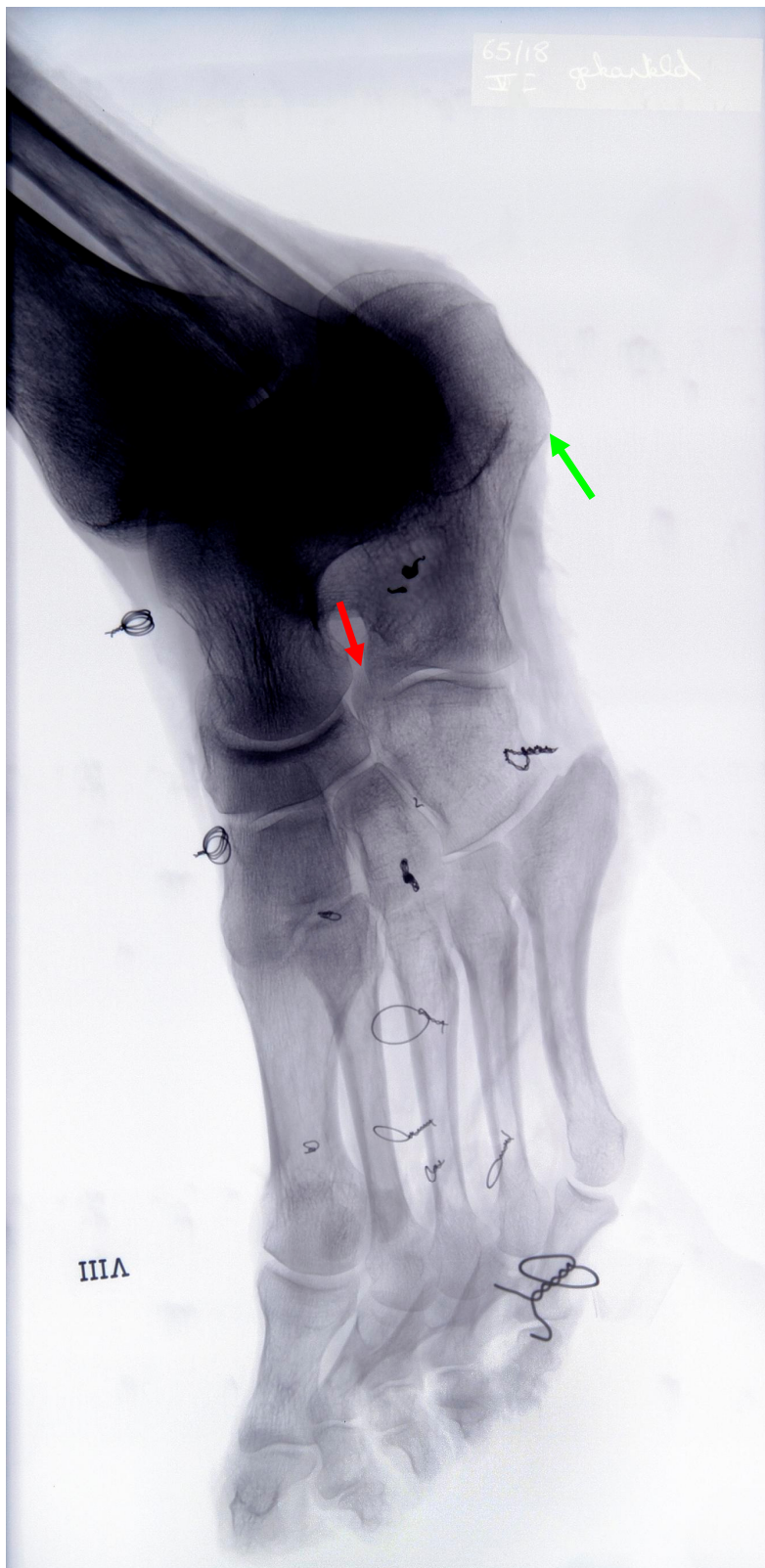
erger. Dit heeft als gevolg dat de stralingsabsorptie niet hetzelfde is voor alle delen van de voet, waardoor bepaalde botstukken niet goed zichtbaar zijn op de beelden. Dit onderbeen werd echter niet verworpen in deze studie aangezien de ligging van de processus calcaneus van het cuboideum toch radiologisch bevestigd kon worden. De RX opnames van been nummer negen, daarentegen, waren zeer slecht. Het was zeer duidelijk dat hier bepaalde botstukken ernstig beschadigd waren, waarschijnlijk door artrose. Dit preparaat werd verworpen in deze studie.



Figuur 25: De dorsoplantaire opname van preparaat 10. De processus calcaneus van het os cuboideum wordt weergegeven met de rode pijl, en de blauwe pijl wijst op de eerste interdigitale spleet. Dit zijn de 2 referentiepunten voor het aanbrengen van de longitudinale inversieas op de dorsoplantaire opnames.



Figuur 26: De mediale opname van preparaat 1. De processus calcaneus van het os cuboideum wordt weergegeven door de rode pijl en het tuber calcanei wordt aangetoond door de groene pijl. Dit zijn de 2 referentiepunten voor het aanbrengen van de longitudinale inversieas op de mediale opnames.



Figuur 27: De laterale opname van preparaat 8. De processus calcaneus van het os cuboideum wordt weergegeven door de rode pijl, en de groene pijl wijst naar het tuber calcanei. Deze 2 referentiepunten worden gebruikt in de laterale opnames voor het aanbrengen van de longitudinale inversieas.

3.3 Identificatie van de markeringen en de longitudinale inversieas

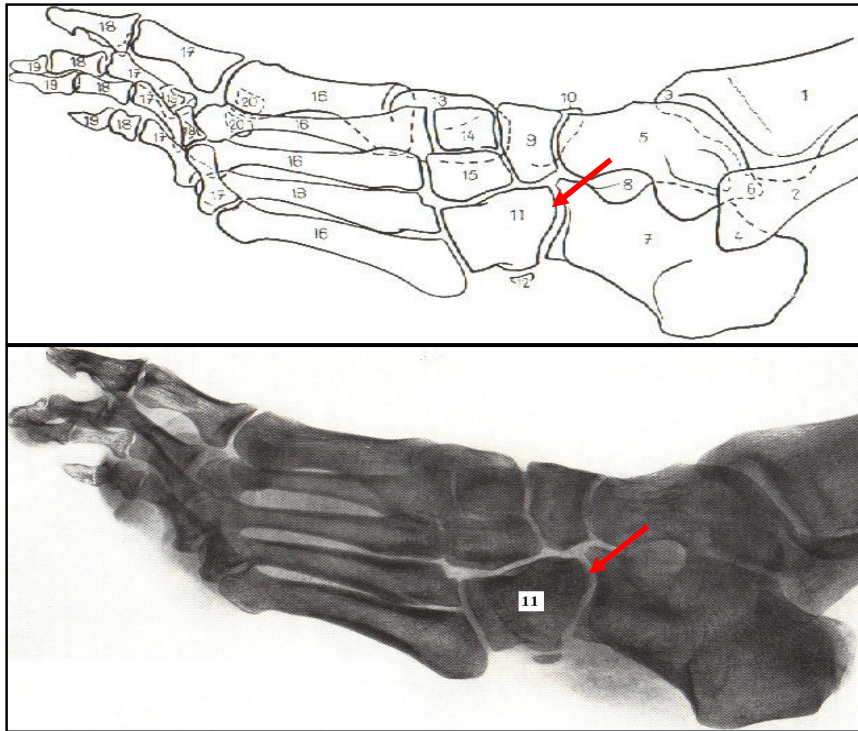
Met behulp van een lichtbak, kalkpapier en potlood werden tracings gemaakt. Op deze tracings moesten eerst de verschillende markeringen geïdentificeerd worden. Bij projectie van ruimtelijke markeringen in één vlak, moet men in principe rekening houden met de *parallax*.

