



Universiteit  
Leiden  
The Netherlands

## Visualisation of articular motion in orthopaedics

Krekel, P.R.

### Citation

Krekel, P. R. (2011, February 10). *Visualisation of articular motion in orthopaedics*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/16455>

Version: Corrected Publisher's Version

License: [Licence agreement concerning inclusion of doctoral thesis in the Institutional Repository of the University of Leiden](#)

Downloaded from: <https://hdl.handle.net/1887/16455>

**Note:** To cite this publication please use the final published version (if applicable).

## Samenvatting (Dutch summary)

In dit proefschrift onderzoeken we hoe medische visualisatie inzicht kan geven in de articulatie en bewegingsvrijheid van gewrichten, met als doel om chirurgische beslissingen die betrekking hebben op de behandeling van pathologie van gewrichten te ondersteunen. Hiervoor bestuderen we medische visualisatieapplicaties op het gebied van beeldverwerking, diagnose, pre-operatieve planning en kinematische evaluatie.

Een techniek voor het segmenteren van botstructuren in computer tomografie (CT) scans van reumatoïde schouders wordt beschreven in *hoofdstuk 2*). Het segmentatieproces wordt gecompliceerd door gaten (botcystes), onregelmatigheden en een niet uniforme dichtheid van het botweefsel, een gevolg van de pathologische staat van het gewricht. Voor het specifieke geval van het schoudergewricht zijn bestaande segmentatietechnieken onvoldoende nauwkeurig. Onze benadering stelt gebruikers in staat om snel en accuraat CT scans van gleno-humerale gewrichten met variërende botdichtheid en een smalle gewrichtsspleet (door slijtage) te segmenteren.

De techniek bestaat uit drie stappen en begint met een grof oppervlaktemodel van de botten. Het gewricht wordt omcirkeld door de minimale curvatuur van het oppervlaktemodel te berekenen. Vervolgens worden de intersectiepunten van deze cirkel met de verschillende CT-plakken verbonden door middel van een kortste pad routine. Tenslotte worden de fouten van deze segmentatie verbeterd door iteratief een Hough transform toe te passen op het segmentatieresultaat. De Hough transform filtert oneffenheden uit de segmentatie en maakt hiervoor gebruik van de curvatuur van het segmentatieoppervlak.

De segmentatieroutine is ontwikkeld om het extraheren van botmodellen uit CT scans voor een pre-operatief planningssysteem te faciliteren. De beperkte beschikbare tijd in de klinische praktijk introduceert de vereiste dat onze segmentatieroutine een voldoende accuraat segmentatieresultaat moet produceren in minder dan twee minuten. De beschreven techniek voldoet aan dit criterium. We concluderen hieruit dat een combinatie van curvatuurberekeningen, beperkte gebruikersinteractie en een

iteratieve verfijning door middel van een Hough transform tot bevredigende segmentatieresultaten leidt bij zeer ernstig aangetaste reumatoïde schoudergewrichten.

De gesegmenteerde volumes worden omgezet naar botmodellen die een belangrijke rol spelen in pre-operatieve planning voor schoudervervangingschirurgie. Een snelle en efficiënte methode voor interactieve visualisatie van patiënt-specifieke door bot bepaalde bewegingsvrijheid van het gleno-humerale gewricht wordt beschreven in *hoofdstuk 3*. De gleno-humerale bewegingsvrijheid wordt gevisualiseerd door middel van bewegingsenvelopen die de maximale bewegingsvrijheid van de humerus t.o.v. het glenoid weergeven in elke richting van het gewricht. In het gepresenteerde pre-operatieve planningssysteem kan de protheseplaatsing interactief aangepast worden. Tegelijkertijd geeft het systeem met een speciale visualisatietechniek het verschil aan tussen de huidige en de vorige bewegingsvrijheid van het gewricht. Door optimalisatietechnieken kunnen we de gevolgen van een aanpassing aan de planning van een schouderveranging in real-time laten zien.

De resultaten van een evaluatie-experiment voor de bewegingsvrijheidsimulator worden gepresenteerd in *hoofdstuk 4*. In het experiment werden beide schouders van een kadaver vervangen door een modulaire schouderprothese. Een dataverbinding werd gecreëerd tussen ons systeem en een bestaand computernavigatiesysteem. Dit stelde ons in staat om real-time de positie en oriëntatie van de patiëntspecifieke botten te volgen in de door ons ontwikkelde software. Met deze opstelling hebben we alle gevallen van impingement van een serie opgelegde bewegingen geregistreerd. Deze registraties hebben we vervolgens vergeleken met de resultaten van onze bewegingsvrijheidsimulatiesysteem. Uit de resultaten blijkt dat het bewegingsvrijheidsimulatiesysteem voldoende accuraat is om als ondersteunend instrument te gebruiken bij schoudervervangingschirurgie.

