

Auswertung von Funktions-CT oberer Halswirbel zur Diagnose von Weichteildistorsionen

M. Hahn, D. Zerfowski, H. Friedburg, Th. Beth

Universität Karlsruhe, IAKS, D-76128 Karlsruhe
Email: s_hahn@ira.uka.de, zerfowsk@ira.uka.de

Zusammenfassung.

Schlüsselwörter: Schleudertraumata, Computer-unterstützte Diagnose, Funktions-CT C0/2, Hough-Transformation, Segmentierung.

1 Einleitung

Im Rahmen der Diagnose von Distorsionen der Halswirbelsäule, den sogenannten Schleudertrauma, lassen die heutigen diagnostischen Möglichkeiten in der Regel keine faßbaren morphologischen Veränderungen [1] erkennen. Für den Nachweis von Ansprüchen der Patienten gegenüber Versicherungen bzw. Berufsgenossenschaften ist die Angabe von objektiven Maßzahlen unabdingbar, um funktionelle Störungen zu beschreiben, die auf einen unfallbedingten Schaden rückschließen lassen.

Wir präsentieren ein Programmpaket namens *ROSE* (Rotation Of cervical Spine Evaluation), das automatisch für eine Begutachtung relevante Meßgrößen aus mehreren Schichtdatensätzen bestimmt.

Um die Objektivität der Diagnose zu erhöhen werden im wesentlichen zwei unterschiedliche Ansätze im Rahmen der Funktions-CT-Diagnostik verfolgt. Bei beiden Verfahren wird die Einschränkung der Rotationsfähigkeit der Halswirbel in sagittaler bzw. in axialer Ebene untersucht. In dem vorliegenden Papier beschränken wir uns auf das neuere, in der Axialebene operierende Verfahren.

Die Aufnahmen werden mit einem Spiral-CT-Scanner durchgeführt. Nach Anfertigung eines digitalen sagittalen Übersichtsbildes (Topogramm) werden ca. 30-40 Schichten mit einem Abstand von 1.5 mm, etwa ab der Mitte der hinteren Schädelgrube bis unterhalb des Bandscheibenfachs C2/3 angefertigt. Nach aktiver maximaler Rechtsdrehung (bis zur Schmerzgrenze) erfolgt eine erneute Aufnahmeserie nach angepaßter Kippung der Aufnahmeeinheit (sog. Gantry). Entsprechendes erfolgt für eine maximale Linksdrehung (Abb. 1). In den CT-Schnitten werden für C0, C1 und C2 jeweils anatomische Landmarken ausgesucht, die in den drei Schichtpaketen, also Neutralstellung, bei maximaler Rechtsrotation und maximaler Linksdrehung, jeweils identifizierbar sein müssen. Nach Markierung dieser Referenzpunkte und Einzeichnen entsprechender Hilfslinien wird für jedes Segment der Rotationswinkel zwischen der Sagittalebene

und der vertikalen Bildebene bestimmt. Hierfür werden für jedes Segment drei unterschiedliche Winkelmessungen zwischen verschiedenen Hilfslinien und den Referenzebenen durchgeführt. Diese Arbeitsschritte nehmen pro Patient bei manueller Ausführung etwa eine Stunde in Anspruch.

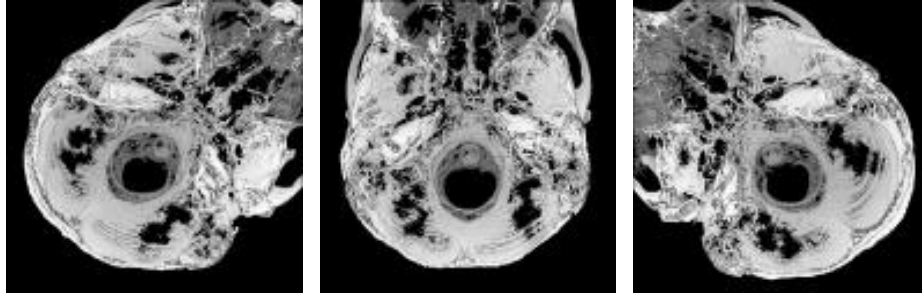


Abb. 1. Schichtaufnahmen in unterschiedlichen Rotationsstellungen.