De verschillende ruimtelijke lijnen tussen deze markeringen (zoals de longitudinale inversieas en het verloop van de pezen) zullen niet noodzakelijk allemaal in hetzelfde vlak liggen. Bij de projectie van deze lijnen echter, worden ze weergegeven als lijnen in één projectievlak. In principe zou men voor elk van deze lijnen een berekening van deze parallax moeten uitvoeren. In deze pilootstudie kan hier echter niet dieper op worden ingegaan.

Om de longitudinale inversieas te kunnen tekenen op deze tracings, moesten ook de verschillende botstukken, namelijk de processus calcaneus van het os cuboideum, de processus lateralis van het tuber calcanei en de eerste interdigitale spleet, geïdentificeerd worden. Aangezien de processus lateralis van het tuber calcanei niet heel duidelijk was op de RX beelden, werd uit praktische overwegingen, het tuber calcanei, als zodanig, genomen. Deze structuren worden duidelijk aangegeven in de overzichtsfiguren 28 (lateraal) en 29 (dorso-plantair). Figuur 30 toont aan hoe de markeringen geïdentificeerd werden in een dorso-plantaire en laterale opname, en de identificatie van de longitudinale inversieas op dorso-plantaire en laterale opnames wordt weergegeven in figuur 31. Voor elke spier werd gekeken naar de hoek die ze vormt ten opzichte van de longitudinale inversieas en naar de lengte van de zijn momentarm ten opzichte van deze as.

Voor de intrinsieke voetspieren, namelijk de m. extensor hallucis brevis en de m. adductor hallucis, en voor de m. peroneus longus (een evertor), werd in de dorso-plantaire opnames, met behulp van een Geodriehoek, de hoek gemeten die deze spieren maken ten opzichte van de longitudinale inversie en in de laterale opnames werd de lengte van de momentarm van deze spieren bepaald met behulp van een liniaal. Voor de m. tibialis anterior, daarentegen, werd de hoek, die deze invertor maakt ten opzichte van de inversieas, gemeten op de laterale RX foto's. Bijgevolg werd de momentarm van deze spier bepaald op de dorso-plantaire RX foto's.

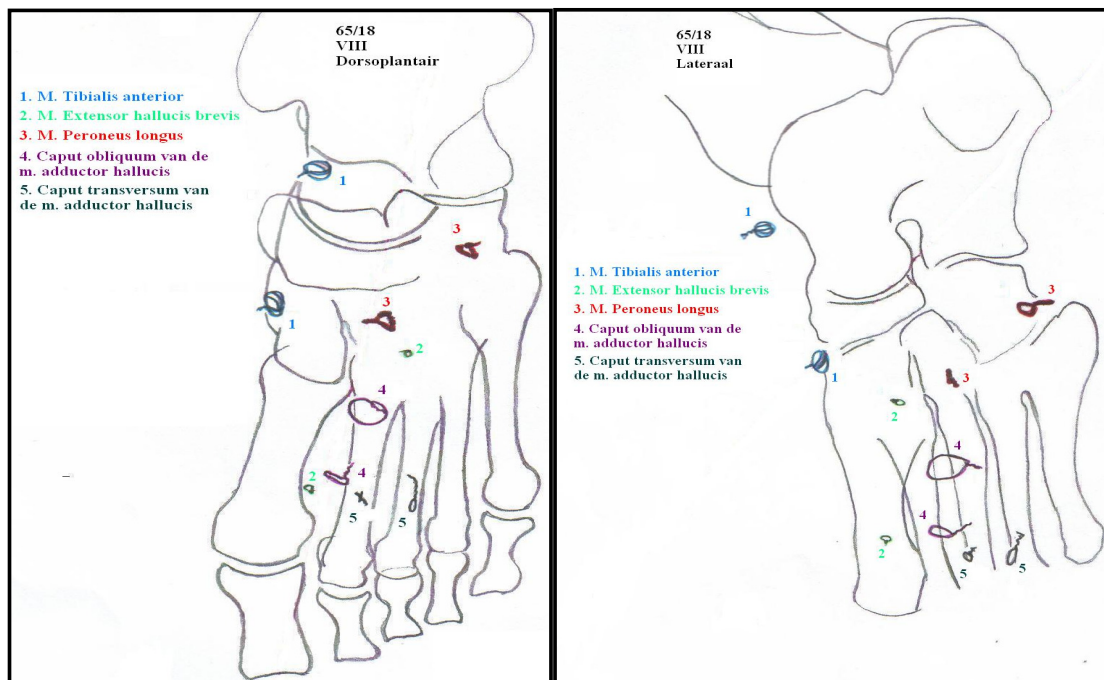
Alle hoeken worden uitgedrukt in graden (°) en de lengte van de verschillende momentarmen wordt weergegeven in centimeters (cm).



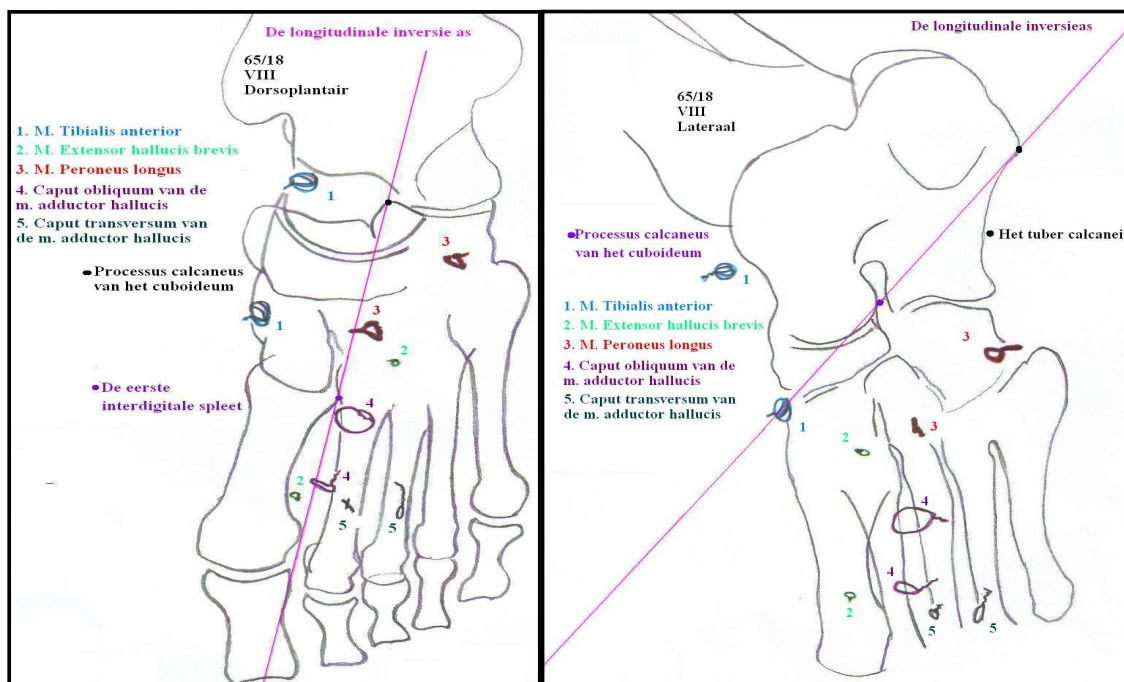
Figuur 28: De identificatie van het os cuboideum en zijn processus calcaneus. In beide figuren wordt het os cuboideum aangegeven door nummer 11 en zijn processus calcaneus wordt aangetoond door de rode pijl. Overige nummers: Tibia (1), Fibula (2), Malleolus medialis (3), Malleolus lateralis (4), Talus (5), Processus posterior tali (6), Calcaneus (7), Sinus tarsi (8), Os naviculare (9), Tuberositas ossis navicularis (10), Os sesamoideum (12), Os cuneiforme mediale (13), Os cuneiforme intermedium (14), Os cuneiforme laterale (15), Ossa metatarsalia (16), Phalanx proximalis (17), Phalanx media (18), Phalanx distalis (19), Ossa sesamoidea (20) (21).



