Ein computerbasiertes Hirnatlas-System nach Talairach

K.A. Ganser[1], H. Dickhaus[1],
A. Staubert[2], C.R. Wirtz[2], M.M. Bonsanto[2], V.M. Tronnier[2], S. Kunze[2]

[1] Institut für Medizinische Informatik
Universität Heidelberg, Fachhochschule Heilbronn
Max-Planck-Str. 39, 74081 Heilbronn
[2] Neurochirurgische Klinik der Universität Heidelberg
Im Neuenheimer Feld 400, 69120 Heidelberg
Email: ganser@fh-heilbronn.de

Zusammenfassung. Computerisierte Hirnatlanten sind ein wertvolles Hilfsmittel und Werkzeug für viele neurologische Fragestellungen. Die Rechenleistung moderner Computersysteme ermöglicht potentiell eine Vielzahl von Darstellungs- und Interaktionsoptionen, die rechnergestützte Atlanten gegenüber den konventionellen gedruckten Büchern aufwerten. Wir stellen in dieser Arbeit eine digitale Version des etablierten Stereotaxieatlas' von Talairach und Tournoux vor. Der Atlas kann auf Datensätze von Patienten abgebildet werden und kann so zur Unterstützung der neurochirurgischen Operationsplanung dienen. Durch viele Visualisierungsmöglichkeiten und das Angebot von anatomischen und funktionellen Hintergrundinformationen zu einzelnen Strukturen eingnet sich das System auch zur visuellen Erkundung der Hirnanatomie.

1 Einleitung

Computerbasierte Hirnatlanten sind trotz der Verfügbarkeit moderner Bildgebungsverfahren nützlich und notwendig [1,2]. Sie sind eine wichtige Ergänzung und Interpretationshilfe für medizinische Bilder, in denen sich viele Strukturen überhaupt nicht oder nur mit schlechtem Kontrast abbilden lassen (die Thalamischen Kerngebiete etwa sind in MR-Aufnahmen nicht sichtbar). Medizinische Bilder stellen zudem – mit Ausnahme der funktionellen MR-Tomographie, die aber nur an wenigen Zentren verfügbar ist – entweder nur morphologische oder nur funktionelle Aspekte dar. Digitale Hirnatlanten unterliegen solchen Einschränkungen nicht und sind aus diesem Grund ein wertvolles Werkzeug in der Operationsplanung, objektive Referenz bei der Beurteilung von Krankheitsverläufen, Ausgangsposition für viele Segmentierungsverfahren und modernes, interaktives Medium in der medizinischen Ausbildung [3,4,5].

Ein computerbasierter Atlas ist dann sinnvoll, wenn er die traditionellen Buchatlanten aus anwendungstechnischer Sicht hinreichend weiterentwickelt und deren Nachteile überwindet. Besondere Bedeutung kommt dabei den Aspekten der räumlichen Repräsentation wesentlicher Strukturen, der inhaltlichen Erweiterbarkeit und der Abbildung auf individuelle Hirngeometrien zu. Der letzte Punkt schließt neben einer geometrischen Anpassung auch die Übertragung der Inhalte aus dem Atlas auf Patientenbilder, d.h. eine adäquate Visualisierung, ein. Ein intuitives Benutzerinterface ist für die Akzeptanz stelbstverständlich wesentlich.

Einer der etabliertesten Gehirnatlanten ist der Stereotaxieatlas von Talairach und Tournoux [6]. In Absprache mit Ärzten der Neurochirurgischen Klinik der Universität Heidelberg sollte die Entwicklung einer computerisierten Version dieses Standardwerks mit den oben genannten Anforderungen realisiert werden. Insbesondere wurden die mehr zentral gelegenen Hirnstrukturen berücksichtigt, die einer relativ geringen interindividuellen Variabilität unterliegen.