2 Programmpaket *ROSE*

Für die Evaluation der zuvor beschriebenen Diagnosemethode [2] ist die Durchführung einer hinreichend großen Anzahl solcher Untersuchungen notwendig. Um den Zeitaufwand hierfür zu reduzieren, wurde von uns im Rahmen des plattformunabhängigen, Java-basierten Programmpaketes *ROSE* ein automatisches Verfahren zur Bestimmung der erforderlichen Rotationswinkel entwickelt, welches in der Praxis eingesetzt wird. *ROSE* arbeitet mit Datensätzen gemäß DICOM-Standard Version 3.0.

3 Detektion der Schädelbasis und des Wirbelkanals

In *ROSE* wird zur Bestimmung der Position und Orientierung der einzelnen Wirbel ausgehend vom obersten Schichtbild in der Schädelbasis nach kaudal eine „Durchstoßgerade“ durch den Wirbelkanal bestimmt. Hierzu wird in einem ersten Schritt die Position der Schädelbasis innerhalb des Schichtbilds mit Hilfe einer modifizierten Hough-Transformation zur Detektion von Kreisen bestimmt (s. Abb. 2) [3].

Experimente zeigen, daß vorhandene Asymmetrien in lateralen Verschiebungen des errechneten Kreises und damit auch seines Mittelpunktes M resultieren. Zur Bestimmung eines optimierten Mittelpunktes M_{opt} wird M zu beiden Seiten in einem Bereich von $d = 11$ mm variiert. In einem Winkelsegment von 47° werden in dorsaler Richtung die Abstände zur inneren Schädelwand mittels eines Borderline-Algorithmus bestimmt und diese Abstände unter Optimierung lokaler Achsensymmetrien bzgl. der dorsalen Richtung untersucht.

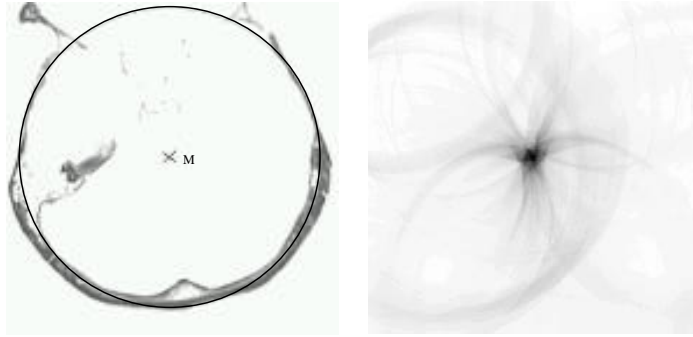


Abb. 2. Gefundener Kreis und zugehörige Hough-Transformation.

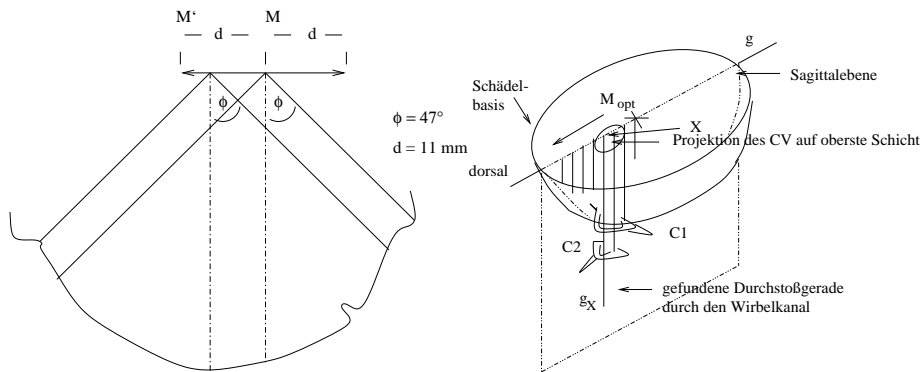


Abb. 3. Bestimmung von M_{opt} (links) und der Durchstoßgerade g_x (rechts).