Figuur 29: De identificatie van het os cuboideum en zijn processus calcaneus. In beide figuren wordt het os cuboideum aangegeven door nummer 2 en zijn processus calcaneus wordt, in de rechter figuur, aangetoond door de rode pijl. Overige nummers: Calcaneus (1), Cuboideum (2), distale phalanx van de 2^{de} teen (3), eerste metatarsale (4), os cuneiforme intermedium (5), os cuneiforme lateralis (6), os cuneiforma medialis (7), middelste phalanx van de 2de teen (8), os naviculare (9), proximale phalanx van de 2de teen (10), os sesamoideum in de m. flexor hallucis brevis (11), talus (12), tuberositas van het 5de metatarsaal (13) (22).



Figuur 30: De identificatie van de verschillende markeringen op dorsoplantaire opnames (links) en op laterale opnames (rechts). De m. tibialis anterior blauw (1, blauw), de m. extensor hallucis brevis (2, licht groen en de m. peroneus longus (3, rood). De m. adductor hallucis bestaat uit twee delen. Het caput obliquum (4, paars) en het caput transversum (5, donker groen).



Figuur 31: De identificatie van de longitudinale inversieas op de dorso-plantaire (links) en laterale (rechts) RX foto's. Deze inversie as loopt, op de dorso-plantaire opnames, doorheen de eerste interdigitale spleet en de processus calcaneus van het os cuboideum. Op de laterale opnames gaat deze as doorheen de processus.

3.3.1 De *M. extensor hallucis brevis*

De resultaten die gevonden werden voor de *m. extensor hallucis brevis* worden weergegeven in tabel 4. Deze dorsale intrinsieke voetspier maakt een hoek van gemiddeld $21,3^\circ$ ten opzichte van de longitudinale inversieas en de momentarm van deze spier ten opzichte van deze as is gemiddeld 5 cm. Om uitlopers te vermijden wordt er gekeken naar de mediaan, middelste van de waarden in de rangschikking volgens grootte. Aangezien er hier 14 verschillende waarden zijn (een even aantal), zowel voor de hoek als voor de momentarm, wordt de mediaan hier weergegeven als het gemiddelde van de beide middelste waarden. Op deze manier wordt er geen rekening gehouden met uitlopers. Voor de hoek is deze 21° en voor de momentarm 4,5 cm. Er is dus geen groot verschil tussen de gemiddelde waarde en de mediaan waarde. In figuur 32 wordt weergegeven hoe deze resultaten bekomen werden.

Tabel 4: De hoek ($^\circ$) en de momentarm (cm) die de *m. extensor hallucis brevis* maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas in de tien verschillende preparaten

M. Extensor hallucis brevis			
Preparaat	Parameters	Hoek ($^\circ$)	Momentarm(cm)
1	60/13	20	4
	55/13	18	4,3
2	60/13	27	5,3
	55/13	19	4,7
3	60/13	16	4,4
	55/13	16	5,5
4	60/13	24	10
	55/13	22	10,2
5	60/13	26	3,4
	55/13	26	3,2
6	65/18	21	2,4
7	65/18	23	2,5
8	65/18	19	5,3
9			
10	65/18	21	4,8
Gemiddelde		21,3	5
Mediaan		21	4,5

3.3.2 Het *caput obliquum* van de *m. adductor hallucis*

In tabel 5 worden de hoeken en de momentarmen, die het *caput obliquum* maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas, weergegeven. Deze plantaire intrinsieke spier maakt een hoek van gemiddeld $11,9^\circ$ ten opzichte van deze as en de momentarm van deze spier is gemiddeld 9,4 cm. De hoek die deze spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas heeft een

mediaanwaarde van 12° en de lengte van de momentarm van deze spier heeft een mediaanwaarde van 8 cm. Hoe deze resultaten bekomen werden, wordt weergegeven in figuur 33.

In de preparaten 1 en 10 bestaat het caput obliquum van de m. adductor hallucis proximaal uit twee koppen. Dit heeft als gevolg dat in deze preparaten beide koppen van de spier afzonderlijk een hoek en een momentarm vormen ten opzichte van de longitudinale inversieas.

Tabel 5: De hoek (°) en de momentarm (cm) die het caput obliquum maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas in de tien verschillende preparaten

Caput obliquum van de m. Adductor hallucis			
Preparaat	Parameter	Hoek (°)	Momentarm (cm)
1	60/13	6	2,5
		16	7,8
	55/13	6	2,9
		16	7,9
2	60/13	17	8,6
	55/13	9	13,8
3	60/13	13	9
	55/13	10	10,5
4	60/13	5	17,5
	55/13	3	22,5
5	60/13	17	7,4
	55/13	16	7,5
6	65/18	12	5
7	65/18	20	4,4
8	65/18	10	8
9			
10	65/18	16	13,8
		11	10
Gemiddelde		11,9	9,4
Mediaan		12	8

3.3.3 Het caput transversum van de m. adductor hallucis

Het caput transversum van de m. adductor hallucis maakt kruist de longitudinale inversieas met een hoek van gemiddeld 67,7° en zijn momentarm is gemiddeld 5,1 cm (tabel 6). Ook hier werd de mediaan van zowel de hoek als de momentarm berekend. Aangezien er hier slechts 9 waarden waren (oneven), wordt deze mediaan gedefinieerd als het middelste van de waarden in de rangschikking volgens grootte. Voor de hoek is de mediaanwaarde 66° en voor de momentarm 5,2 cm. Deze resultaten werden op dezelfde manier bekomen als deze van de m.

extensor hallucis brevis en het caput obliquum van de m. adductor hallucis (figuur 34). Opmerkelijk is ook de afwezigheid van het caput transversum van de m. adductor hallucis in 3 van de 10 preparaten (tabel 6).

Tabel 6: De hoek (°) en de momentarm (cm) die het caput transversum van de m. adductor hallucis maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas in de tien verschillende preparaten

Caput transversum van de m. adductor hallucis			
Preparaat	Parameter	Hoek (°)	momentarm (cm)
1	60/13	64	6,6
	55/13	60	6,3
2	60/13	geen	geen
	55/13	geen	geen
3	60/13	geen	geen
	55/13	geen	geen
4	60/13	69	4,5
	55/13	66	4,2
5	60/13	69	5,4
	55/13	72	5,2
6	65/18	51	4,6
7	65/18	geen	geen
8	65/18	92	3,5
9			
10	65/18	66	6
Gemiddelde		67,7	5,1
Mediaan		66	5,2

3.3.4 De m. peroneus longus

De werking van de m. peroneus longus ten opzichte van inversie en eversie is al bekend. Met behulp van de figuur 17 kan haar trekrichting in tegenwijzerzin worden opgevat.

Voor de volledigheid wordt echter ook voor deze spier gekeken naar de grootte van de hoek en van de momentarm die deze evertor maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas. Zoals weergegeven wordt in tabel 7, maakt deze spier een hoek van gemiddeld 29,1° met de inversieas en zijn momentarm ten opzichte van deze as is 3,2 cm. Deze gemiddelde waarden wijken bijna niet af van de mediaan waarden (30° voor de hoek en 3,3 cm voor de momentarm).

In figuur 35 wordt aangetoond hoe deze resultaten bekomen werden.

