

X Arthrokinematica

In reeds bestaande onderzoeken naar de arthrokinematische eigenschappen van gewrichten worden voornamelijk gewrichtsmodellen gebruikt met een van de volgende kenmerken:

1. Ronde gewrichtsprofielen in plaats van de eigenlijke spiraalvormige gewrichtsprofielen.
2. Wanneer er wel spiraalvormige profielen worden gebruikt zijn ze handmatig getekend. Dit komt zeer waarschijnlijk de nauwkeurigheid niet ten goede.
3. Bestaande spiraalvormige gewrichtsmodellen geven slechts informatie over één specifieke situatie, er bestaan naar ons inzicht geen spiraalvormige gewrichtsmodellen die meer dan één type gewricht simuleren.

Om meer inzicht te krijgen in de arthrokinematica is het weghalen van deze ingrijpende vereenvoudigingen bij bestaande modellen een voorwaarde. Ook om een uitspraak te kunnen doen over de specifieke situatie in het glenohumeraal gewricht is een meer op de werkelijkheid toepasbaar model noodzakelijk. Daarom werd in het computerprogramma 'Delphi4' een gewrichtsmodel gemaakt waarin deze vereenvoudigingen van de werkelijkheid zoveel mogelijk zijn weggehaald.

X. 1 Het nieuwe gewrichtsmodel

Allereerst zal een uitleg worden gegeven over hoe het model werkt. Daarna zullen de vernieuwingen t.o.v. bestaande modellen worden opgesteld. Tot slot zal dit hoofdstuk worden afgerond met een analyse met behulp van dit model. Deze analyse heeft als doel het inzicht in het glenohumeraal gewricht te vergroten en zo mogelijk te gebruiken bij het te produceren meetsysteem.

De invoer van het programma is als volgt:

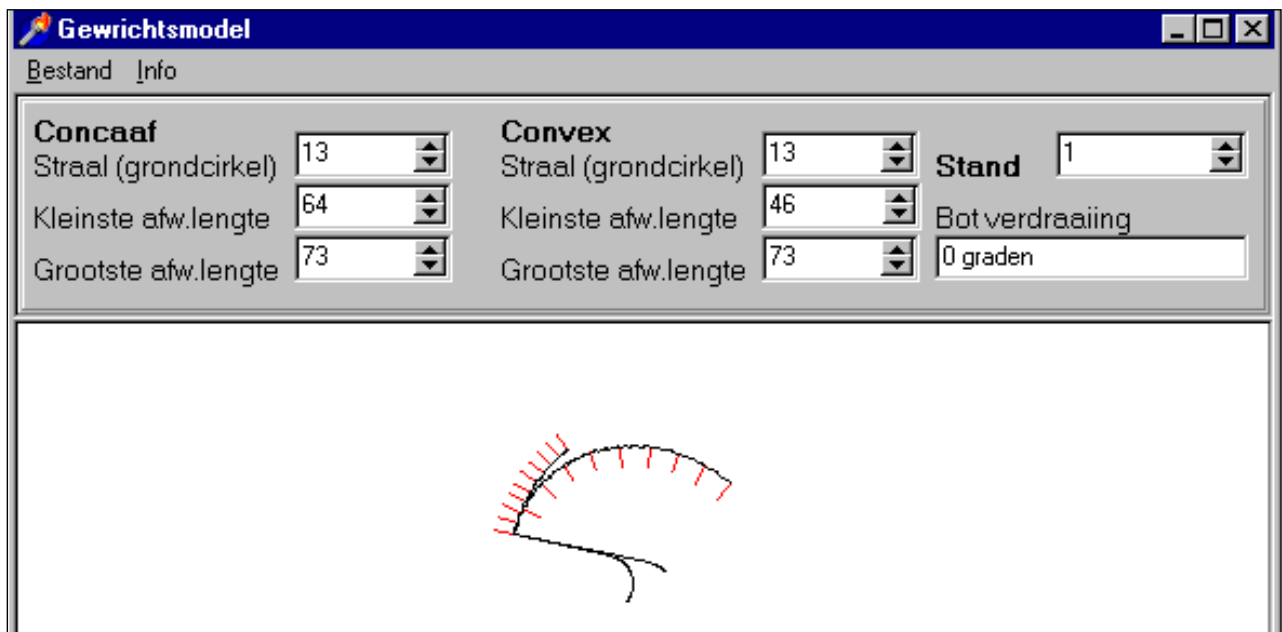
- Straal van de grondcirkel van de spiraal zowel voor convex als concaaf.
- De kleinste afwikkellengte van de spiraal zowel voor convex als concaaf.
- De grootste afwikkellengte van de spiraal zowel voor convex als concaaf.

