



Universiteit
Leiden
The Netherlands

Computer-aided detection of wall motion abnormalities in cardiac MRI

Suinesiaputra, A.

Citation

Suinesiaputra, A. (2010, March 30). *Computer-aided detection of wall motion abnormalities in cardiac MRI*. *ASCI dissertation series*. Retrieved from <https://hdl.handle.net/1887/15187>

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/1887/15187>

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

9

SAMENVATTING

9.1 Statistische modellering van de wandbeweging van het linkerventrikel

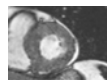
DIT proefschrift verkent als eerste twee mogelijke parametrisaties om normale wandbeweging van het contraherende myocard wiskundig te beschrijven. Hoofdstuk 2 beschrijft een pilotstudie naar directe kwantificatie van wandbeweging op basis van MR tagging technieken, terwijl in Hoofdstuk 3, vormkenmerken over myocardcontractie worden afgeleid uit endo- en epicardiale contouren in cine MRI-beelden.

MR tagging maakt een volledige beschrijving van wandbeweging mogelijk, niet alleen van de myocardcontouren, maar voor een continuüm aan posities in het myocard. De met MR tagging aangebrachte spatiële patronen volgen de contractie van het hart, hetgeen een kwantitatieve bepaling van de myocardvervorming mogelijk maakt. Hieruit kan automatisch een snelheidsveld worden afgeleid door gebruik te maken van een multi-schaal optic flow methode. Deze techniek doet geen aannames over een constante pixelintensiteit in de tijd, maar gaat uit van een constante integraal van pixelintensiteiten binnen een regio (behoud van “intensiteitsmassa”). Als zodanig is de methode relatief robuust met betrekking tot het typische probleem van vervagende streppatronen in MR tagging in de hartcyclus.

In Hoofdstuk 2 wordt de voorgestelde optic flow techniek vergeleken met snelheidsgecodeerde MRI (VEC-MRI). Resultaten tonen een sterke correlatie in de radiële richting, maar niet in de tangentiële richting. De correlatie is sterker voor snelheidsvectoren in de systolische fase dan die in de diastolische fase. Om dit probleem op te lossen zijn nog verdere algoritmische verbeteringen nodig, bijvoorbeeld door het optic-flow veld te berekenen in het frequentiedomein in plaats van het spatiële domein [1, 2].

MR tagging is nuttig voor de analyse van myocardcontractiliteit. In de klinische praktijk is MR tagging momenteel niet opgenomen in routine diagnostische protocollen voor ischemische hartziekten. Om die reden hebben we de focus van dit onderzoek verlegd naar de mogelijkheid om myocardcontractie te karakteriseren uit cine MRI-beelden, in plaats van uit MR tagging.

Om de globale en lokale functie van het LV myocard te analyseren in cine-MRI zijn de endo- en epicardiale contouren vereist, zowel in ED als ES. Op basis hiervan kunnen parameters als ejectiefraction, wandverdikking, wanddikte en slagvolume worden berekend. Om de contractie van het myocard te karakteriseren met behulp van statistische modellen, combineren we deze contouren in een vormparametrisatie van myocardcontractie, waarbij landmark punten worden bemonsterd langs equi-angulaire intervallen om puntcorrespondentie tussen contouren te bewerkstelligen. In Hoofdstuk 3 werd onderzocht of het



mogelijk is om met deze vormparametrisatie de contractie van 42 normale vrijwilligers automatisch te onderscheiden van 47 patiënten met ischemische hartziekten. Twee lineair generatieve modellen werden gebruikt om de vormbeschrijvingen te ontbinden in componenten: Principal Component Analysis (PCA) en Independent Component Analysis (ICA). Wat betreft de vormeigenvariaties leverde PCA globale vormvariaties op, waar ICA meer lokale vormvariaties genereerde. Qua onderscheidend vermogen tussen normalen en patiënten gold dat voor PCA alleen de 1e component al voldoende was om beide klassen te onderscheiden. Voor het ICA model gold dat 27 van de 35 componenten (77.14%) componenten nodig waren om hetzelfde onderscheidend vermogen te realiseren. Hieruit kan worden geconcludeerd dat PCA een compactere vormdecompositie oplevert dan ICA.