Tabel 7: De hoek (°) en de momentarm (cm) die de m. peroneus longus maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas in de tien verschillende preparaten

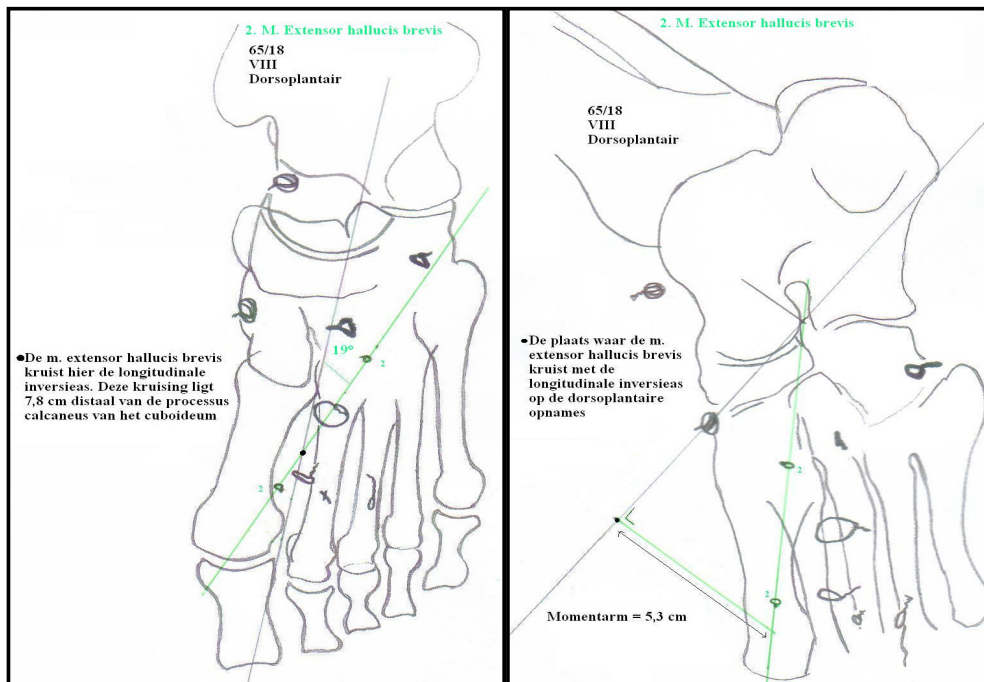
M. Peroneus longus			
Preparaat	Parameter	Hoek (°)	Momentarm
1	60/13	26	3,7
	55/13	24	3,5
2	60/13	32	3,9
	55/13	31	4,4
3	60/13	34	3
	55/13	29	3,1
4	60/13	29	3,6
	55/13	28	3,5
5	60/13	17	2,7
	55/13	18	2,6
6	65/18	34	2,2
7	65/18	40	2,2
8	65/18	32	2,9
9			
10	65/18	34	4,1
Gemiddelde		29,1	3,2
Mediaan		30	3,3

3.3.5 De m. tibialis anterior

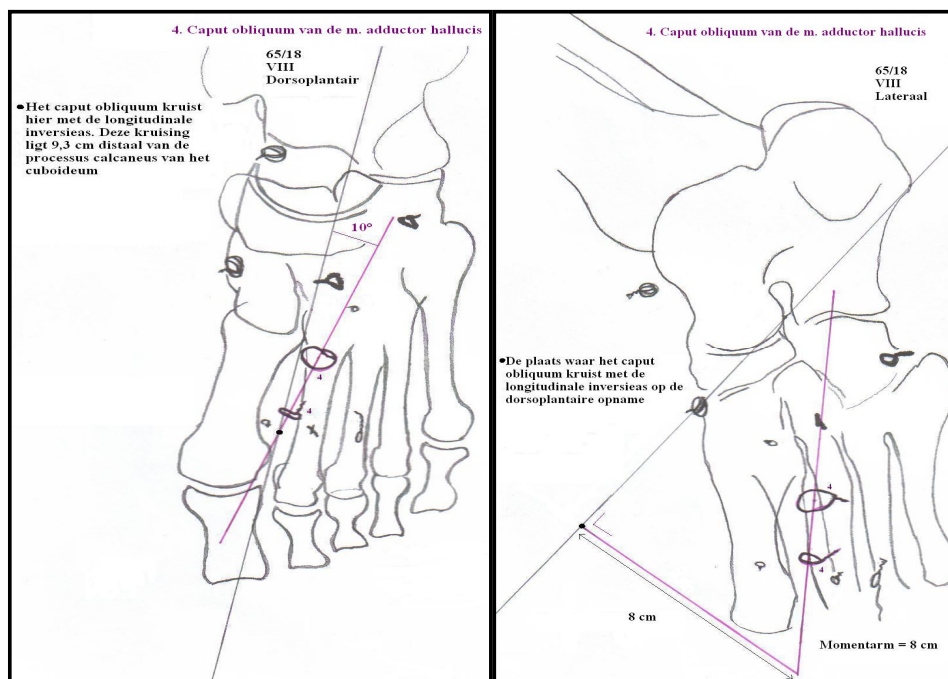
De m. tibialis anterior is een invertor en ook voor deze spier zijn er, in de literatuur, reeds resultaten bekend over zijn werking ten opzichte van inversie en eversie. Met behulp van figuur 17 kan bovendien zijn trekrichting in wijzerzin worden voorgesteld. Ook voor deze extrinsieke voetspier wordt nagegaan hoe groot de hoek is die de spier maakt met de longitudinale inversieas. Er wordt ook gekeken naar de lengte van momentarm van deze spier ten opzichte van deze as. Deze resultaten worden weergegeven in tabel 8. Hieruit blijkt dat deze invertor de inversieas kruist met een hoek van gemiddeld $73,7^\circ$ en dat zijn momentarm 2,25 cm lang is. Uit de mediaanwaarden van de hoek die deze spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas, blijkt dat er toch wel enkele uitlopers aanwezig zijn. De mediaanwaarde ($78,5^\circ$) is immers ongeveer 5° groter dan de gemiddelde hoek. Door te kijken naar de mediaanwaarde van de verschillende momentarmen, blijkt dat deze even groot is als de gemiddelde hoek (2,3 cm). Als voorbeeld worden de tracings van preparaat 8 weergegeven in figuur 36.

Tabel 8: de hoek (°) en de momentarm (cm) die de m. tibialis anterior maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas in de tien verschillende preparaten

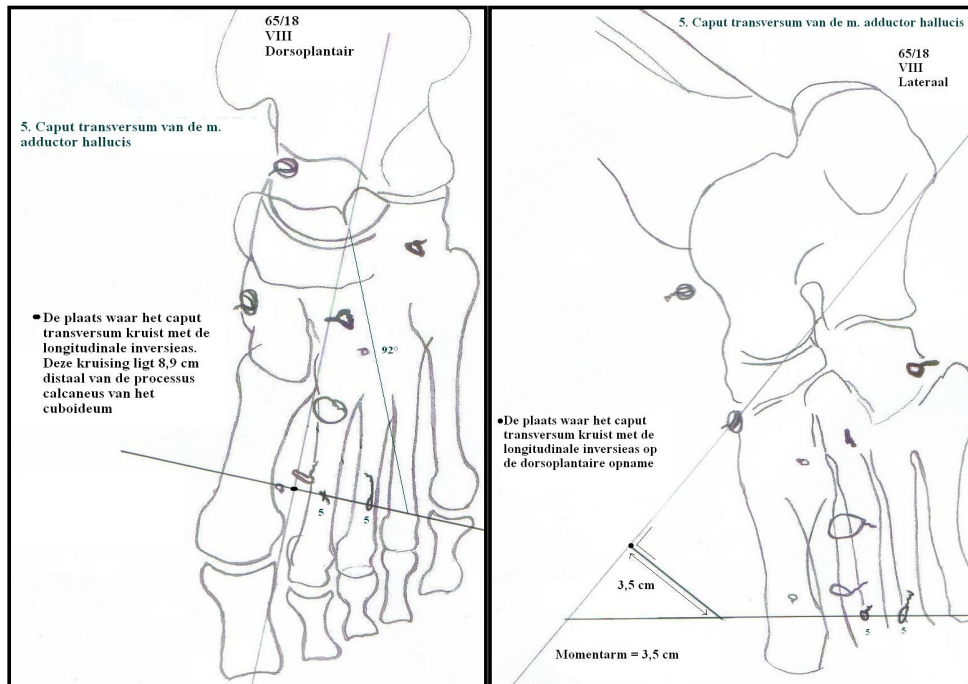
M. tibialis anterior			
Preparaat	Parameters	Hoek (°)	Momentarm (cm)
1	60/13	78	2,4
	55/13	79	2,5
2	60/13	79	1,8
	55/13	81	2,3
3	60/13	75	2,2
	55/13	78	2,1
4	60/13	84	2
	55/13	83	1,9
5	60/13	79	2,2
	55/13	79	2,2
6	65/18	55	2,4
7	65/18	53	2,5
8	65/18	59	2,3
9	65/18		
10	65/18	70	2,7
Gemiddelde		73,7	2,3
Mediaan		78,5	2,3