Een spiraal kan namelijk worden opgevat als een touwtje dat rond een cirkel wordt afgewikkeld. Wanneer we het uiteinde van het touwtje een lijn laten trekken over het papier ontstaat een spiraalvorm. Bij ieder punt van de spiraal hoort dus een identieke lengte van het afgewikkelde touwtje. De grootte van een gewrichtsvlak kan op deze manier dus ook worden opgevat als een spiraal die begint bij de kleinste afwikkellengte en eindigt bij de grootste afwikkellengte. Deze afwikkellengtes kunnen worden opgemeten aan een doorsnede van het gewricht, hierop zal later dit hoofdstuk worden ingegaan.

Ook kan de gebruiker instellen welke stand het gewricht inneemt. Er zijn tien standen. Deze standen zijn verkregen door de tien punten van convex achtereenvolgens met de tien punten van concaaf in contact te laten komen. Deze tien punten zijn gelijkmatig verspreid over de gewrichtsoppervlakken.

De uitvoer van het programma bestaat uit een hoekuitslag in graden en een grafische weergave van de positie van de botstukken. In deze grafische weergave is tevens de loodlijn op het contactpunt getekend en zijn de grondcirkels weergegeven (Los van dit moduleproject wordt momenteel in samenwerking met Herre Faber geprobeerd om de uitvoer van het gewrichtsmodel te vergroten en nauwkeuriger te maken).

In **figuur xx.1** ziet u hoe het scherm is opgebouwd.



Figuur xx.1

Als volgt werden de vereenvoudigingen opgenomen in bestaande gewrichtsmodellen teruggedraaid:

1. Door twee spiraalvormen te tekenen, en deze dusdanig te roteren totdat het contactpunt op concaaf dezelfde positie en helling heeft als het contactpunt op convex werden de verschillende standen van een gewricht nagebootst. Hierbij wordt ervan uitgegaan dat de contactpunten gelijkmatig verspreid liggen over ieder gewrichtsvlak.
2. Door een computerprogramma de profielen te laten tekenen, is het mogelijk ieder punt van een spiraal niet te bepalen, maar exact te berekenen.
3. Doordat de eerder genoemde invoervariabelen in het model te variëren zijn, is het mogelijk om verschillende typen spiraalvormige gewrichten te modelleren.

Net als de bestaande gewrichtmodellen gaat ook dit model ervan uit dat het gewricht gezond is. Oftewel het kraakbenige oppervlak is intact, de ligamenten zijn niet verstoord en ook andere bewegingsbeperkende invloeden zijn nihil.

Ook wordt er van uitgegaan dat overal waar het gewrichtsoppervlak er glad uit ziet op de foto ook daadwerkelijk kraakbeen zit.

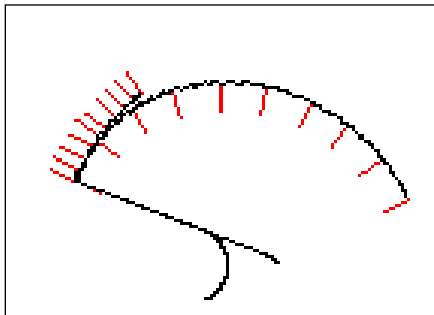
De afmetingen in het gewrichtmodel zijn afmetingen opgemeten aan een bestaande doorsnede van een geëxoroteerd glenohumeraal gewricht. Omdat het niet mogelijk was om ook een doorsnede te vinden van een geëndoroteerd glenohumeraal, zijn er voor deze stand van het gewricht helaas geen werkelijk opgemeten afmetingen beschikbaar. Dit beperkt onze analyse aanzienlijk en een zoektocht naar deze foto zou als toevoeging op dit hoofdstuk dan ook zeer gewenst zijn. Op het internet (**Literatuur nummer: A1, A3**) is gezocht naar de ontbrekende doorsnede, maar helaas werd niets gevonden. Vanwege de relevantie voor het project wordt van een verdere tijdnemende zoektocht op dit moment afgezien.

Allereerst werd een foto van een dwarsdoorsnede van het schoudergewricht geanalyseerd, deze analyse vindt u in de bijlage. De daar geplaatste foto is echter kleiner dan de A3 uitgeprinte foto waar wij daadwerkelijk aan hebben opgemeten. De foto's in de bijlage dienen dus slechts alleen ter illustratie van hoe de waarden in de onderstaande tabel **xx.1** werden verkregen.

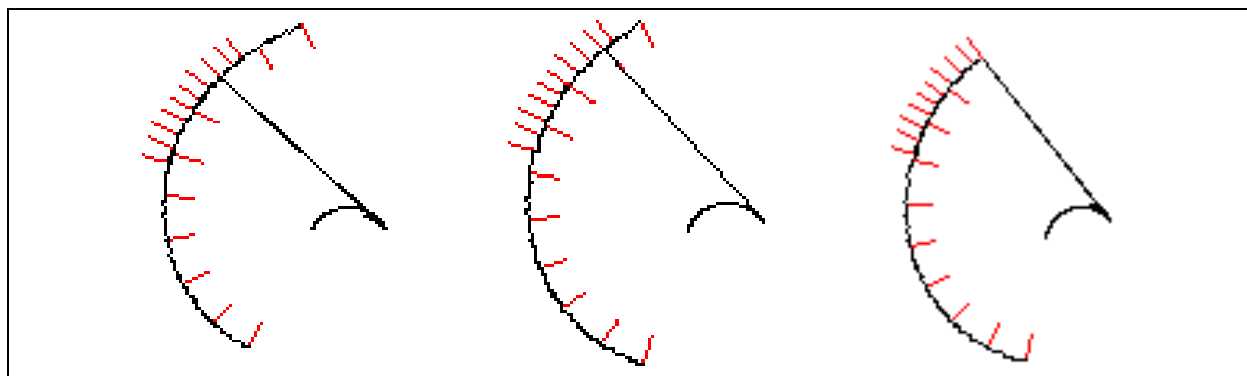
Tabel **xx.1**

	Concaaf	Convex	Hoekverdraaiing
Straal (van grondcirkel)	13	13	97
Kleinste afwikkellengte	65	45	
Grootste afwikkellengte	73	75	

In de onderstaande figuren ziet u enkele standen waarin vervolgens het gewricht werd gezet. In figuur **xx.2** ziet u de beginstand, hierbij zijn beide botstukken in het contactpunt het meeste gekromd.



Figuur xx.2: Stand 1



Stand 8

Stand 9

Stand 10

Figuur xx.3: stand 8 t/m 10 van het gewricht.

In het gewrichtsmodel is nu te zien dat de Close Packed Position eerder optreedt dan de eindstand van het gewricht, namelijk zo'n 8 graden voor het eind van de beweging (**figuur xx.3**). Het is niet zo duidelijk te zien maar als u goed kijkt ziet u dat de veel kleinere grondcirkel van concaaf in stand 8 en 10 net buiten de veel grotere grondcirkel van convex valt en in stand 9 er precies overheen ligt.

Blijkbaar leidt niet iedere willekeurige invoer tot een gewricht dat voldoet aan de arthrokinematische wetmatigheden zoals bekend (bijvoorbeeld: Close Packed Position in de eindstand van het gewricht). Door de waarden van de invoer te variëren komen we tot de hieronder staande vereisten aan de invoer van het model. Wanneer de opgemeten waarden die als invoer dienen hier niet aan voldoen betekent dit dat de meting niet nauwkeurig was of het

gewricht op de foto ongezond was (bijvoorbeeld: geen kraakbeen op plekken waar het wel werd verwacht).

- De stralen van de grondcirkels moeten gelijk zijn. Dit gegeven werd reeds eerder opgemerkt [literatuurverwijzing A2](#).
- De grootste afwikkellengtes moeten gelijk zijn wil er een Close Packed Position mogelijk zijn. Dit is te verklaren doordat in de eindstand beide contactpunten een identieke helling moeten hebben ten opzichte van een niet op het bot gelegen referentiepunt. Dit geldt alleen wanneer de afstand van deze punten tot de grondcirkel hetzelfde is, want dan vallen de grondcirkels in/ over elkaar en worden beide spiralen op dezelfde plek getekend. Wanneer deze helling niet gelijk is zal het computermodellen het convex botstuk dusdanig roteren en transleren totdat beide punten wel dezelfde helling en positie hebben, maar hierbij zijn ook de grondcirkels verplaatst en is een Close Packed Position niet mogelijk.
- Als de eis dat de grootste afwikkellengtes gelijk moeten zijn geldig is, moet de kleinste afwikkellengte van concaaf groter zijn dan de kleinste afwikkellengte van convex, wil convex niet door concaaf heen gaan.

