

Cover Page



Universiteit Leiden



The handle <http://hdl.handle.net/1887/36019> holds various files of this Leiden University dissertation.

Author: Malan, Daniel Francois

Title: Pinning down loosened prostheses : imaging and planning of percutaneous hip refixation

Issue Date: 2015-10-29

Samenvatting

In dit proefschrift onderzochten wij hoe computer software gebruikt kan worden om medische beelden van een aseptisch loslatende heupprothese te analyseren, een minimaal invasieve cementinjectie procedure te plannen, en uiteindelijk te begeleiden. We hebben in het bijzonder getracht geautomatiseerde of semi-geautomatiseerde algoritmen te ontwikkelen die patiënt-specifieke planning en behandeling mogelijk kunnen maken binnen de beperkingen van de klinische praktijk. Het was eveneens ons doel om gebruik te maken van bestaande medische beeldvormingshardware, zoals Computed Tomography (CT) en C-arm fluoroscopie. Het onderzoek in dit proefschrift werd uitgevoerd in een onderzoeksgroep waar vanaf 2005 een nieuwe behandel-methode voor dit doel is ontwikkeld. Deze behandelmethode is inmiddels ook al toegepast op een kleine groep geselecteerde patiënten.

Het eerste onderwerp waar wij ons op richtten was de detectie en meting van periprothetisch botlaesies in CT beeldvolumes. In hoofdstuk 2 onderzochten wij of periprothetische botletsels nauwkeurig gemeten konden worden in de aanwezigheid van beeldartefacten die door een metalen heupprothese veroorzaakt werden. Het antwoord op deze vraag was van belang omdat veel van onze verdere experimenten en algoritmes afhankelijk zijn van de zichtbaarheid van deze laesies in de driedimensionale (3D) CT-beelden. In de aanwezigheid van een grote metalen prothese veroorzaken "beam hardening" beeldartefacten ernstige degradatie van beeldkwaliteit. We waren niettemin in staat om deze periprothetische laesies af te bakenen, hoewel metalen artefact-reductie (MAR) door lineaire sinogram-interpolatie ons hinderde in het afbakenen van de laesies. Dit is interessant, aangezien MAR juist als doel heeft beeldkwaliteit te verbeteren. Terwijl MAR in isolatie nadelen heeft, toonden we in de hoofdstukken 5 en 6 dat MAR handig is wanneer het met onbewerkte CT-beelden gecombineerd wordt en zodoende weefsel classificatie resultaten kunnen verbeteren.

In het hoofdstuk 3 onderzochten we post-operatieve CT's van patiënten die

bij onze instelling behandeld werden gedurende de jaren 2006 tot en met 2011. Deze patiënten kregen uiteindelijk allemaal percutane cementinjecties om hun aseptisch loszittende heupprothesen te refixeren. Hun behandeling verschilde echter wat betreft een belangrijk aspect: één patiëntengroep werd preoperatief behandeld met gen-gestuurde enzym prodrug therapie (GDEPT) om het vezelachtige interface weefsel te doden, terwijl de andere groep geen pre-operatieve behandeling kreeg. We maten de volumens van periprosthetische osteolytische laesies bij elke patiënt, alsmede de hoeveelheid cement dat gedurende de procedure werd geïnjecteerd. Wij maten bij patiënten die pre-operatieve GDEPT ondergingen meer geïnjecteerd cement dan bij degenen die de behandeling niet ondergingen. Hieruit leiden wij af dat voorafgaande verwijdering van periprosthetische interface weefsel betere doorstroming van cement en cementpenetratie mogelijk maken, dat op zijn beurt weer kan leiden tot een betere prothese-refixatie. We suggereren dat nieuwe instrumenten waarmee interface-weefsel verwijderd kan worden het succes van de procedure zou kunnen verhogen.

In het hoofdstuk 4 onderzochten we door een experiment in hoeverre radio-opaque materialen zoals heupbotten het CT intensiteitswaarden in nabijgelegen structuren kunnen verstoren. We ontdekten dat dit inderdaad het geval is, en waarschuwden dat dit effect algoritmes kunnen verstoren wanneer zij sterk afhankelijk zijn van absolute beeldintensiteit-waarden. Voorbeelden van gevoelige algoritmes zijn die die voor indeling van weefsels of voor het afleiden van numerieke materiaaleigenschappen zoals elasticiteit gebruikt worden. We sloten het hoofdstuk af met door een voorbeeld van numerieke fouten te laten zien die in eindige elementmodellen op kunnen treden als dergelijke onjuistheden niet uitgeschakeld worden.

