

SAMENVATTING

In hoofdstuk 1 wordt de probleemstelling geformuleerd. Uitgangspunt voor deze studie is een zo exact mogelijke beschrijving van de bewegingen van de tarsale beenstukken zoals deze plaatsvinden tijdens bepaalde, zo nauwkeurig mogelijk omschreven bewegingen van de voet. Deze beschrijving is zowel kwalitatief als kwantitatief gericht.

De methode van onderzoek valt in twee hoofddelen uiteen. Ten eerste een röntgenfotogrammetrische positiebepaling van de gemerkte tarsalia van 10 voetonderbeenpreparaten in een aantal bewegingsfasen en ten tweede een schroefasberekening voor de tarsale bewegingen.

Kort besproken worden algemene kinematische principes zoals het begrip momentane en discrete schroefingsas; de Reuleauxanalyse en de mobiele rotatie-as.

Uit een overzicht van motion definitions, zoals die in de bekende anatomische literatuur voorkomen, blijkt dat voor dezelfde kinematische begrippen door verschillende auteurs verschillende definities gehanteerd zijn. Verder blijkt dat een begrip als Kompromis Achse van Fick in de loop der jaren door verschillende auteurs op verschillende wijzen is toegepast en van betekenis is veranderd.

In hoofdstuk 2 wordt de literatuur besproken. Klassieke min of meer empirische bepalingsmethoden voor omwentelingsassen, welke vervolgens geïnterpreteerd werden als rotatie-assen, worden besproken. Tweedimensionele analyses (bepaling instant centres), zoals die voor vele gewrichten zijn verricht, Groh (1953), Frankl (1970), Menschik (1974), Nietert (1977), Soudain (1979) en Panjabi (1979) zijn, voor zover zij al in aanmerking komen voor een exacte gewrichtsanalyse, zeker voor de tarsale gewrichtsbewegingen niet zinvol uit te voeren. Toepassing van een driedimensionele rekenmethode op de tarsale bewegingen is in de literatuur nog niet eerder beschreven.

In hoofdstuk 3 wordt het principe van röntgenfotogrammetrie en de onderzoeksmethode beschreven. Door middel van röntgenfotogrammetrie werden in onze proefopstelling de ruimtelijke posities van het met kogels gemerkte onderbeen

en van vier met kogels gemerkte tarsalia (talus, calcaneus, naviculare en cuboid) in opeenvolgende bewegingsfasen berekend. Het voetonderbeenpreparaat wordt opgesteld in een speciale proefopstelling. Vervolgens voerde het preparaat een onderbroken beweging uit; na iedere bewegingsstap werden röntgenfoto's in twee richtingen gemaakt. Met behulp van een comparator werden de verschillende projecties van de meetkogels op de röntgenfoto's opgemeten. De berekeningsmethode van de schroefbeweging uit de ruimtelijke coördinaten van de tarsale kogels is gebaseerd op de methode beschreven door Spoor en Veldpaus (1977). Uit rotatiematrices worden de richting van de rotatie-as, de rotatiehoek en de draairichting en uit de translatievectoren de positie van de rotatie-assen en de translaties langs die as berekend.

Hoofdstuk 4 beschrijft het gebruikte onderzoeksmateriaal, de tien voetonderbeenpreparaten met markeringskogels en de experimentele opstelling. Er werd een speciale testkooi ontwikkeld, waarin rotaties aan de tibia werden overgedragen zonder dat er voor één vaste immobiele rotatie-as werd gekozen.

In hoofdstuk 5 worden de verschillende procedures bij de experimenten besproken. Achtereenvolgens zijn dit:

- 1) de berekening van de positie van de röntgenbronnen;
- 2) het markeren van de botstukken;
- 3) het uitvoeren van het experiment met het voetonderbeenpreparaat in de testkooi;
- 4) het opmeten van de röntgenfoto's met de comparator.

Essentieel bij een dergelijke analyse is een gedegen foutenanalyse. Daarom zijn twee hoofdstukken, respectievelijk hoofdstuk 6 en 7 hieraan gewijd.