Een conclusie uit deze drie eisen is dat de omtrek van het gewrichtsprofiel van convex altijd groter moet zijn dan de omtrek van het gewrichtsprofiel van concaaf. Dit is in het menselijk lichaam ook het geval.

Nu er nogmaals naar de eerder opgemeten afmetingen van de botstukken wordt gekeken, blijkt dat niet aan deze eisen werd voldaan. Door nu alsnog de grootste afwikkellengtes aan elkaar gelijk te stellen, zien we dat er wel een Close Packed Position ontstaat. Het blijkt namelijk dat in de eerder opgemeten afmetingen deze eisen op slechts 2 mm niet zijn nagekomen, dus waarschijnlijk was dat een meeton nauwkeurigheid.

x. 2 Kenmerken van de hoekstandverandering.

Omdat de afstanden afgelegd op het gewrichtsvlak steeds gelijk zijn, zou men bij puur cirkelvormige botstukken verwachten dat de hoekstandverandering ook lineair van nul naar de eindstand verloopt. Bij spiraalvormige botstukken blijkt dit echter niet zo te zijn. Een analyse van dit fenomeen:


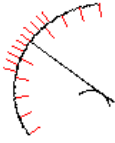



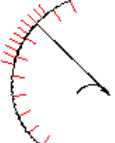




Er wordt gebruik gemaakt van de invoer zoals te zien in tabel [xx.2](#), deze waarden zijn dus aangepast op de eerder gestelde eisen aan de invoer.

Tabel [xx.2](#)

	Concaaf	Convex
Straal (van grondcirkel)	13	13
Kleinste afwikkellengte	65	45
Grootste afwikkellengte	73	73

In tabel [xx.3](#) staan alle standen van het gewricht met de hoek die wordt gemaakt en de hoekverdraaiing.

Tabel xx.3

Stand	Hoek	Delta Hoek	Grafische weergave:	Stand	Hoek	Delta Hoek	Grafische weergave:
1	0	-		6	55	9	
2	13	13		7	64	9	
3	25	12		8	73	9	
4	36	11		9	81	8	
5	46	10		10	88	7	

Uit deze tabel kunnen we halen dat wanneer 1/3 deel van het contactoppervlak doorlopen is, reeds 41% van de hoekverdraaiing verricht is ($13 + 12 + 11 = 36$ en $36 / 88 = 0,41$). Wanneer het laatste 1/3 deel van contactoppervlak doorlopen wordt, wordt nog slechts 27,3% van de hoekverdraaiing extra verricht ($9 + 8 + 7 = 24$ en $24 / 88 = 0,273$). In de praktijk wil dit zeggen dat kraakbeenverlies als gevolg van een bewegingsbeperking aan het einde van een gewrichtsvlak minder invloed op de beweeglijkheid heeft dan kraakbeenverlies aan het begin van het gewrichtsvlak. Met begin en eind van het gewrichtsvlak wordt het meest en minst gekromde deel bedoeld. In welke verhouding het kraakbeen op beide delen van het gewrichtsvlak in werkelijkheid verdwijnt is ons onbekend.

x.3 Abduceren met een geëndoroteerde en met een geëxoroteerde arm.

In het gewrichtsmodel dat tot stand is gekomen met een dwarsdoorsnede van een geëxoroteerde humerus vinden we een hoekverdraaiing van 88 graden.

Een foto van een dwarsdoorsnede van een geëndoroteerde glenohumeraal gewricht staat helaas niet tot onze beschikking. Daarom is er gekeken wat mogelijk de invloed zou zijn geweest van een andere omtrek van het gewrichtsprofiel dit bij zowel convex als concaaf.

Overigens kan er aan de hand van skeletmodellen uit het VIVO-lokaal wel al het volgende worden gezegd:

Een lijn over het convex profiel gelegen in het frontale vlak is kleiner wanneer de humerus in endorotatie staat dan wanneer hij in exorotatie staat.

Wanneer de profielomtrek van convex kleiner wordt gemaakt, is te zien dat de maximale hoekverdraaiing ook kleiner wordt (Tabel xx.4). Hierbij is de grootste afwikkellengte van concaaf gelijkgesteld aan de nieuw ingevoerde grootste afwikkellengte van convex, zodat wel nog steeds aan de eis wordt voldaan dat beide grootste afwikkellengtes gelijk moeten zijn. (Voor de duidelijkheid: een profielomtrek van een gewricht wordt kleiner als de kleinste afwikkellengte groter wordt en/ of de grootste afwikkellengte kleiner wordt).

Tabel xx.4

	Concaaf	Convex	Hoekverdraaiing
Straal (van grondcirkel)	13	13	66
Kleinste afwikkellengte	65	$45 + 5 = 50$	
Grootste afwikkellengte	$73 - 5 = 68$	$73 - 5 = 68$	

Nu weten we dus dat een kleinere profielomtrek op convex voor een kleinere maximale hoekverdraaiing zorgt. Ook is er gekeken wat de invloed is van een kleinere omtrek van concaaf. De resultaten zijn te zien in (Tabel xx.5). Hieruit blijkt dat een kleinere profielomtrek van concaaf juist zorgt voor een vergroting van de maximale hoekverdraaiing. In tabel xx.6 wordt gekeken wat het effect is van een grotere profielomtrek van concaaf.

Tabel xx.5

	Concaaf	Convex	Hoekverdraaiing
Straal (van grondcirkel)	13	13	110
Kleinste afwikkellengte	$65 + 5 = 70$	45	
Grootste afwikkellengte	$73 - 5 = 68$	$73 - 5 = 68$	

Tabel xx.6

	Concaaf	Convex	Hoekverdraaiing
Straal (van grondcirkel)	13	13	66
Kleinste afwikkellengte	$65 - 5 = 60$	45	
Grootste afwikkellengte	$73 + 5 = 78$	$73 + 5 = 78$	

Dus de maximale hoekverdraaiing met een geëndoroteerde arm wordt alleen kleiner als of de profielomtrek van concaaf groter wordt of de profielomtrek van convex kleiner wordt. Na skeletmodellen te hebben bekeken vermoeden wij dat het vooral convex is dat een kleinere profielomtrek heeft in geëndoroteerde positie.

De exacte invloeden van dit kleinere profielomtrek van convex op de bewegingsuitslag kunnen echter nog niet worden verkregen omdat een doorsnede van een geëndoroteerd glenohumeraal gewricht zoals eerder vermeld nog niet gevonden is.

Volgens literatuur is het verschil in abductie tussen een geëndoroteerde en geëxoroteerde humerus ... graden (verwijzing naar hoofdstuk Anatomie + invullen op puntjes wat deze hoek is).

x.4 Invloed van de gewrichtsstand op de ligging van rotatievectoren.

Een spiraalvormig gewricht heeft als kenmerk dat de plek van het momentane rotatie centrum niet vast ligt, maar gedurende de bewegingen verplaats. Deze verplaatsing is gelijk aan de verplaatsing van het kruispunt van de ligamenten. Met het huidige model kan helaas nog niet de positie van het momentaan rotatiecentrum worden bepaald. Om toch een beeld te krijgen zijn met potlood en geodriehoek de momentaan rotatie centra bepaald. Dit werd gedaan in drie gewrichtsstanden, namelijk de beginstand, de eindstand en een middenstand. Tekeningen van deze bepalingen zijn te vinden in de bijlage.

Het resultaat is dat bij een geadduceerd glenohumeraal gewricht het momentaan rotatiecentrum dicht bij het contactpunt ligt dan in abductiestand. Dit betekent dat gedurende de abductie de rol component kleiner wordt en de schuif component groter.

Dit betekent dat het MRC van de cavitas af beweegt, wanneer we in ons achterhoofd nemen dat de cavitas tijdens abductie steeds verder naar craniaal wordt geroteerd, betekent dit dat het MRC van mediaal caudaal naar lateraal craniaal beweegt. Daarbij wordt een afstand afgelegd van ongeveer 25% van de breedte van het caput humeri. Want de afstand van het MRC tot het contactpunt verplaatst zo'n 15 mm (opgemeten aan de tekeningen in de bijlage). De breedte van het caput humeri in deze tekeningen is iets meer dan 60 mm, $15 / 60 = 0,25$.