In het hoofdstuk 5 ontwikkelden we een algoritme voor classificatie van weefselsoorten dat automatisch periprosthetisch bot, cement en vezelig interfaceweefsel kan onderscheiden. De mogelijkheid om deze weefsels te onderscheiden is belangrijk voor mechanische simulatie van een in-vivo heupprothese. Allereerst onderzochten wij het gebruik van statistische classificatie algoritmes die 3D-beeldelementen (voxels) als individuele entiteiten behandelen. Iedere voxel werd vertegenwoordigd door een reeks numerieke waarden die overeenkomen met beeldeigenschappen. Ons algoritme combineert verschillende complementair bewerkte beelden, waaronder MAR, om tot een antwoord te komen.

In het hoofdstuk 6 voegden wij het gebruik van “constrained graph cuts” toe tot ons eerder-ontwikkelde voxel classificatie-techniek die in het vorige hoofd-

stuk ontwikkeld werd. Graph Cuts stelde ons in staat om geometrische kennis in onze weefselclassificatie te gebruiken die niet mogelijk zou zijn geweest wanneer elk voxel als individu behandeld werd. Vervolgens testten wij onze classificatie-pijplijn op een set van twaalf klinische CT volumes. We waren in staat om de relevante periprosthetische weefsels met gevoeligheden van meer dan 73% en specificiteiten van meer dan 96% te classificeren. Hoewel dit resultaat niet zo goed was als een volledig handmatige mensgestuurde classificatie, kan ons algoritme haar taak op een standaard computer uitvoeren in een half uur – zelfs in zijn niet-geoptimaliseerde toestand. Dit is vergelijkbaar met de hoeveelheid tijd die een opgeleide menselijke expert nodig zou hebben.

In het hoofdstuk 7 verbeterden we een bestaand partikel-gebaseerde multi-materiaal “meshing” algoritme. Dit stelt ons in staat minder-dichte multi-materiaal driehoekjesmodellen en tetraëder-modellen te creëren zonder veel geometrische nauwkeurigheid prijs te geven of gladheid van het driehoekjes-model af te dwingen. Als voorbeeld toonden we aan hoe het aangepast algoritme een tetraëdrische multi-materiaal netwerk van de zes miljoen beeld-voxels van een gesegmenteerde femur dataset genereert, waarvan wij uiteindelijk 200,000 tetraëders overhouden die de vorm van de afzonderlijke weefselgebieden met een gemiddelde fout van minder dan 0,1 mm benaderde.

In het hoofdstuk 8 richtten wij onze aandacht op hoe informatie en modellen, zoals die in de voorgaande hoofdstukken beschreven, aan een chirurg kunnen worden doorgegeven op zodanige wijze dat dit nuttig is bij het plannen en uitvoeren van een minimaal invasieve cementinjectie-operatie. Hiervoor ontwikkelden we HipRFX, een proof-of-concept softwaremodule. In een preklinische test was HipRFX in staat intra-operatieve fluoroscopische C-arm afbeeldingen te simuleren die de chirurg een stap-voor-stap serie van snapshots gaf. Die waren te gebruiken als referentie tijdens het uitvoeren van zijn gesimuleerde operatie. We waren bovendien in staat om schattingen te maken van de percutane geïnjecteerde cement volumes die daadwerkelijk de beoogde doelen bereikten. De feedback die we van de orthopedisch chirurg ontvingen was positief, vooral met betrekking tot de manier waarop de additionele intraoperatieve informatie zijn workflow aanvulde, zonder onnodig veel tijd of ruimte in de operatiekamer op te nemen of om nieuwe apparatuur in de operatiekamer aan te schaffen.

We sloten dit proefschrift af met een algemene discussie in hoofdstuk 9 waar wij toekomstige richtingen voor de voortzetting van het onderzoek uit dit proefschrift bespreken.