In *hoofdstuk 5* wordt beschreven hoe het bewegingsvrijheidsimulatiesysteem gebruikt kan worden om benige impingement en gewrichtsarticulatie van proximale humerus fractures (PHF) te bestuderen. De morfologie van deze breuken varieert aanzienlijk. Classificatiesystemen proberen deze verschillen te formaliseren om zo de relatie te leggen met klinische resultaten. Echter, in de literatuur is aangetoond dat de validiteit van deze classificatiesystemen matig is. Daarom is een objectievere methode nodig als voorspeller voor uitkomst.

Het blijkt mogelijk te zijn om de door bot bepaalde bewegingsvrijheid van een gewricht reproduceerbaar te evalueren en te relateren aan morfologische eigenschappen. Een conclusie van deze studie is dat intra-articulaire breuken over het algemeen tot een slechtere prognose leiden met betrekking tot bewegingsvrijheid, in vergelijking met breuken waarbij het gewrichtsvlak nog intact is. De door bot bepaalde bewegingsvrijheid van breuken met een verplaatst tuberculum major en minor is over het algemeen groter dan die van intra-articulaire breuken, maar deze leiden vaak nog

steeds tot een beperking van abductie door de coraco-acromiale boog. Tenslotte blijkt dat een lage inclinatiehoek een indicator is voor een grote kans op impingementcomplicaties, zowel glenohumeraal als subacromiaal.

Een nieuw analysesysteem voor kinematische data wordt beschreven in *hoofdstuk 6*. Kinematische analyse is de analyse van bewegingen zonder dat daarbij krachten of inertieële krachten worden beschouwd. Kinematische data van meerdere gewrichten, zoals bijvoorbeeld bij de bovenste extremiteit, omvat veel aan elkaar gereleateerde vrijheidsgraden die numerieke analyse bemoeilijken. Het analyseproces kan ondersteund worden door visualisatietechnieken die de effectiviteit van kinematische experimenten vergroten.

In ons specifieke geval zijn de kinematische data afkomstig uit bewegingsregistratiesystemen. De data worden gebruikt om klinische resultaten te evalueren. De bovenste extremiteit bestaat uit vijf samenwerkende gewrichten die samen 15 vrijheidsgraden hebben. De bewegingsvrijheid kan beperkt worden door subtiele beperkingen van individuele gewrichten. Om dit zichtbaar te maken combineren wij in onze benadering interactieve filters met meerdere visualisatietechnieken.

Ons systeem integreert simultane acquisitie en visuele analyse van kinematische data en vormt een effectieve benadering die specifiek ontworpen is voor het onderzoeken en vergelijken van grote hoeveelheden kinematische data. Om complexe zoekopdrachten mogelijk te maken hebben we een visuele query-interface ontworpen met visualisatie en interactie-elementen die gebaseerd zijn op domein-specifieke anatomische representaties van de data. We beschrijven een evaluatie-experiment waarbij we het systeem hebben gebruikt om de kinematica van de linker- en rechterschouder van een patiënt met een geheelde schouderfractuur te bestuderen. Het systeem stelde ons in staat om afwijkende bewegingspatronen te constateren en te beschrijven.

Tenslotte geven we voorbeelden van orthopaedische problemen waarbij de bewegingsvrijheidssimulator gebruikt kan worden om een behandelingsbeslissing te ondersteunen (*hoofdstuk 7*). Dit doen we door middel van drie casus:

1. De eerste casus betreft een patiënt met een schouderfractuur. Door analyse van de fractuur met de bewegingsvrijheidssimulator was het mogelijk om te berekenen wat de benodigde correctie was teneinde impingement te voorkomen.
2. De tweede casus betreft de evaluatie van het risico van een luxatie van een totale heupprothese. Met de bewegingsvrijheidssimulator is het mogelijk om de verkeerde oriëntatie van een prothese te detecteren, die een mogelijke oorzaak van een luxatie kan zijn.
3. De derde casus betreft een patiënt die gediagnostiseerd was met femoroacetabulair impingement. Dit is een afwijking waarbij beweging van het heupgewricht

beperkt wordt door ossificaties. Arthroscopische behandeling, waarbij bot werd weggehaald, leidde niet tot een bevredigend resultaat. Met de bewegingsvrijheidsimulator werd de kinematica van het gewricht geanalyseerd. Aan de hand van deze simulaties werd vastgesteld waar er bot verwijderd moest worden tijdens een tweede arthroscopische behandeling. Het succes van deze tweede operatie kon aangetoond worden met behulp van een post-operatieve CT scan en bewegingsvrijheids simulaties.

Het in dit proefschrift gepresenteerde bewegingsvrijheids simulatiesysteem draagt bij aan het beslissingsproces dat vooraf gaat aan de behandeling van patiënten met potentiële impingementproblemen.