Eine Autokorrelationsanalyse liefert die Position für den optimierten Mittelpunkt M_{opt} bei dem die Abstände zur inneren Schädelwand die größte Symmetrie aufweisen (Abb. 3 links).

Um den Wirbelkanal aufzufinden, wird nun eine Gerade innerhalb der Sagittalebene durch M_{opt} betrachtet. Auf dieser Geraden g wird in dorsaler Richtung entlang gegangen und für jeden Geradenpunkt die innerhalb der Sagittalebene auf g orthogonale Gerade daraufhin untersucht, ob sie eine Durchstoßgerade g_x durch den Wirbelkanal darstellt (Abb. 3 rechts).

Mittels eines Borderline-Algorithmus werden in den Schichten die Wirbel detektiert. Als Pol P_{x_i} wird der Schnittpunkt der Geraden g_x mit der Schicht i verwendet. In diskreten Winkelabständen werden vom Pol P_{x_i} beginnend (innere Borderline) bzw. von außen zum Pol gerichtet (äußere Borderline) Strahlen verfolgt und der erste Schnitt mit Knochengewebe detektiert.

Die in Polarkoordinaten aufgetragene Borderline (Abb. 4) liefert die entscheidende Information über die Rotation der Wirbel. In den unterschiedlichen Aufnahmestellungen des Patienten ergeben sich im wesentlichen Borderline-Kurven, die um den entsprechenden Rotationswinkel zueinander verschoben sind.

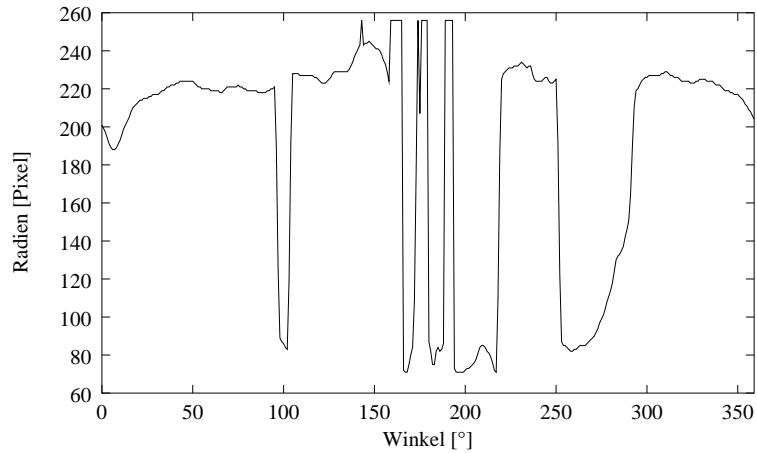


Abb. 4. Innere Borderline vom Kreismittelpunkt M .

4 Detektion der Wirbelgrenzen und Bestimmung der Rotationswinkel

Zur Bestimmung der Wirbelgrenzen wird ausgehend von g_x in jeder Schicht die äußere Borderline bestimmt. Wie auch bei der Optimierung des Kreismittelpunktes werden nur dorsale Ausschnitte der Borderline, in diesem Fall mit $\Phi = 5^\circ$ betrachtet. Die Radien nehmen beginnend in der Schädelbasis nach kaudal ab, bis sie im knochenfreien intervertebralen Bereich C0/1 ganz verschwinden. Ein erneuter Anstieg der Radien deutet auf die schichtweise Schließung des Arcus posterior im Atlas hin. Ebenso kündigt sich der Axis nach vorherigem Verschwinden der Radiuslängen durch einen erneuten Anstieg derselben an. Eine Medianbildung über die jeweils betrachteten Radien macht das Verfahren robust gegen eventuelle Bildstörungen oder anatomische Besonderheiten (Abb. 5).