In hoofdstuk 6 wordt een uitvoerige röntgenfotogrammetrische foutenanalyse gegeven. Achtereenvolgens worden de foutenbronnen besproken. In het derde deel van dit hoofdstuk bespreken wij de foutenanalyse die verricht is met behulp van twee speciaal ontwikkelde ijkobjecten, respectievelijk de HMTA en het meetplaatje.

Criteria met betrekking tot de nauwkeurigheid van de methode werden vastgelegd. Uit de HMTA-berekeningen werd geconcludeerd dat de afstand van de meetkogels ten opzichte van de oorsprong geen invloed had op de nauwkeurigheid van de berekende Z-coördinaten van de kogels. Er was slechts een zeer geringe invloed op de nauwkeurigheid van de positiebepaling van de kogels en een geringe invloed op de onderling vaste afstanden van de meetkogels van de HMTA.

De gemiddelde fout in de berekende afstand HMTA-kogels varieerde van 0.6‰ tot 2.2‰ (gemiddeld 1 tot 1.5‰).

In hoofdstuk 7 wordt een uitgebreide foutenanalyse van de berekende schroefbeweging gegeven. De invloed van de fouten van de röntgenfotogrammetrische data en de invloed van de grootte van de rotatie op de berekende schroef-

beweging zijn op twee wijzen bestudeerd: ten eerste met behulp van de HMTA (paragraaf 7.1) en ten tweede met behulp van een rekenmodel waarin een bekende fout geïntroduceerd werd (paragraaf 7.2). Uit de HMTA-analyse bleek dat bij 5° rotatie de afwijking van de richting van de rotatie-as φ minder dan 1° bedroeg. De afwijking van de rotatiehoek α was in de ordegrootte van 0.1° en de afwijking van de translatie t gemiddeld kleiner dan 0,05 mm. Bij 10°-rotatie werd geen grotere nauwkeurigheid van φ gevonden en geen grotere nauwkeurigheid voor de rotatiehoek α en de translatie t .

Uit de foutenstrooi-analyse, met behulp van een rekenmodel, werd voor verschillende nominale rotatiehoeken de maximale en de gemiddelde afwijking van de rotatie-as bepaald. Toegepast op de HMTA bleek dat met een variatie in nauwkeurigheid van de positieberekening van de kogels van 0,01 mm minimaal tot 0.015 mm maximaal rekening gehouden moet worden.

Toegepast op voetonderbeenpreparaten werd voor rotaties van 1,5°, 3°, 4°, 5°, 7,5°, 10° en 15° de maximale asafwijking en de gemiddelde asafwijking berekend. Bij een rotatie van 5° varieerde de maximale asafwijking van 1.8° tot 2.6°; gemiddeld van 1.0° tot 1.5°.

Uit deze berekeningen bleek dat bij een stapgrootte van 10°, bij weglaten van fase 1 in 81,4% een rotatie groter dan 5° werd gevonden met een gemiddelde asafwijking variërend van 1.0° tot 1.5° en slechts bij 18,6° een rotatie tussen de 3° en 5° met een gemiddelde asafwijking van ongeveer 2°.

In hoofdstuk 8 wordt de reproduceerbaarheid van de tarsale schroefbewegingen getest. Een goede reproduceerbaarheid voor de tarsale schroefbeweging voor de 10° stepsize bij weglaten van fase 1 bleek te bestaan.

Hoofdstuk 9 bespreekt de berekende parameters van de tarsale schroefbewegingen. Berekend zijn de absolute discrete schroefbewegingen; dit zijn de schroefbewegingen ten opzichte van het vaste assenstelsel met oorsprong O in de kooi, voor de tibia (TI), de talus (TA), de calcaneus (CA), het naviculare (NA) en het cuboid (CU). Ook zijn berekend de relatieve tarsale schroefbewegingen (dit zijn de schroefbewegingen van het ene os tarsale ten opzichte van het andere en geven dus informatie over de bewegingen in het gewricht).

Berekend zijn de schroefbewegingen van de talus ten opzichte van de calcaneus (subtalar movements) (TACA), van de talus ten opzichte van het naviculare (TANA), voor de talus ten opzichte van de tibia (TATI), voor het naviculare ten opzichte van de calcaneus (NACA), voor het naviculare ten opzichte van het cuboid (NACU) en tenslotte voor het cuboid ten opzichte van de calcaneus (CUCA).