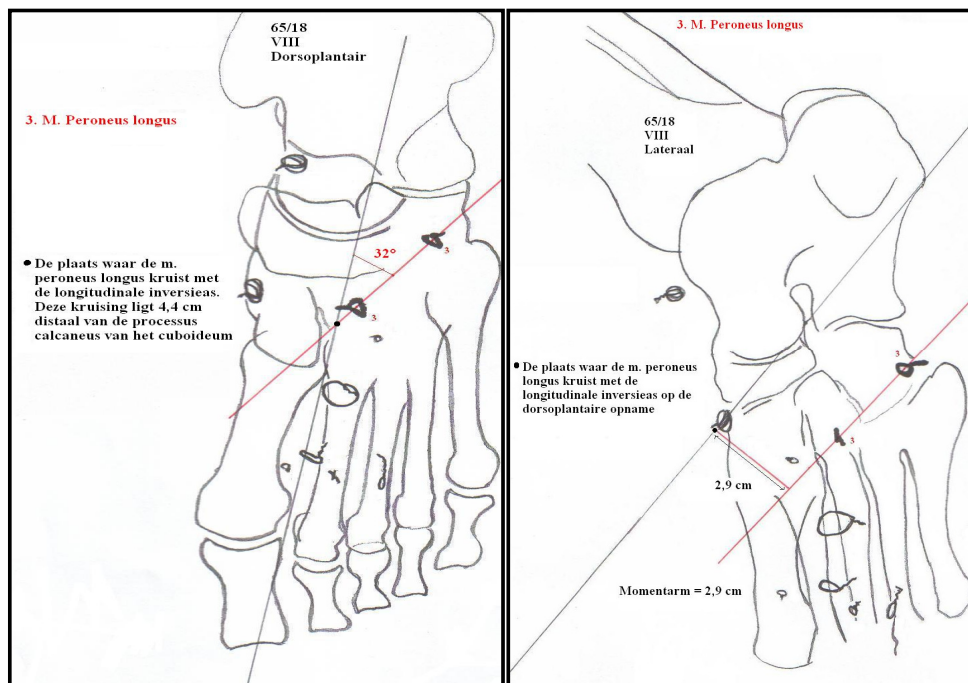
Figuur 32: De resultaten van de m. extensor hallucis brevis in preparaat 8. Op de dorsoplantaire opnames wordt de hoek gemeten die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas. Ook de plaats waar deze spier kruist met deze as wordt bepaald (links). Deze kruising wordt dan aangebracht op de laterale opnames (rechts). De loodlijn van de spier op deze kruising wordt gedefinieerd als de momentarm die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas.



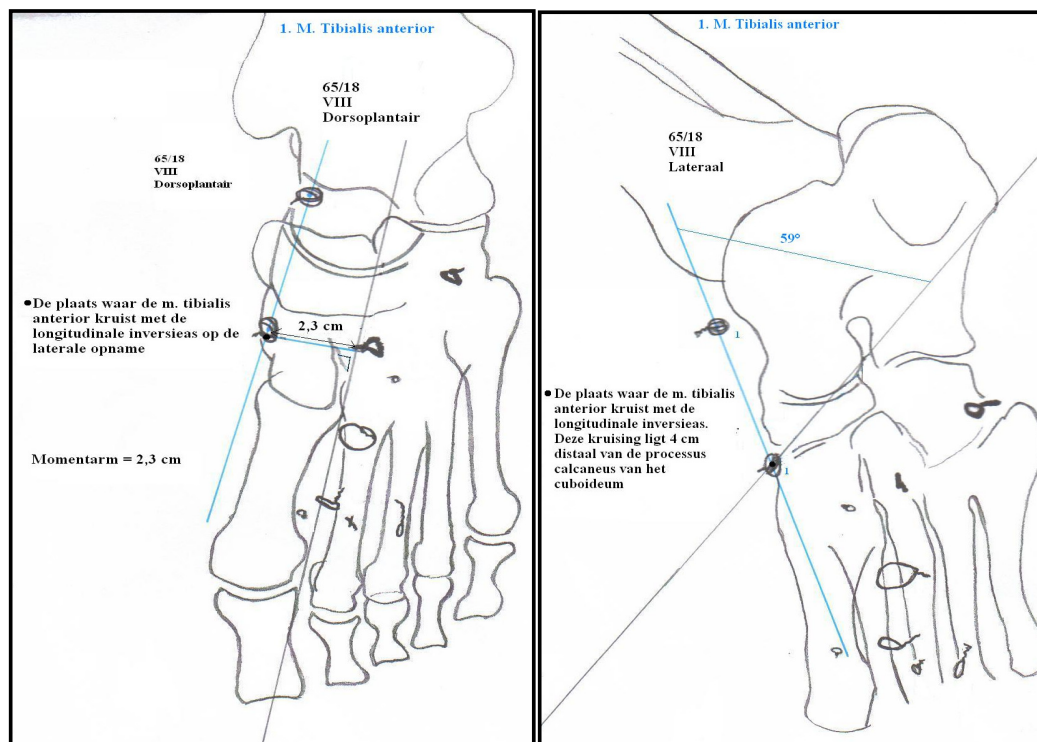
Figuur 33: De resultaten van het caput obliquum van de m. adductor hallucis in preparaat 8. Op de dorsoplantaire opnames wordt de hoek gemeten die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas. Ook de plaats waar deze spier kruist met deze as wordt bepaald (links). Deze kruising wordt dan aangebracht op de laterale opnames (rechts). De loodlijn van de spier op deze kruising wordt gedefinieerd als de momentarm die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas.



Figuur 34: De resultaten van het caput transversum van de m. adductor hallucis in preparaat 8. Op de dorsoplantaire opnames wordt de hoek gemeten die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas. Ook de plaats waar deze spier kruist met deze as wordt bepaald (links). Deze kruising wordt dan aangebracht op de laterale opnames (rechts). De loodlijn van de spier op deze kruising wordt gedefinieerd als de momentarm die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas.



Figuur 35: De resultaten van de m. peroneus longus in preparaat 8. Op de dorsoplantaire opnames wordt de hoek gemeten die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas. Ook de plaats waar deze spier kruist met deze as wordt bepaald (links). Deze kruising wordt dan aangebracht op de laterale opnames (rechts). De loodlijn van de spier op deze kruising wordt gedefinieerd als de momentarm die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas.



Figuur 36: De resultaten van de m. tibialis anterior in preparaat 8. Op de laterale opnames wordt de hoek gemeten die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas. Ook de plaats waar deze spier kruist met deze as wordt bepaald (rechts). Deze kruising wordt dan aangebracht op de dorsoplantaire opnames (links). De loodlijn van de spier op deze kruising wordt gedefinieerd als de momentarm die de spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas.

4 Discussie

In deze studie werd gekeken naar de rol van voetspieren bij het voorkomen van inversietrauma's. Hierbij wordt vooral nagegaan of, op het moment dat de voet nog vrij kan bewegen en geen belasting ondervindt (tijdens de zwaafase van de wandelcyclus), er al enkele voetspieren actief zijn om zo een inversietrauma te voorkomen.

Aangezien, in de literatuur, de rol van de intrinsieke voetspieren bij in- en eversiebewegingen tijdens deze zwaafase relatief onderbelicht is, werd vooral gekeken naar de precieze werking van deze intrinsieke voetspieren en naar hun biomechanische kenmerken ten opzichte van de inversie en eversie posities van de voet. De intrinsieke voetspieren die hier centraal stonden, waren de m. extensor hallucis brevis en de m. adductor hallucis. Deze laatste spier is opgebouwd uit twee delen, namelijk het caput obliquum en het caput transversum. Er werd ook gekeken naar de variaties die voorkwamen in deze spieren.