In ähnlicher Weise geschieht die Auswertung für die Rotationslagen.

Vor der Winkelbestimmung werden in den Schichtbildern eventuell vorhandene Artefakte mittels morphologischer *Opening*-Operatoren [4] reduziert.

Zur Bestimmung der Rotationswinkel werden die Knochenanteile in den zu Atlas bzw. Axis gehörenden Schichtbildern nach einer Schwellwertbildung mit einer binären XOR-Addition aufaddiert.

5 Ergebnisse

Zur Bewertung der Leistungen von *ROSE* wurden aus dem routinemäßigen Praxisbetrieb 14 Fälle herausgegriffen, manuell ausgewertet und anschließend durch *ROSE* automatisch bearbeitet. Von den 42 (= 14·3) zu bestimmenden Rotationswinkel wurden 38 korrekt berechnet. Unter diesen befanden sich auch Datensätze

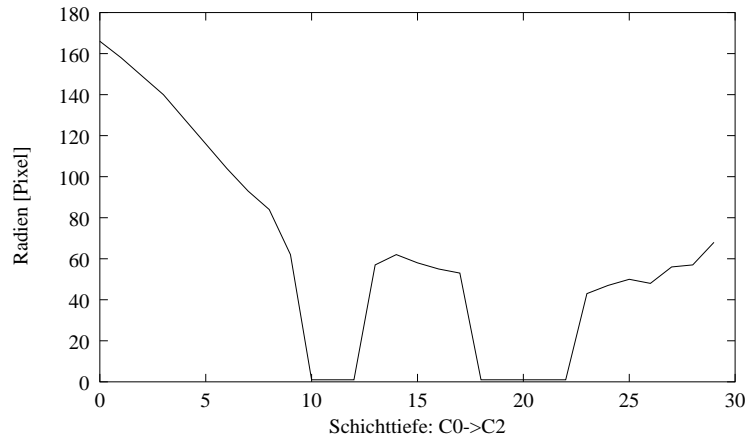


Abb. 5. Median gefilterte äußere Borderline.

mit anatomischen Besonderheiten. Die 7 fehlerhaft bestimmten Rotationen wurden durch in den Aufnahmen vorhandene Metallartefakte bzw. falsche Positionierungen des Patienten (Teile der Schädelbasis lagen außerhalb des Datensatzes) verursacht.

Die errechneten Werte sind reproduzierbar und damit objektiver als manuell ermittelte Werte. Insbesondere liegen die automatisch bestimmten Rotationswinkel innerhalb der Meßgenauigkeiten manueller Auswertungen. Die durchschnittliche Berechnungszeit inklusive der Ausgabe von GIF-Bildern liegt bei 4 Minuten (Cyrix M2 P200, Windows 95 mit Symantec JIT).

Danksagung. Wir danken der Deutschen Forschungsgemeinschaft für die Unterstützung durch den Sonderforschungsbereich SFB 414 „Informationstechnik in der Medizin – Rechner und sensorgestützte Chirurgie“ (Teilprojekt Q1).

Literatur

1. A. Dávid und M. Hahn. Schleudertrauma der Halswirbelsäule - Beschwerdebild aus der Unfallchirurgie. In *Schleudertrauma der Halswirbelsäule*, Seiten 70–77. Thieme, 1994.
2. T. Nagelmüller und H. Friedburg. Welchen Beitrag vermögen CT und MRT zur posttraumatischen Beurteilung der Kopf-Hals-Region zu liefern? In *Weichteildistorsionen der oberen Halswirbelsäule*. Springer, 1997.
3. C.-E. Liedtke und M. Ender. *Wissensbasierte Bildverarbeitung*. Springer, 1989.
4. T. Lehmann, W. Oberschelp, E. Pelikan und R. Reppes. *Bildverarbeitung für die Medizin*. Springer, 1997.