Berekend zijn de zowel absolute als relatieve bewegingen bij een stapgrootte van 10° en voor de totale beweging.

Van een helicale as van een tarsaal beenstuk werden berekend 1) de positie van de helicale as (snijpuntenas met XY-, XZ- en YZ-vlakken); 2) de richting van de helicale as (de hoek φ van de as met het XY-vlak, genoemd inclinatiehoek en de hoek π van de projectie van de as in het vlak met het XZ-vlak, genoemd

deviatiehoek; 3) de rotatiehoek α en de rotatierichting van het beenstuk "om de helicale as"; 4) de translatie t en de translatierichting van het beenstuk "langs de helicale as".

Verder zijn snijpuntenbanen berekend van helicale assen met vlakken door de tarsus. Assenbundels zijn gekarakteriseerd door de bundelwijdte waarin $R\pi$ en $R\varphi$ voorstellen de verschillen tussen uiterste waarden voor π , respectievelijk φ en $\sum \gamma$ de som van de hoeken tussen de opeenvolgende assen voorstelt. De bundelrichting werd gekarakteriseerd door de gemiddelde waarde van deviatiehoek ($\bar{\pi}$) en inclinatiehoek ($\bar{\varphi}$). De wijze van omrekenen van π en φ voor de bundelassen wordt besproken.

In hoofdstuk 10 worden de eigen onderzoeksresultaten van de berekende schroefbewegingen voor de absolute tarsalia en tibia besproken.

1. De richtingen en posities van de absolute tarsale en tibiale assen. Voor de tarsalia en tibia werden steeds verschillende rotatie-assenbundels waarin rotatie-assen met verschillende richtingen berekend.

- De assen voor de tibia en talus staan zeer steil verticaal, grotendeels buiten de distale tibia, respectievelijk talus (variatie $\bar{\varphi}$ TI 10°: 82.9° tot 87.6°, variatie $\bar{\varphi}$ TA 10°: 60.3° tot 87.5°). De bundelwijdte $R\varphi$ voor de tibia was opvallend kleiner dan die van de talus (variatie $R\varphi$ TI 10°: 0.8° tot 10.1° en variatie $R\varphi$ TA: 9.1° tot 61.7°).

Opvallend was het verschil in deviatiehoeken tussen tibia en talus, $\bar{\pi}$ TI 10° < 45° en $\bar{\pi}$ TA 10° > 45°. De bundelwijdte $R\pi$ was zowel voor tibia als talus groot; echter voor de tibia kleiner dan voor de talus (variatie $R\pi$ TI 10°: 8.4° tot 98.4°, variatie $R\pi$ TA 10°: 22.6° tot 239.6°).

De tibiale assenbundel is dus smaller en dichter bij het sagittale vlak gelocaliseerd dan de bredere, meer van het sagittale vlak afwijzende, talaire assenbundel. Er bleek sprake van een verschillend snijpuntenpatroon van de TI en TA helicale (schroef)assen met het grondvlak.

- De assenbundel voor de calcaneus gaat schuin door het onderachterste deel van de tubercalcanei en is gericht van anteroinferior naar posterosuperior (variatie $\bar{\varphi}$ CA 10°: -25.6° tot -60.0°), de deviatiehoek was steeds groter dan 135° (variatie $\bar{\pi}$ CA 10°: -22.7° tot 5.5°). Er is sprake van een vrij smalle calcaneale bundel (variatie $R\pi$ CA 10°): 4.1° tot 21.1°, variatie $R\varphi$ CA 10°: 8.5° tot 40.1°).

- Voor het cuboid en naviculare werden steeds ongeveer horizontaal lopende assenbundels berekend, grotendeels buiten de botstukken gelegen (variatie $\bar{\varphi}$ CU 10°: -0.9° tot 15.2°, variatie $\bar{\varphi}$ NA 10°: -17.9° tot 16.2°).

De bundelwijdtes $R\varphi$ voor het cuboid en naviculare waren ongeveer even groot (variatie $R\varphi$ CU 10°: 1.9° tot 25.8°, variatie $R\varphi$ NA 10°: 4.7° tot 34.1°).