Voor de volledigheid werd ook hetzelfde gedaan bij enkele extrinsieke voetspieren, namelijk de m. tibialis anterior en de m. peroneus longus, waarvan de werking ten opzichte van inversie en eversie reeds bekend is uit de literatuur.

Om na te gaan of deze spieren een voorbereidende rol spelen ter voorkoming van inversietrauma's, moesten eerst tien humane preparaten gedissecteerd worden. Na de dissectie van de tien preparaten werd er eerst gekeken naar de variaties die erin voorkwamen. Er werd vooral gekeken naar variaties in de intrinsieke en extrinsieke voetspieren. Opmerkelijk was dat in 3 van de 10 verschillende humane preparaten, het caput transversum van de m. adductor hallucis afwezig was. Deze spier varieerde ook in grootte. Meestal was het een zeer kleine en dunne spier, maar in één been was dit caput uitzonderlijk groot. Dit laatste preparaat was echter ook een zeer gespierd been. Ook wat betreft het caput obliquum van de m. adductor hallucis, werden er afwijkingen gevonden. Deze spier bestond, in 20% van de tien preparaten, proximaal uit twee koppen. De andere variaties werden reeds weergegeven in de resultaten (tabel 3).

In de literatuur wordt ook een aantal variaties beschreven voor de m. adductor hallucis. De studie uitgevoerd door Cralley *et al.* (1975) (vermeld in Gray's Anatomy) toont aan dat het caput transversum van de m. adductor hallucis afwezig is in 6% van de bestudeerde voeten. Deze variatie werd ook in onze studie terug gevonden maar dan wel in een groter percentage. Enkele andere variaties die beschreven worden in de literatuur, zijn dat de m. adductor hallucis soms vasthecht aan het eerste os metatarsale en dat een slip van deze spier zich kan uitstrekken

tot aan de proximale phalanx van de tweede teen (11). Deze variaties werden echter niet terug gevonden in onze studie. In het onderzoek, uitgevoerd door Cralley *et al.* wordt echter niets gezegd over het feit dat het caput obliquum van de m. adductor hallucis proximaal uit twee koppen kan bestaan. Dit ondanks het feit dat deze variatie voorkomt in 20% van de benen die gebruikt werden voor onze studie.

Onze resultaten komen dus niet helemaal overeen met deze die beschreven werden in de studie van Cralley *et al.* Hierbij moet echter opgemerkt worden dat de resultaten bekomen werden van tien verschillende humane preparaten. Wat dit betreft is deze populatie te klein om definitieve conclusies te trekken.

In de volgende stap werden de intrinsieke en extrinsieke voetspieren, belangrijk voor dit onderzoek, gemarkeerd en van elk preparaat werden röntgenfoto's gemaakt. Deze methode van onderzoek werd al in verschillende andere studies toegepast. In een studie uitgevoerd door Valstar *et al.* (2002), wordt meer informatie gegeven over het gebruik van deze röntgen stereofotogrammetrie techniek. Hieruit blijkt ook dat deze techniek zeer betrouwbare resultaten oplevert (24). Bovendien werden over het gebruik van markeringen ook al verschillende studies uitgevoerd, zoals in deze van Cowley *et al.* (26).

Na het maken van röntgenfoto's, werd van elke foto een tracing gemaakt. Deze techniek werd ook al toegepast in de studie uitgevoerd door Benink (27).

In deze studie werd vervolgens de longitudinale inversieas ingetekend op de verschillende tracings. Zoals aangegeven in de inleiding, is er nog een andere as waarrond de voet proneert (eversie) of supineert (inversie), namelijk de subtalaire as. Aangezien zowel de intrinsieke voetspieren (de m. extensor hallucis brevis en de m. adductor hallucis) als de twee extrinsieke voetspieren (de m. tibialis anterior en de m. peroneus longus) de longitudinale inversieas kruisen, kunnen deze spieren enkel een pro- of supinerende functie hebben ten opzichte van deze as. Vandaar dat in deze studie de precieze functie en de biomechanische kenmerken van de verschillende spieren werden onderzocht ten opzichte van de longitudinale inversieas en niet ten opzichte van de subtalaire inversieas. Of deze spieren nu zorgen voor eversie of inversie is afhankelijk van hun ligging ten opzichte van deze as. Dit principe wordt ook al aangegeven door Lohman (1972), maar dan voor de onderarm. Hier wordt aangetoond dat de spieren, die aan de radius of de hand insereren en de pro-supinatieas kruisen, een pronerende of supinerende functie kunnen hebben.

De longitudinale inversieas van de voet gaat als één rechte lijn doorheen de knobbel aan de achterzijde van de calcaneus (tuber calcanei), meer bepaald de processus lateralis tuberis calcanei en het plantair uitsteeksel van het os cuboideum (processus calcaneus) waarop het superior deel van de facies articularis cuboidea van de calcaneus rust, en uiteindelijk tussen de eerste en de tweede teen (Karas & Hoy, 2002). Op de dorso-plantaire opnamen werd gekozen voor de processus calcaneus van het os cuboideum en de eerste interdigitale spleet als referentiepunten, en op de mediale of laterale opnames werd gebruikt gemaakt van de processus calcaneus van het cuboideum en de processus lateralis tuberis calcanei. Omdat deze laatste structuur niet heel duidelijk terug te vinden was op alle laterale en mediale röntgenfoto's, werd de bepaling van de as op de laterale en mediale opnames iets gewijzigd. De longitudinale inversieas werd zodanig ingetekend op de verschillende tracings, dat ze doorheen de processus calcaneus van het os cuboideum en doorheen het tuber calcanei liep. Het tuber calcanei was immers wel goed zichtbaar op alle röntgenfoto's. Omdat dit toegepast werd bij alle humane preparaten, konden ze toch vergeleken worden. Voor de verdere berekeningen wordt deze lichte aanpassing met slechts enkele procenten, niet als storend ervaren.

Nadat de longitudinale inversieas op alle tracings was aangebracht, werden alle markeringsgeïdentificeerd, zodat onmiddellijk duidelijk was welke markering bij welke spier hoorde. Vervolgens werd gekeken naar de grootte van de hoeken die de verschillende spieren maakten ten opzichte van longitudinale inversieas. Uit deze hoeken kan theoretisch de mate van spiereffectiviteit afgeleid worden bij de preventie van inversietrauma's. Hoe kleiner de hoek, hoe minder de betrokken spier een inversietrauma zou kunnen voorkomen. Voor de intrinsieke voetspieren, namelijk de m. extensor hallucis brevis en de m. adductor hallucis, en voor de m. peroneus longus (een evertor), werd deze hoek gemeten in de dorso-plantaire opnames. Deze spieren kruisen de assen immers plantair of dorsaal en daarom projecteert deze kruising zich in het frontale vlak. Voor de m. tibialis anterior was dat niet het geval. Aangezien de kruising van deze extrinsieke voetspier met de longitudinale inversieas zich projecteert in het sagittale vlak, wordt deze kruising het beste weergegeven op de laterale RX opnames. Daarom werd de hoek, die deze invertor maakt ten opzichte van de inversieas, gemeten op de laterale röntgenfoto's.

Tot slot werd ook de afstand van de betrokken spier tot de longitudinale inversieas gemeten. Deze lengte is een maat voor de momentarm ten opzichte van de inversie-as en geeft bijkomende informatie over de bewegingsefficiëntie. De lengte van de momentarm werd voor de intrinsieke voetspieren en voor de m. peroneus longus bepaald in de laterale of mediale RX

foto's en voor de m. tibialis anterior werd deze lengte gemeten in de dorso-plantaire röntgenfoto's.