Voor classificatiedoeleinden kan de PCA decompositie de twee groepen alleen scheiden op globale vormverschillen. Uit de onderscheidende componenten kan geen geometrische interpretatie van het classificatieresultaat worden afgeleid. ICA genereert een minder compacte vormrepresentatie dan PCA, omdat de vormvariatie gelijkmatig over alle componenten is verdeeld. De ICA decompositie daarentegen onderscheidt niet alleen de twee groepen, maar kan ook de positie van de onderscheidende vormverschillen lokaliseren. Deze lokaliteitseigenschap maakt ICA geschikter dan PCA voor het detecteren en lokaliseren van regional wandbewegingsafwijkingen. Op basis van deze observatie is ICA in de verdere hoofdstukken gekozen als vormdecompositie om lokale vormkenmerken uit myocardvormen af te leiden.

9.2 Automatische detectie van afwijkingen in regionale wandbeweging van het LV

Het tweede doel van dit proefschrift was het ontwikkelen van een algoritme voor automatische detectie en lokalisatie van afwijkingen in LV regionale wandbeweging. Aangezien een Independent Component intrinsiek de lokale geometrie beschrijft van de vormparametrisatie, kan detectie van lokale regionale wandbewegingsstoornissen worden uitgevoerd door “abnormale componenten” te identificeren: dit zijn componenten waarvan de coëfficiënten buiten de op gezonde proefpersonen getrainde statistisch plausibele limieten vallen. Dit concept is beschreven in Hoofdstuk 4, waarbij de kansverdelingen werden geschat op basis van de aanname van een normale kansverdeling. Klassificatiegrenzen werden gedefiniëerd op 99.7% range, of ± 3 de standaardafwijking.

Een kwalitatieve validatie van deze automatische RWMA methode werd uitgevoerd op MRI beelden van zes infarctpatiënten. De afwijkende componentcoëfficiënten werden geprojecteerd op het myocard in de cine MRI beelden met behulp van een kleurcodering, die is afgeleid van een combinatie van de IC coëfficiëntwaarden, en een vergelijking werd gemaakt met Delayed Enhancement MRI. In alle zes patiënten was een goede overeenkomst zichtbaar tussen de als abnormaal gedetecteerde segmenten en de hyperenhanced gebieden in de Delayed Enhancement MRI.

De studie in Hoofdstuk 4 liet zien dat de ICA-gebaseerde detectie in staat is om regionale wandbewegingsafwijkingen te herkennen en te lokaliseren. In Hoofdstuk 6 werd de kwantificatie van RWMA gebaseerd op geschatte kansverdelingen, en werd het proces van transformeren van componenten naar het spatiële domein verbeterd. De kansverdelin-

gen van de modelcoëfficiënten van gezonde personen werden omgerekend in kansverdelingen per landmarkpunt; deze propagatie van kansverdelingen is alleen mogelijk door de ICA eigenschap van statistische onafhankelijkheid tussen de componenten. Deze propagatie geeft voor elk landmarkpunt een kansverdeling, die wordt geschat op basis van alle ICs, waardoor contextinformatie uit naastgelegen landmarks geïntegreerd wordt.

Hoofdstuk 6 beschrijft een kwantitatieve validatie op basis van kruisvalidatie. Een vergelijking met visuele wandbewegingsscores werd gemaakt met wandverdikking als referentie, waarbij de automatische RWMA techniek significant beter scoorde. Met visuele wandbewegingsscores als referentie scoort de automatische detectie licht beter dan wandverdikkingsmetingen. Deze studie toonde de potentie aan van de ICA methode voor het automatisch detecteren van myocardsegmenten met abnormale regionale wandbeweging.

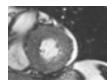
9.3 Automatische bepaling van functionele verbeteringen in wandbeweging

Het laatste onderzoeksdoel van dit proefschrift was het bepalen van de voorspellende waarde van de automatische RWMA detectie door deze te correleren met andere prognostische indices voor het vermogen tot herstel van het myocard na interventie (viabiliteit). LV contouren in dobutamine stress MR (DSMR) beelden werden gebruikt in de automatische RWMA detectie, en vergeleken met automatisch berekende RWMA waarden in rust. Onderzoekshypothese was dat als de contour sets uit verschillende stressniveaus worden vergeleken, verschillen in automatische RWMA waarden indicatief kunnen zijn voor myocardviabiliteit.

Hoofdstuk 5 onderzocht de verschillen in automatische RWMA waarden tussen rust en stress. Een kwalitatieve evaluatie in zes patiënten met ischemische hartziekten toonde aan dat een verbetering in contractie van rust naar stress correspondeerde met een verlaging van de automatische RWMA waarde, die de mate van wandbewegingsabnormaliteit uitdrukt. In andere woorden, een verbetering in contractiliteit tussen rust en stress correleerde met een statistisch normalere contractie, en omgekeerd. Interessante bevinding was ook dat de methode een verbetering in wandverdikking als abnormaal klassificeerde in geval van diskinetische wandbeweging. Dit geeft aan dat de automatische RWMA methode niet alleen wandverdikking beschouwt, maar tegelijk ook wandbeweging.

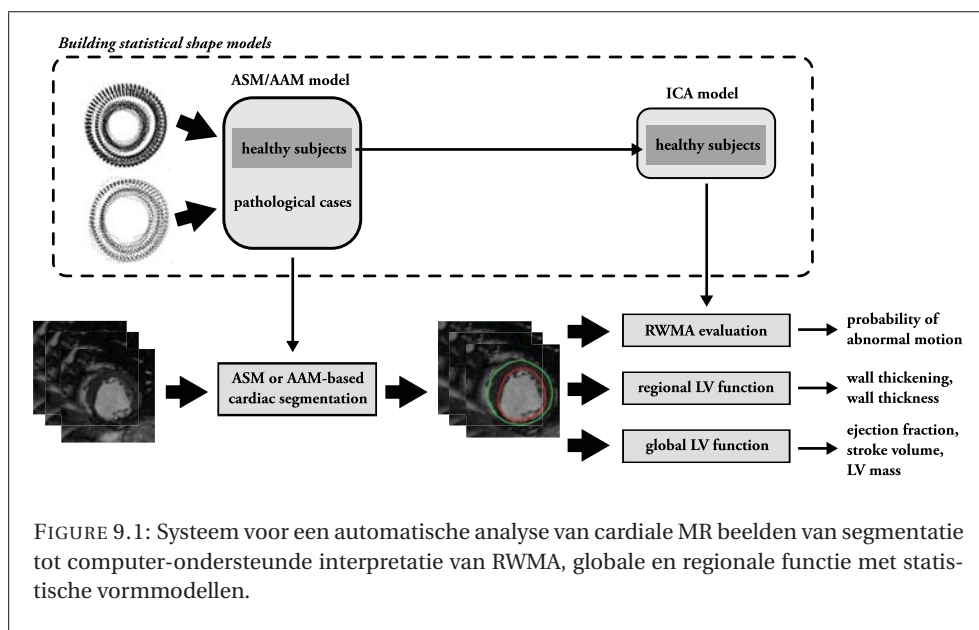
In Hoofdstuk 7 werd deze techniek verder verbeterd om een betere vergelijking tussen contouren uit de beide stressniveaus mogelijk te maken. Na rigide (Procrustes) en niet-rigide registratie, werd een tweede niet-rigide registratie toegepast om vormverschillen tussen het epicardcontouren te elimineren. Alleen relatieve verschillen in endocardbeweging ten opzichte van het epicard werden zo gemodelleerd. Zonder deze aanvullende registratie kunnen er fout-positieve klassificaties optreden omdat sterke contracties in stress anders als abnormaal kunnen worden geklassificeerd.

Idealiter is longitudinale pre- en post-revascularisatie data nodig om een mogelijke prognostische indicator voor myocardviabiliteit te valideren. Dergelijke data was niet voorhanden. Daarom werd in Hoofdstuk 7 een vergelijking beschreven met infarct transmuraliteit afgeleid uit Delayed Enhancement MRI, omdat deze maat correleert met de



mogelijkheid tot functioneel herstel na revascularisatie [3]. De automatische RWMA waarden bleken op alle slice niveaus sterk te correleren met infarct transmuraliteit, waarbij de RWMA waarden monotoon afnamen bij een toenemende infarct transmuraliteit. De methode gaf een hoge successcore bij de detectie van myocardsegmenten met littekenweefsel, zoals bevestigd in DE MRI beelden.

9.4 Vervolgonderzoek



Dit proefschrift beschrijft een aantal stappen in de ontwikkeling van een systeem voor automatische analyse van wandbeweging in cine MRI ter ondersteuning van de diagnose van ischemische hartziekten. De beschreven methoden kunnen op meerdere manieren worden verbeterd en uitgebreid. Dit betreft de uitbreiding van het vormmodel naar drie dimensies, het toevoegen van meerdere tijdpunten in de hartcyclus, en een validatie op basis van pre- and post revascularisatie data om myocardviabiliteit te identificeren.