De deviatiehoeken van de assen voor beide beenstukken waren kleiner dan 45° (variatie $\bar{\pi}$ NA 10°: -23.9° tot -2.2°, variatie $\bar{\pi}$ CU 10°: -0.9° tot -15.2°).

Er was sprake van een smalle bundel voor zowel cuboid als naviculare (variatie $R\pi$ CU 10°: 1.6° tot 8.8°, variatie $R\pi$ NA 10°: 2.8° tot 15.3°).

Voor de total range gegevens TI 30°/35°, TA 30°/35°, CA 30°/35°, CU 30°/35° werden overeenkomstige waarden voor de 5 respectievelijke total range-assen van de tarsalia en tibia gevonden.

2. Rotatiehoeken α en rotatierichtingen voor de schroefbewegingen van de tibia en tarsalia.

Doordat de absolute rotatie-assen van de gekoppelde onderdelen van de keten een onderling verschillende positie hebben, kunnen rotaties en translaties van gekoppelde ketendelen in omvang van elkaar verschillen.

- De tibiale rotatie varieerde van 8.5° tot 10.5° en de talaire rotatie varieerde van 6° tot 9.4°. Opmerkelijk was dat in 27 van de 47 fasen een grotere talaire- dan tibiale rotatie werd berekend. Dit talotibiaal rotatiesurplus varieerde van 0.3° tot 3.9°; gemiddeld 1.4°.

Voor de eerste fase overgang 0-10° exorotatie werd steeds een achterblijven van de talaire rotatie bij de tibia gevonden (talotibiaal rotatiedeficit).

Voor de tibia is er sprake van een vrijwel uitsluitende exorotatie, voor de talus is er sprake van een gecombineerde abductie, eversie, extensiebeweging, waarin de abductie het grootst en de extensie het geringst is.

- De calcaneale rotatie varieerde van 3.3° tot 11.5°. Er is sprake van een gecombineerde inversie-abductie extensiebeweging; bij enkele specimina (no. 2, 4 en 7) een gecombineerde inversie-abductie flexiebeweging. De extensie of flexiecomponent is hierbij het geringst.

- De cuboidale rotatie varieerde van 4.3° tot 16.5° en de naviculaire rotatie varieerde van 5.4° tot 18.6°. Voor beide beenstukken is er sprake van een gecombineerde inversie, abductie en extensie, waarbij de inversiecomponent het grootste is.

- Uit de gemiddelde rotaties α voor de éérste fase voor alle 10 specimina blijkt dat de volgorde in grootte steeds is geweest TI, TA, NA, CU en CA.

Uit de gemiddelde rotatie α per fase voor alle 10 specimina (zonder fase 1) blijkt ook een rangorde in grootte; de absolute tibiale rotatie α TI 10° blijkt in alle fasen ongeveer anderhalf maal zo groot als de absolute calcaneale rotatie α CA 10° de absolute cuboidrotatie α CU 10° neemt tussen TI en CA een middenpositie in. De gemiddelde talaire rotatie α TA 10° is iets groter dan de tibiale rotatie α TI 10°. Opmerkelijk waren de hoge gemiddelde waarden van de absolute naviculaire rotatie α NA 10° vanaf fase 3, hoger dan alle overige tarsale en tibiale rotaties. Er zijn duidelijke interindividuele verschillen. De rotaties voor stapgrootte 30°/35°, de total range gegevens gaven eenzelfde rangorde in grootte te zien als de "stepsize" gegevens.

3. De translaties en translatierichtingen van de tibia varieerden van -0.7 mm (in neerwaartse richting) tot 1.6 mm (in opwaartse richting); voor de talus varieerden

de translaties van -0.5 mm naar de oorsprong toe tot 1.0 mm van de oorsprong af; in de meeste gevallen, 39 van de 47 fasen, verplaatste de talus zich naar posterior.

- De calcaneale translaties varieerden van -0.2 mm naar de oorsprong toe tot 0.5 mm van de oorsprong af. In vrijwel alle fasen transleerde de calcaneus in anteriore richting. De naviculaire translaties varieerden van -1.6 mm naar de oorsprong toe tot 0.7 mm van de oorsprong af. In vrijwel alle fasen transleerde de calcaneus in posteriore richting. De cuboidale translaties varieerden van -1.1 mm naar de oorsprong toe tot 0.6 mm van de oorsprong af. Ook het os cuboidale transleerde in vrijwel alle fasen in posteriore richting.

Bij de supinatiebeweging, ingezet door tibiale laterorotatie, beweegt de tibia bij de meeste specimina in opwaartse richting, transleren de talus, naviculaire en cuboid in posteriore richting en transleert de calcaneus in anteriore richting. Dit is toch niet een "close packed position" omdat wij die term gereserveerd willen zien voor de situatie waarin de gewrichten zo groot mogelijk contact hebben en dat is bij toenemende supinatie nu juist steeds minder het geval.

De translatiegegevens voor de 30°/35° stepsize waren in overeenstemming met de stepsizegegevens.

In hoofdstuk 11 worden de resultaten besproken van de relatieve tarsale bewegingen, waarbij tevens per gewricht steeds wordt ingegaan op literatuurgegevens.

1. De richtingen van de relatieve tarsale rotatie-assen.

Voor de relatieve tarsale bewegingen werden steeds verschillende rotatie-assenbundels, waarin rotatie-assen met verschillende richtingen, berekend. Van een "functional hinge joint" bleek géén sprake.

- De relatieve talotibiale assen in de bundel (TATI) kruisen elkaar in het gebied van het collum tali en hebben een opvallend dwarse oriëntatie (variatie $\overline{\pi}$ TATI 10°: -102.0° tot 107.5°; ongeacht het teken bedroeg de laagste waarde π TATI 10°: 56.7°).

Bij 8 specimina was er sprake van een horizontale asrichting, bij 2 specimina (no. 7 en 9) was dit juist niet het geval (variatie $\overline{\varphi}$ TATI 10°: -4.6° tot 66.4°).

De TATI-bundel had een aanzienlijke variatie in bundelwijdte (variatie $R \pi$ TATI 10°: 2.7° tot 142.0°, variatie $R \varphi$ TATI 10°: 9.7° tot 152.5°). In fase 1 (overgang 0-10°) werd een opvallend steilere rotatie-as dan bij de overige fasen gevonden (variatie φ 34.5° tot 86.5°; gemiddeld 65.5°), passend bij een achterblijven van talus bij tibiale rotatie.

- De relatief talocalcaneale assen in de bundel (TACA) kruisen elkaar in het gebied van sinus en canalis tarsi, hebben een schuin verloop en een asrichting van anteromediosuperior naar posterolateroinferior. De deviatiehoek is steeds kleiner dan 45° (variatie $\overline{\pi}$ TACA 10°: 0.9° tot 32.3°; variatie $\overline{\varphi}$ TACA 10°: 23.2° tot 56.4°). Er is sprake van een vrij smalle bundel TACA-assen (variatie $R \pi$ TACA 10°: 4.4° tot 24.8°, variatie $R \varphi$ TACA 10°: 2.8° tot 26.3°).

Een beschouwing wordt gegeven over de rol van de verschillende talocalcaneale ligamenten. Door Huson (1961) werd reeds een ligging van de TACA-assen ter plekke van de korte vezels van het ligamentum talocalcaneale interosseus vermoed.

Uit het onderzoek wordt deze veronderstelling bevestigd. Uit snijpuntenbaanberekeningen van de TACA-axode met een horizontaal vlak door de canalis tarsi bleek dat er sprake is van een karakteristiek verplaatsingspatroon van de TACA-assen van anterolateraal ter plekke van de voorste schuine vezelbundel van het ligamentum talocalcaneale interosseus en posteromediaal ter plekke van de mediale schuine vezelbundel. De TACA-assen staan in de dorsoplantaire en sagittale projectie vrijwel loodrecht op de vezels van het ligamentum talocalcaneale interosseus en in de frontale projectie komen de assen vrijwel overeen met de vezelrichting.