De gemiddelde hoeken en momentarmen, die de verschillende spieren maakten ten opzichte van de longitudinale inversieas, werden weergegeven in tabel 4 (voor de m. extensor hallucis brevis), tabel 5 (voor het caput obliquum van de m. adductor hallucis), tabel 6 (voor het caput transversum van de m. adductor hallucis), tabel 7 (voor de m. peroneus longus) en tabel 8 (voor de m. tibialis anterior). Ook de mediaanwaarden van deze hoeken en momentarmen worden hier weergegeven.

Van de intrinsieke voetspieren is het caput transversum van de m. adductor hallucis de enige spier die de longitudinale inversieas kruist met een hoek die gemiddeld groter is dan 45° (gemiddeld $67,7^\circ$, mediaanwaarde 66°). Dit heeft tot gevolg dat theoretisch dit caput transversum van de m. adductor hallucis in sterkere mate betrokken zal zijn bij het voorkomen van inversietrauma's. Daarentegen zouden de m. extensor hallucis brevis (gemiddeld $21,3^\circ$, mediaanwaarde 21°) en het caput obliquum van de m. adductor hallucis (gemiddeld $11,9^\circ$, mediaanwaarde 12°) theoretisch meer translatie ten opzichte van de longitudinale inversieas uitoefenen dan rotatie, waardoor deze spieren minder geschikt zouden zijn bij het voorkomen van inversietrauma's. Dit zou echter gecompenseerd kunnen worden door de kracht van de spier.

Alle intrinsieke voetspieren hebben wel een relatief grote momentarm. De m. extensor hallucis brevis heeft een momentarm van gemiddeld 5 cm en voor het caput transversum en obliquum van de m. adductor hallucis is de afstand tot de longitudinale inversieas gemiddeld 5,1 cm en 9,4 cm. De mediaanwaarden van deze verschillende momentarmen zijn 4,5 cm voor de m. extensor hallucis brevis, 5,2 cm voor het caput transversum van de m. adductor hallucis en 8 cm voor het caput obliquum van de m. adductor hallucis. Biomechanisch gezien is dit gunstig aangezien dit relatief kleine spieren zijn, die dus ook minder kracht kunnen uitoefenen, en dus dankzij hun grotere afstand ten opzichte van de longitudinale inversieas toch effect kunnen hebben. Een moment wordt immers gedefinieerd als kracht vermenigvuldigd met de momentarm.

Opmerkelijk is wel dat in 30% van de tien humane preparaten het caput transversum van de m. adductor hallucis afwezig was. Vooropgesteld dat de rol van het caput transversum van de m.

adductor hallucis inderdaad is zoals hierboven beschreven en dat alle spieren gelijk tot de beweging bijdragen, dan zou dit kunnen betekenen dat de personen zonder dit caput transversum gevoeliger waren voor een inversietrauma. Personen die wel een caput transversum hebben, kunnen dan waarschijnlijk ook de kans op een inversietrauma verkleinen door bijvoorbeeld deze spier meer te trainen. In onze tien preparaten was er één persoon (prepraat nummer 6) waarin het caput transversum opmerkelijk groter was in vergelijking met de andere humane preparaten.

Dezelfde procedure werd ook toegepast op twee extrinsieke voetspieren, namelijk de m. tibialis anterior (een invertor) en de m. peroneus longus (een evertor).

In de literatuur waren er al resultaten bekend over de rol van de m. tibialis anterior en de m. peroneus longus in het voorkomen van inversietrauma's, maar dan tijdens het begin van de standfase. In die studie, uitgevoerd door C. Grüneberg *et al.* (2003) werd gekeken naar de reflexen van de onderbeenspieren wanneer de voet neerkomt op een geïnverteerd versus een niet geïnverteerd oppervlak (23). Dit gebeurde met behulp van elektromyografie, waardoor de activiteit van deze spieren bestudeerd kon worden. Hierbij werd er vooral gekeken naar de reactiesnelheid van enkele gekende spieren, zoals de tricepsspieren (m. soleus en m. gastrocnemius medialis en lateralis), de peroneus spieren (m. peroneus brevis en longus) en de m. tibialis anterior. Wanneer de voet terecht kwam op een geïnverteerd loopoppervlak, reageerden de triceps spieren (m. soleus en m. gastrocnemius), op lange termijn, veel sneller op de inversie dan de peroneus spieren (m. peroneus longus en brevis), dit ondanks het feit dat de peroneus spieren het meest werden uitgerekt. Wanneer de voet echter landde op een niet geïnverteerd loopoppervlak, konden de peroneus spieren veel sneller reageren. Bovendien was er in beide situaties geen reactie waar te nemen van de m. tibialis anterior. Uit hun studie kan men dus concluderen dat, op het moment dat de voet contact maakt met de grond, zowel de m. peroneus longus als de m. tibialis anterior geen of in beperkte mate een inversietrauma kunnen voorkomen.

Het is dus reeds gekend dat de m. tibialis anterior een invertor is en dat de m. peroneus longus een evertor is. Bovendien hebben verschillende onderzoeken, samengevat door Michael Gunther (1995), aangetoond dat deze twee dorsiflexoren geactiveerd zijn tijdens zowel de stand- als de zwaai fase van de wandelcyclus. In het huidige onderzoek werd theoretisch nagegaan in welke mate de m. tibialis anterior zorgt voor inversie en in welke mate de m. peroneus longus zorgt voor eversie. Dit werd op gelijkaardige wijze gedaan als bij de

intrinsieke voetspieren. Er werd dus gekeken naar de mate waarin deze spieren, door hun hoek en momentarm, bijdragen tot enerzijds eversie of anderzijds inversie.

De m. tibialis anterior en m. peroneus longus kruisten de longitudinale inversieas met een gemiddelde hoek van respectievelijk $73,7^\circ$ en $29,1^\circ$. Voor de m. tibialis anterior was er echter een groot verschil tussen de gemiddelde hoek en zijn mediaanwaarde. Deze laatste is immers $78,5^\circ$, wat er op wijst dat er verschillende uitlopers aanwezig zijn in de verschillende waarden. Deze mediaanwaarde is dus een betere weergave van de hoek die deze spier maakt ten opzichte van de longitudinale inversieas. Voor de m. peroneus longus is er niet zo een groot verschil tussen de gemiddelde hoek ($29,1^\circ$) en zijn mediaanwaarde (30°).

De m. tibialis anterior oefent ten opzichte van de longitudinale inversieas meer rotatie uit dan translatie en is dus in sterkere mate betrokken bij inversiebewegingen. De peroneus spier, daarentegen, kruist de longitudinale inversieas met een hoek die kleiner is dan 45° . Hieruit blijkt dat de m. peroneus longus meer bijdraagt aan de eversiebeweging van de voet. Dit onderzoek heeft dus benadrukt dat de m. tibialis anterior wel degelijk een sterke invertor is en dat de m. peroneus longus een belangrijke evertor is.

De twee extrinsieke voetspieren hebben wel een zeer kleine momentarm. Voor de m. tibialis anterior is deze gemiddeld 2,3 cm (mediaanwaarde is ook 2,3 cm) en voor de m. peroneus longus is de momentarm gemiddeld 3,2 cm (mediaanwaarde is 3,3 cm). Biomechanisch gezien is ook dit niet ongunstig, aangezien dit twee zeer lange spieren zijn. Dit heeft tot gevolg dat ze meer kracht kunnen uitoefenen dan bijvoorbeeld de intrinsieke voetspieren, waardoor ze dus best op een kortere afstand van de longitudinale inversieas gelegen kunnen zijn.

De verkregen resultaten voor de intrinsieke en extrinsieke spieren zijn niet heel nauwkeurig. Zowel de grootte van een hoek als de lengte van een momentarm zijn immers afhankelijk van de contractietoestand van de betrokken spier. In deze pilootstudie zijn we hier echter niet verder op ingegaan.