Hoewel hier niet bepaald is wat de invloed van de draaiing van de cavitas is op de verplaatsing van het MRC, valt al te verwachten dat de verplaatsing van het MRC niet meer zal zijn dan 1 à 2 cm.

Omdat het te ontwerpen meetinstrument niet op de graad nauwkeurig hoeft te kunnen meten, is een exacte bepaling van het draaipunt ook niet nodig. Wel zal getracht moeten worden om minimaal één keer tijdens de beweging het draaipunt van een goniometer of een verwant meetinstrument samen te laten vallen met het draaipunt van de humerus.

Met de verkregen informatie kan alleen iets worden gezegd over de translatie van de rotatie-as in het vlak waarin de foto werd genomen. Translatie in de overige twee vlakken loodrecht op deze foto zullen met andere foto's van het gewricht en dus andere instellingen van het gewrichtmodel bepaald moeten worden.

Omdat vermoed wordt dat het vooral een sagitale as is die de abductie beweging bepaald, wordt in dit hoofdstuk niet verder in gegaan op de overige componenten van de rotatie-as, die er ongetwijfeld wel zijn.

x. 5 Gevolgen voor het gewrichtsmodel:

Het gevonden kenmerk dat niet ieder deel van de gewrichtsprofielen evenveel invloed heeft op de bewegingsuitslag heeft slechts invloed op de interpretatie van de gemeten hoeken door fysiotherapeuten. Het meetsysteem zelf hoeft hier geen rekening mee te houden.

Het meetsysteem dat wordt gebruikt om de humero-scapulaire hoek te meten moet een hoek kunnen maken van minimaal 88 graden. Een endorotatie van de humerus zorgt alleen maar voor een kleinere hoek. Om ook mensen te kunnen opmeten die met een geëxoroteerde humerus leniger zijn, zou de hoekmeter verder moeten kunnen lopen dan 88 graden.

Translatie van het momentaan rotatiecentrum is aanwezig, maar dusdanig klein dat de centrode waarop deze momentane rotatie centra liggen gezien kan worden als één draaipunt. Wanneer men op graden of tienden van graden nauwkeurig wil meten is een exacte bepaling van het MRC op ieder moment echter wel gewenst. Voor de doelgroep van het te produceren meetsysteem is dit niet noodzakelijk.

De bevindingen in dit hoofdstuk hebben vooral invloed op de mate van hoekverdraaiing in het glenohumeraal gewricht en niet op het verloop van de beweging van de humerus in een drie dimensionale ruimte.

Om de invloed op het verloop van de beweging in de drie dimensionale ruimte te meten zijn namelijk ook arthrokinematische analyses nodig in de overige twee vlakken loodrecht op het geanalyseerde vlak van de foto.

Met het meetinstrument dat ontworpen zal worden dient dus vooral het verschil in hoekverdraaiing gemeten te worden, omdat over het bewegingsverloop met de nu onderzochte gewrichtseigenschappen niets gezegd kan worden. Dit is overigens ook niet de opdracht van dit moduleproject.

Discussiepunten:

- Er wordt opmeten vanuit een foto. Het is weliswaar zo dat des te groter de foto wordt afgedrukt des te nauwkeuriger de meting. Desalniettemin blijft een opmeting van papier niet de nauwkeurigste wijze, maar omdat er momenteel geen andere meetmethoden bestaan is het op deze wijze gedaan.
- In het gebruikte gewrichtsmodel ontbreken ligamenten, hierdoor is er niets te zeggen over de exacte ligging van de ligamenten. Wel is er gekeken op welke as deze ligamenten elkaar kruisen, dit was namelijk de as door het momentaan rotatie centrum.
- Er is niet onderzocht in welke mate de verplaatsing van het momentaan rotatiecentrum bepalend is voor de nauwkeurigheid van een goniometer.

Woordenlijst:

MRC Momentaan rotatiecentrum

Literatuurverwijzingen:

A1) <http://vhp.med.umich.edu/RegionalB.html>

A2) H.N. Oonk, Osteo- en Arthrokinematica, uitgeverij henric graaff van ijssel, 1988, Nederweert.

A3) EOS-Magazine&PeterFrank, CD-rom, De zichtbare men