- De relatief cuboidcalcaneale assen in de bundel (CUCA) doorsnijden het anteromediale en anteroproximale deel van het cuboidcalcaneale gewrichtsvlak waar zij op korte afstand van elkaar kruisen. De asrichtingen zijn van antero-medio(latero)superior naar posterolatero(medio)inferior. De CUCA-assen maken een kleine hoek met het sagittale vlak en hebben een opvallend steile ligging in tegenstelling tot de in de literatuur beschreven as voor het cuboidcaneale gewricht (variatie $\overline{\pi}$ CUCA 10° : -19.9° tot 33.6° ; variatie $\overline{\varphi}$ CUCA 10° : 43.2° tot 72.1°). De bundelwijdte voor de CUCA-assen varieerden sterk (variatie $R \pi$ CUCA 10° : 5.9° tot 65.6° ; variatie $R \varphi$ CUCA 10° : 8.6° tot 39.8°).

Een beschouwing over de rol van verschillende cuboidcalcaneale ligamenten wordt gegeven. Door Huson (1961) werd de ligging van rotatie-assen vermoed in het gebied van de korte vezels van het ligamentum calcaneocuboidale plantare en de calcaneocuboidale slip van het ligamentum bifurcatum. Snijpuntenbaanberekeningen voor de CUCA-axode met een verticaal vlak door de precessus anterior calcanei geven een karakteristiek smalle verticale strook te zien met een verplaatsingspatroon, vooral in de Z-richting. De verplaatsing van de snijpunten is niet zonder meer gelijk aan de toename of afname van φ , hetgeen betekent dat de assen in voorachterwaartse richting verplaatsingen ondergaan.

- De relatief naviculocalcaneale assen in de bundel (NACA) doorsnijden evenals de CUCA-assen het anteromediale deel van het cuboidcalcaneale gewrichtsvlak met asrichtingen van antero-medio(latero)superior naar posterolatero(medio)inferior; de NACA-bundel ligt meer anterolateraal dan de TACA-bundel. De NACA-assen maken ook een kleine hoek met het sagittale vlak en hebben een steile ligging (variatie $\overline{\pi}$ NACA 10° : 16.0° tot 22.6° , variatie $\overline{\varphi}$ NACA 10° : 17.9° tot 59.7°). De bundelwijdte varieerde sterk (variatie $R \pi$ NACA 10° : 3° tot 45.5° , variatie $R \varphi$ NACA 10° : 16.4° tot 50.0°).

De snijpuntenbaanberekeningen voor de NACA-axode met een verticaal vlak door de precessus anterior calcanei geven evenals voor CUCA assenconcentraties te zien; hier wordt soms een aanzienlijke variatie in de Y-richting gevonden.

- De relatief talonaviculare assen in de bundel (TANA) doorsnijden het gebied collum/caput tali met asrichtingen van anteromedio(latero)superior naar posterolatero(medio)inferior. De TANA-assen maken een scherpe hoek met het sagittale vlak en hebben een schuin verloop (variatie $\bar{\pi}$ TANA 10°: 7.5° tot 23.7°, variatie $\bar{\varphi}$ TANA 10°: 24.3° tot 49.6°. Er is sprake van een vrij smalle bundel TANA-assen (variatie R π TANA 10°: 1.8° tot 29.4°, variatie R φ TANA 10°: 6.3° tot 31.9°).

Uit snijpuntenbaanberekeningen van de TANA-axode met een verticaal vlak bleek sprake van een opvallende concentratie van TANA-assen die elkaar op zeer korte afstand kruisen in het caput tali. Curieus is het dat het talonaviculare gewricht functioneel dus met een kogelgewricht te vergelijken is en de taluskop, gezien zijn krommingsrichtingen, nu juist *niet* op een bol lijkt. De 30°/35° stepsize gegevens bleken in overeenstemming met de 10° stepsize gegevens.

2. Rotatiehoeken α en rotatierichtingen voor de relatieve tarsale schroefbewegingen.

- De talotibiale rotaties α TATI 10° varieerden van 0.7° tot 9.4°, waarbij opgemerkt dat bij de supinatie van de voet slechts een klein traject van de talotibiale rotatie beschouwd wordt. De draairichting van de talus ten opzichte van de tibia is voornamelijk een extensie. Voor de eerste fase (zie talar "delay") is er juist sprake van een adductie.