Uit dit onderzoek kunnen we in elk geval besluiten dat het caput transversum van de m. adductor hallucis in sterkere mate een voorbereidende rol zou kunnen spelen ter voorkoming van een inversietrauma. Personen waarbij de m. adductor hallucis enkel bestaat uit een caput obliquum, zouden dus, theoretisch, veel sneller een inversietrauma kunnen ontwikkelen. Dit heeft niet alleen gevolgen voor sporters maar ook voor mensen met bijvoorbeeld Multiple Sclerose (MS). Personen die lijden aan MS vertonen immers verschillende symptomen, waaronder spierzwakte zodat de bewegingen van de ledematen beperkt zijn. Deze verzwakking

treedt vooral op bij de extensoren, waardoor deze spieren minder goed kunnen functioneren. Aangezien de m. extensor hallucis brevis ook een extensor is, zou dit betekenen dat deze patiënten minder gemakkelijk de voet kunnen everteren. Door het feit dat de extensoren niet meer efficiënt kunnen werken, zal dus de kans op een laterale enkelverzwikking vergroten. Voor MS patiënten zou het dus belangrijk zijn de spieren, die mogelijk een inversietrauma kunnen voorkomen extra te trainen om ze sterker te maken. Op deze manier zal dan de kans om een laterale enkelverzwikking te krijgen, dalen. Zo een behandeling kan dan tevens een vermindering van hun handicap inleiden waardoor de patiënt zijn mobiliteit en levenskwaliteit verbetert.

Vooraleer men definitieve besluiten kan trekken uit deze studie, moet dit onderzoek bevestigd worden. Dit kan met behulp van elektromyografie. Op deze manier kan nagegaan worden of er een activiteit waargenomen wordt in het caput transversum van de m. adductor hallucis tijdens de zwaai fase van de wandelcyclus. Indien zo een onderzoek aangeeft dat de spier inderdaad een voorbereidende rol speelt ter voorkoming van een inversietrauma, dan zou dit betekenen dat de levenskwaliteit, niet alleen van sporters, maar ook van MS patiënten verbeterd kan worden.

Literatuur

1. Tortora G. Grabowski SR. Principles of anatomy and physiology. Ninth edition. New York: John Wiley and Sons; 2000.
2. Michael W, Wolfe MD. Management of ankle sprains. American Family Physician 2001 January; 63: 93-104.
3. Mangwani J, Hakmi MA, Smith TWD. Chronic lateral ankle instability: review of anatomy, biomechanics, pathology, diagnosis and treatment. Foot 2001; 11:76-84.
4. Hertel J. Functional anatomy, pathomechanics, and pathophysiology of lateral ankle instability. Journal of athletic training 2002; 37 (4): p 364-375.
5. Nicholas J. Anatomy of Lateral Aspect of Ankle: In: Ankle Sprains. 2002.
6. [Http://www.allaboutarthritis.com](http://www.allaboutarthritis.com)
7. Feneis H. Geïllustreerd anatomisch zakwoordenboek van de internationale nomenclatuur. Derde druk. Bohn Stafleu Van Loghum. Houten/Diegem. 1999; P 97-99.
8. M. Ann Karas. David J. Hoy. Compensatory midfoot dorsiflexion in the individual with heelcord tightness: Implications for orthotic device designs. Journal of Prosthetics and Orthotics. 2002; 14 (2): p 82-93.
9. Monteyne P. Biomechanica van de menselijke voet. In: Studie van de functie van de voet bij de beweging van één- en tweepotige systemen. Thesis, Vrije Universiteit Brussel. Faculteit Toegepaste Wetenschappen. 2002-2003. p 2-10.
10. Versprille K. Het inversietrauma, het is maar een verzwikte enkel: In: voeten in vorm. 2004. URL: <http://www.runningfiles.com/trainingarchief/enkelinversie.html>
11. Williams P.L. Gray's anatomy: the anatomical basis of medicine and surgery. Thirty-eighth edition. 1995. p 889-900.
12. [Http://www.sportsci.com/apasgait/images/Afbeelding4.1.jpg](http://www.sportsci.com/apasgait/images/Afbeelding4.1.jpg)
13. Dale M. Daniel. Wayne H. Akeson. John J. O'Connor. Gait Analysis. In: Knee ligaments: structure, function, injury and repair. 1990; p 291-294.
14. Narain, F.H.M. Van Zwieten K.J. Lippens P.L. Aspects of arthrology in the lower leg of the opossum. European Journal of Morphology. 2003; Vol 41, No 1, p68.
15. Møller F.B. Calcaneocuboid joint and stability of the longitudinal arch of the foot at high and lox gear push off. Journal of Anatomy. 1978, Vol 129, No 1, p 165-176.
16. Williams P.L. Gray's anatomy. The anatomical basis of medicine and surgery. Thirteenth edition. 1995. p 733 – 736.

17. Lohman AHM. Vorm en beweging: leerboek van het bewegingsapparaat van de mens. Utrecht: Oosthoek 's Uitgeversmaatschappij N.V. Utrecht. 1972.
18. D. Lambrichts. K.J. Van Zwieten. P.L. Lippens. K.P. Schmidt. S. Hauglustaine. The role of the pronator teres muscle in the arm during the rowing movement at the end of the stroke. Proceedings of the 2nd International Congress on "Sport and Health", 21-23 April, 2005, St. Petersburg, Russia, under the auspices of the Secretary General of the Council of Europe, Mr. Terry Davis. p 358 - 359, ISBN 5 - 94988 - 012-9.
19. Dankmeijer J. Lammers H. J. Landsmeer J. M. F. Practische ontleedkunde. 5^{de} druk, Bohn, Amsterdam. 1973.
20. Vandersteen M. Regionale anatomie m.i.v. beeldvorming van de normale anatomie. Cursustekst Limburgs Universitair Centrum. Diepenbeek; 1996-1997.
21. G. Wolf-Heidegger. Atlas of Systematic Human Anatomy. Vol I. 3rd edition. S. Karger-Basel. Munchen, Paris, London, New York, Sydney. 1972.
22. Jamie Weir, Peter H Abrahams. Imaging atlas of human anatomy. Second edition. Mosby, London-Philadelphia-St. Louis-Sydney-Tokyo, Harcourt. 2000.
23. C. Grüneberg, P. H. J. A. Nieuwenhuijzen en J. Duysens. Reflex responses in the lower leg following landing impact on an inverting and non-inverting platform. Journal of physiology. 2003. No 550 (3) p 985-993.
24. Agur A.M.R. Lee M.J. Grant's atlas of anatomy. Tenth edition. Lippincott Williams & Wilkins. 1999.
25. Valstar E.R. Nelissen R.G.H.H. Reiber J.H.C. Rozing P.M. The use of roentgen stereophotogrammetry to study micromotion of orthopaedic implants. In: ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. 2002. No 56. p 376-389.
26. Cowley M. Berti L. Leardini A. Rohr E. Ledoux W. Orendurff M. Effect of marker placement methods on calcaneal rotations. Bologna. URL: <http://www.ISB2005.org/proceedings/ISB05/>
27. Benink RJ. The constraint-mechanism of the human tarsus. A roentgenological experimental study. Thesis, Leiden, 1985.

Auteursrechterlijke overeenkomst

Opdat de Universiteit Hasselt uw eindverhandeling wereldwijd kan reproduceren, vertalen en distribueren is uw akkoord voor deze overeenkomst noodzakelijk. Gelieve de tijd te nemen om deze overeenkomst door te nemen en uw akkoord te verlenen.

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

De rol van de voetspieren bij het voorkomen van inversietrauma's

Richting: **Master in de biomedische wetenschappen**

Jaar: **2006**

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

Deze toekenning van het auteursrecht aan de Universiteit Hasselt houdt in dat ik/wij als auteur de eindverhandeling, - in zijn geheel of gedeeltelijk -, vrij kan reproduceren, (her)publiceren of distribueren zonder de toelating te moeten verkrijgen van de Universiteit Hasselt.

U bevestigt dat de eindverhandeling uw origineel werk is, en dat u het recht heeft om de rechten te verlenen die in deze overeenkomst worden beschreven. U verklaart tevens dat de eindverhandeling, naar uw weten, het auteursrecht van anderen niet overtreedt.

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

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

Ik ga akkoord,

Inge ROBEYNS

Datum: