

Quantitative in vivo Analyse fragmentierter Gelenkknorpel mit der MRT

Markus Siebert¹, Alexander Jovanovic¹, Felix Eckstein²,
Heiko Graichen³ und Karl-Hans Englmeier¹

¹Institut für Medizinische Informatik,
GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit,
Ingolstädter Landstraße 1, 85764 Oberschleißheim

²Forschungsgruppe Muskuloskeletales System, Anatomische Anstalt,
Ludwig-Maximilians-Universität, 80336 München

³Orthopädische Universitätsklinik Friedrichsheim,
Johann Wolfgang Goethe Universität, 60528 Frankfurt
Email: siebert@gsf.de

Zusammenfassung. Die Magnetresonanztomographie (MRT) stellt für Diagnostik und Verlaufsbeurteilung der Osteoarthrose (OA) ein geeignetes Verfahren dar. Zusammen mit dreidimensionalen Bildverarbeitungsmethoden eignet sie sich für eine genaue Quantifizierung struktureller Veränderungen des Gelenkknorpels. Bei fortgeschrittener OA muss der geschädigte Knorpel nicht immer zusammenhängend sein. Eine quantitative Beschreibung auch einzelner Knorpelfragmente erscheint in diesem Zusammenhang sinnvoll. Unser System erlaubt – neben der Segmentierung – eine automatische Rekonstruktion, Analyse und Darstellung auch stark fragmentierter Gelenkknorpel.

1 Einleitung

Die Degeneration des Gelenkknorpels (Osteoarthrose, OA) gehört zu den am weitesten verbreiteten chronischen Erkrankungen älterer Menschen [1].

Mit der Magnetresonanztomographie (MRT) können, vor allem aufgrund der erzielbaren Weichteilkontraste und der multiplanaren Schichtführung, nahezu alle artikulären Gewebe direkt visualisiert und einer dreidimensionalen Analyse zugänglich gemacht werden. Mithilfe spezieller Sequenzen und digitalen Bildverarbeitungsmethoden stellt sie ein vielversprechendes Verfahren für die quantitative Analyse von Morphologie, Struktur und Funktion des Gelenkknorpels dar und eignet sich dadurch auch für Diagnostik und Verlaufsbeurteilung bei der OA [2]. Klinische Symptome wie Schmerzen und Funktionseinschränkung korrelieren bei der OA nur in sehr geringem Maße mit dem Ausmaß nachweisbarer struktureller Gelenkveränderungen. Darüber hinaus sind Gelenkschmerzen nur ein sehr unspezifisches klinisches Zeichen. Deswegen sind validierte Methoden erforderlich, mit denen der Gelenkstatus und insbesondere der strukturelle Zustand des Gelenkknorpels objektiv erfasst werden können.

1.1 Stand der Forschung

In der Vergangenheit wurde bereits eine Vielzahl von Verfahren zur Segmentierung und Rekonstruktion von Gelenkknorpel entwickelt [3]. Die meisten Verfahren setzen dabei eine zusammenhängende Knorpelplatte voraus oder konzentrieren sich bei der Analyse auf die Bestimmung des Knorpelvolumens.

1.2 Fortschritt durch den Beitrag

Für epidemiologische OA-Studien oder eine objektive Evaluierung von Therapie- und Arzneimittelstudien bei OA sind quantitative Parameter fragmentierter Knorpel von großem Interesse. Unser System erlaubt die quantitative Beschreibung auch (stark) fragmentierter Knorpelplatten, basierend auf der Größe der Fläche der Knorpelknochengrenze (KKG).

2 Methoden

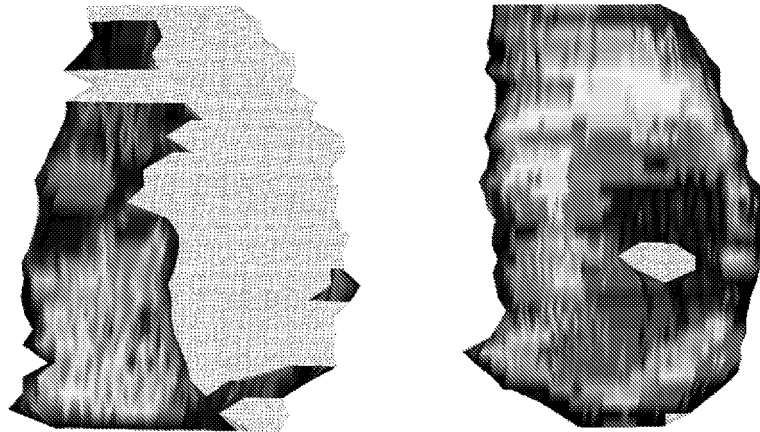
Unter einem fragmentierten Knorpel verstehen wir eine Knorpelplatte, die entweder nicht kompakt ist (enthält ein oder mehrere „Löcher“) und/oder in einzelne Teilknorpel zerfällt, wobei die einzelnen Teilknorpel wiederum „Löcher“ aufweisen können.

Unser System besteht aus zwei Teilen, einem Segmentierungsmodul und einem Berechnungsmodul. Die Segmentierung erfolgt schichtorientiert. Der implementierte Snake-Algorithmus ermöglicht – wegen des relativ guten Kontrastes zwischen Knorpel und Knochen – eine halbautomatische Segmentierung der KKG. Während die KKG in jeder Schicht zusammenhängend ist, kann die Gelenkfläche (GLF) jeder Schicht – je nach Fragmentierungsgrad – aus mehreren Einzelstücken bestehen. Jedes dieser Einzelstücke wird als „zur Gelenkfläche gehörend“ markiert. Damit erfolgt bereits bei der Segmentierung eine Kodierung der segmentierten Voxel in KKG, GLF und Knorpelvolumen (der von KKG und GLF eingeschlossene Raum).

Die anschließende Parameterberechnung erfolgt vollautomatisch. Um die Größe der KKG berechnen zu können, erfolgt eine 3D-Rekonstruktion dieser Fläche mittels Triangulierung. Hierbei wird ein selbst entwickeltes Verfahren eingesetzt, bei dem segmentierte Voxel einer Schicht mit entsprechend korrespondierenden Voxeln der folgenden Schicht verbunden werden. Der bekannte Marching-Cubes Rekonstruktionsalgorithmus ist hierfür ungeeignet, da dieser stets geschlossene Volumen erzeugt.

Bei der Rekonstruktion der Gelenkflächen wird ähnlich erfahren. In dem segmentierten Datenvolumen wird zuerst mit einem 3D-Suchverfahren ermittelt, aus wie vielen Fragmenten die Knorpelplatte besteht. Jedes Fragment ist zwar in 3D zusammenhängend, kann aber „Löcher“ enthalten, die eine schichtweise Triangulierung der GLF zunächst verhindern. Jedes Fragment wird deswegen entsprechend seiner „Löchrigkeit“ automatisch in Sub-Fragmente zerlegt,

Abb. 1. Dreidimensionale Rekonstruktion zweier geschädigter Knorpelplatten der medialen Tibia. Die Knorpelknochengrenzen sind als Drahtgittermodelle, die überknorpelten Bereiche als Schattierung dargestellt. Die linke Knorpelplatte besteht aus drei Fragmenten, die rechte ist zusammenhängend und weist einen nicht überknorpelten Bereich auf.



die sich schichtweise triangulieren lassen. Nach der Triangulierung der Sub-Fragmente werden die Dreiecksbeschreibungen der Sub-Fragmente zu einer Dreiecksbeschreibung pro Fragment vereinigt.

Die Knorpeldicke wird mittels einer 3D Euklidischen Distanztransformation bestimmt, wobei von der KKG ausgegangen wird und die Dickenwerte an der GLF ausgelesen werden.

3 Ergebnisse

Durch die Zerlegung in Sub-Fragmente können auch stark fragmentierte Gelenkknorpel dreidimensional rekonstruiert, analysiert und dargestellt werden (Abb. 1). Das System liefert für jedes Knorpelfragment 10 quantitative Parameter zurück, unter anderem die Größe der vom Fragment überknorpelten KKG, die Größe der überknorpelten GLF, das Volumen, sowie die Dicke (Mittelwert, Maximum und Verteilung) des Fragments. Für den gesamten Knorpel werden 20 quantitative Parameter zurückgegeben, neben dem Gesamtvolumen und der Größe der KKG, die Anzahl der Fragmente und die Anzahl der von Knorpel umschlossenen nicht überknorpelten Bereiche („Löcher“).

Die Berechnungen wurden mittels Testkörper bekannter Geometrie (Volumen, Oberflächen) validiert.

4 Diskussion

Bei (fortgeschrittener) OA ist der Knorpelverlust nicht immer gleichmäßig verteilt: Neben Bereichen mit annähernd unveränderter Knorpeldicke liegen oftmals völlig nicht überknorpelte Stellen. Auch ist geschädigter Gelenkknorpel nicht immer zusammenhängend. Quantitative Größen des gesamten Knorpels sind in diesem Zusammenhang nicht ideal, da z.B. das Volumen des gesamten Knorpels stark mit der Größe der Gelenkfläche korreliert. Auch sind damit keine Angaben über die Größe nicht überknorpelter Bereiche möglich.

Unser System erlaubt die quantitative Bestimmung von Volumen, Dicke (Mittelwert, Maximum und Verteilung) und Oberflächen (KKG und GLF) sowohl der gesamten Knorpelplatte als auch beliebiger Fragmente. Dies könnte zu einer schärferen Unterscheidung zwischen Gesunden und OA-Patienten und damit zu einer Verbesserung der OA-Diagnose führen.

Literaturverzeichnis

1. Felson DT: Osteoarthritis. *Rheum Dis Clin North Am* 16(3): 499–512, 1990.
2. Eckstein F, Englmeier KH, Reiser M: Quantitative Knorpelanalyse mit der Magnetresonanztomographie (qMRI). *Z Rheumatol* 61: 250–259, 2002.
3. Eckstein F, Englmeier KH, Reiser M, et al.: In vivo morphometry and functional analysis of human articular cartilage with quantitative magnetic resonance imaging – from image to data, from data to theory. *Anat Embryol (Berl)* 203: 147–173, 2001.