- De talocalcaneale (subtalaire) rotaties α TACA 10° varieerden van 3.1° tot 15.8°. Er is sprake van een gecombineerde abductie-eversiebeweging met een geringe extensiecomponent.

- De cuboidcalcaneale rotaties α CUCA 10° varieerden van 3.1° tot 8.2°. Er is sprake van een gecombineerde adductie-inversiebeweging met een geringe plantair flexiecomponent.

- De naviculocalcaneale rotaties α NACA 10° varieerden van 3° tot 11.4°; de gemiddelde waarden zijn systematisch hoger dan die voor CUCA. Evenals bij de CUCA-beweging is er sprake van een gecombineerde adductie-inversiebeweging.

- De talonaviculare rotaties α TANA 10° varieerden van 6.4° tot 23.9°. De TANA-rotaties zijn het grootst van alle berekende intertarsale rotaties. Er is een duidelijke samenhang van de intertarsale rotaties. De gemiddelde waarde van de TANA-rotaties komt zeer dicht bij de som van de gemiddelde waarden van de TACA- en NACA-rotaties (afwijking variërend van 2 tot 8%). Bij de TANA-rotaties is er sprake van een eversie-abductie extensiebeweging.

- De cuboidnaviculare rotaties α CUNA 10° varieerden van 0.3° tot 5.9°. Deze amphiarthrose heeft de geringste rotaties van de berekende tarsale rotaties. Voor de CUNA-beweging was er sprake van een eversie; het dwarsgewelf vlakke als het ware iets af.

3. De translaties t en translatierichtingen voor de relatieve tarsale schroefbewegingen.

- De talotibiale translaties t TATI 10° varieerden van 0 mm tot 0.2 mm; de talus transleerde ten opzichte van de tibia in mediale richting. Bij de éérste fase (overgang $0-10^\circ$) transleerde de talus iets in opwaartse richting.
- De talocalcaneale translaties t TACA 10° varieerden van 0 mm tot 2.1 mm; de talus transleerde ten opzichte van de calcaneus in posterolaterale richting.
- De cuboidcalcaneale translaties t CUCA 10° varieerden van 0.1 mm tot 1.8 mm; het cuboid transleerde ten opzichte van de calcaneus in posterioere richting.
- De naviculocalcaneale translaties t NACA 10° varieerden van 0.0 mm tot 1.0 mm; ook het naviculare transleerde evenals het cuboid ten opzichte van de calcaneus in posterioere richting.
- De talonaviculare translaties t TANA 10° varieerden van 0 mm tot 1.0 mm; de talus transleerde ten opzichte van het naviculare in anteriore richting.

De translaties en translatierichtingen $30^\circ/35^\circ$ stepsize waren in overeenstemming met de 10° stepsize.

In hoofdstuk 12 worden een aantal conclusies getrokken.

Gewrichtsbewegingenstudies geven alleen dan relevante informatie wanneer een nauwkeurige driedimensionele rekenmethode wordt toegepast. Röntgenphotogrammetrie is hiervoor een bruikbare methode. Bewegingen blijken plaats te vinden rond een zich verplaatsende rotatie-as, waarvan de positie door een bundel discrete schroevingsassen benaderd wordt. Er blijkt géén sprake te zijn van de "complicatedly structured but functionally simple hinge joints" voor de respectievelijke tarsale gewrichten. Voor de tarsale bewegingen werden steeds bundels met schroevingsassen berekend, die karakteristieke plaatsen innamen in de tarsus.

Een overzicht van de gezamenlijke verschillende assenbundels wordt gegeven. De tarsus is op te vatten als een gesloten kinematische keten met rotaties en translaties om steeds verschillende (mobiele) rotatie-assen.

Uit het onderzoek is gebleken dat zowel rotaties van een individueel tarsaal ketenlid, als de intertarsale rotaties, de (input) rotatie van de tibia aanzienlijk kunnen overtreffen.

Er is een duidelijke rangorde in de grootte van de gemiddelde intertarsale rotaties met een constante onderlinge verhouding.