De gepresenteerde technieken om automatisch wandbeweging te klassificeren als normaal of abnormaal zouden goed kunnen worden ingepast in een volautomatisch systeem voor beslissingsondersteuning in cardiale MRI. De in dit proefschrift beschreven technieken maken gebruik van handmatig getekende contouren; dit is gedaan om een mogelijk verstorend effect van segmentatiefouten uit te sluiten. Met een robuuste automatische segmentatiemethode kunnen deze contouren ook automatisch worden aangeleverd, bijvoorbeeld door gebruik te maken van segmentatietechnieken gebaseerd op statistische vormmodellen zoals Active Shape Models [4–6] en Active Appearance Models [7, 8]. De ASM en AAM parameters zouden dan direct kunnen dienen als invoer voor de in dit

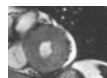
proefschrift beschreven CAD technieken. Figuur 9.1 illustreert hoe op deze manier een volautomatisch CAD systeem voor cardiale MRI zou kunnen worden gerealiseerd.

De in dit proefschrift beschreven CAD methode voor automatische RWMA analyse is gebaseerd op contouren uit cardiale MRI, maar het onderliggende algoritme is niet afhankelijk van de gebruikte beeldmodaliteit. De beschreven methoden zouden daarom ook toegepast kunnen worden voor bijvoorbeeld de detectie van RWMA in echocardiografie, maar dit vereist nadere experimentele studies.

De diagnostische resultaten van de automatische RWMA analyse zouden ook kunnen worden gecombineerd met andere beeldmodaliteiten, bijvoorbeeld in een combinatie van cine MRI en MR perfusie imaging, FDG-PET imaging, gated SPECT imaging en/of MR infarct imaging (DE-MRI). Ook zou myocard deformatie kunnen worden afgeleid uit MR tagging, strain-encoded MRI, velocity-encoded MR of echo-doppler beelden van het myocard. De integratie van informatie over contractie, vervorming en perfusie zou een volgende stap kunnen zijn in de ontwikkeling van een compleet CAD systeem voor ondersteuning van de diagnostiek van ischemische hartziekten.

9.5 References

- [1] L. Florack, H. van Assen, and A. Suinesiaputra, “Dense multiscale motion extraction from cardiac cine MR tagging using HARP technology,” in *IEEE 11th International Conference on Computer Vision, ICCV*, 2007, pp. 1–8.
- [2] H. C. van Assen, L. M. Florack, A. Suinesiaputra, J. J. Westenberg, and B. M. ter Haar Romeny, “Purely evidence based multiscale cardiac tracking using optic flow,” in *Proc. Computational Biomechanics for Medicine II. A MICCAI 2007 Workshop*, 2007.
- [3] T. A. M. Kaandorp, J. J. Bax, J. D. Schuijf, E. P. Viergever, E. E. van Der Wall, A. de Roos, and H. J. Lamb, “Head-to-head comparison between contrast-enhanced magnetic resonance imaging and dobutamine magnetic resonance imaging in men with ischemic cardiomyopathy,” *Am J Cardiol*, vol. 93, no. 12, pp. 1461–4, Jun 2004.
- [4] H. van Assen, M. Danilouchkine, A. Frangi, S. Ordas, J. Westenberg, J. Reiber, and B. Lelieveldt, “SPASM: A 3D-ASM for segmentation of sparse and arbitrarily oriented cardiac MRI data,” *Medical Image Analysis*, vol. 10, no. 2, pp. 286–303, APR 2006.
- [5] H. C. van Assen, M. G. Danilouchkine, M. S. Dirksen, J. H. C. Reiber, and B. P. F. Lelieveldt, “A 3-D active shape model driven by fuzzy inference: application to cardiac CT and MR,” *IEEE Trans Inf Technol Biomed*, vol. 12, no. 5, pp. 595–605, Sep 2008.
- [6] M. Uzumcu, R. J. van der Geest, M. Sonka, H. J. Lamb, J. H. C. Reiber, and B. P. F. Lelieveldt, “Multiview active appearance models for simultaneous segmentation of cardiac 2- and 4-chamber long-axis magnetic resonance images,” *Invest Radiol*, vol. 40, no. 4, pp. 195–203, Apr 2005.
- [7] S. C. Mitchell, J. G. Bosch, B. P. F. Lelieveldt, R. J. van der Geest, J. H. C. Reiber, and M. Sonka, “3-D active appearance models: segmentation of cardiac MR and ultrasound images,” *IEEE Trans Med Imaging*, vol. 21, no. 9, pp. 1167–1178, Sep 2002.
- [8] E. Oost, G. Koning, M. Sonka, P. V. Oemrawsingh, J. H. C. Reiber, and B. P. F. Lelieveldt, “Automated contour detection in X-ray left ventricular angiograms using multiview active appearance



models and dynamic programming," *IEEE Trans Med Imaging*, vol. 25, no. 9, pp. 1158–1171, Sep 2006.