2 Methoden

2.1 Entwicklung des digitalen Talairach-Atlas

Aus den zweidimensionalen Atlaskarten, die zunächst digitalisiert wurden, haben wir mit Methoden der Bildverarbeitung und der Computergraphik eine dreidimensionale Repräsentation der verschiedenen Hirnstrukturen rekonstruiert, so daß ein räumliches Modell des Atlas' zur Verfügung steht. Unser Rekonstruktionsalgorithmus verbessert dabei ein in der Literatur vorgeschlagenes Verfahren [7]. Dieses Modell ist Grundlage für das computerbasierte Atlassystem [8]. Das System erlaubt den Import individueller Patientenbilder (MR-Bildstapel im DICOM-Format) und stellt eine Schnittstelle zur Verfügung, mit der eine Abbildung des Atlas' auf die Patientenbilder durchgeführt werden kann. Dem Matchingverfahren liegt das Prinzip des Proportional Grid zugrunde, also des Talairach-Koordinatensystems, das sich stückweise linear an individuelle Hirngeometrien anpassen kann. Die Visualisierung der gematchten Daten erfolgt in einer dreidimensionalen Szene, die bestimmt wird von drei orthogonalen Schnittbildern durch den MR-Datensatz, deren Position selbstverständlich frei wählbar ist. In diese Szene wird der Atlas eingeblendet. Für die Darstellung der einzelnen Hirnstrukturen kann zwischen der Visualisierung der dreidimensional rekonstruierten Modelle und einer Schnittkontur-Anzeige, die den MR-Grauwertbildern überlagert wird, gewählt werden. Zusätzlich besteht die Möglichkeit, die aus dem gedruckten Atlas gescannten Hirnkarten an deren ensprechende räumliche Position einzuzeichnen. (siehe Abb. 1).

2.2 Erweiterung um zusätzliche Inhalte

Gegenüber der gedruckten Buchversion wurde der computerisierte Atlas bereits inhaltlich erweitert. Die sensorischen bzw. motorischen Homunculi von Penfield und Rasmussen [9] wurden in das proportionale Koordinatensystem überführt und in das Atlassystem integriert. Sie können ebenfalls angepaßt an die individuelle Geometrie in die Szene eingefügt werden. Als weiteren Zusatz stellt das System die Hirnkarten der Basalganglien und Faszikel aus dem "Referentially Oriented Cerebral MRI Anatomy"-Atlas [10], ebenfalls von Talairach und Tournoux, zur Verfügung. Diese können vom Benutzer wie die Karten aus dem Stereotaxieatlas [6] gehandhabt werden.

Abb. 1: Der Atlas wurde auf einen Patienten abgebildet. Die Seitenventrikel und der Nucleus Caudatus sind als Oberflächenmodell eingeblendet und der Thalamus mit seinen Kerngebieten in der Konturdarstellung. Sagittal wurde eine Hirnkarte aus [10], coronal aus [6] den entsprechenden Grauwertschnittbildern überlagert.

Darüberhinaus wurden verbale Hintergrundinformationen zu den Hirnstrukturen aus dem Hirnfunktions-Atlas von Orrison [11] hypertextuell aufbereitet und können aus dem Atlassystem per Mausclick abgefragt werden. Die Informationen werden im Standard-Webbrowser der Betriebssystemumgebung angezeigt.

2.3 Darstellung individueller Cortices

Um vom Patientengehirn einen noch besseren dreidimensionalen Eindruck zu gewinnen, wurde ein Segmentierungswerkzeug in das System eingebaut, mit dessen Hilfe der Cortex des Patienten aus den MR-Datensätzen segmentiert werden kann. Das Verfahren, das auf Schwellwertbinarisierung und morphologischen Operatoren (Erosion, Dilatation, Medianfilter, Scrapping) basiert, arbeitet halbautomatisch. Die Verarbeitungsschritte sind aber so problemangepaßt, daß sehr wenig Interaktion nötig ist und die Segmentierung eines Datensatzes in üblicherweise weniger als fünf Minuten abgeschlossen ist. Der Cortex kann dann dreidimensional in der Szene visualisiert werden, wobei auch die üblichen Transparenz- und Clipping-Funktionen zur Verfügung stehen (siehe Abb. 2). Selbstverständlich können die Segmentierungsergebnisse wie auch die für das Matching notwendigen Parameter abgespeichert und später erneut geladen werden.

Zusätzliche Interaktionsfeatures des Systems sind das Vermessen von Streckenlängen und Winkeln sowie die Möglichkeit, Anmerkungen und Kommentare in der Szene anzubringen.

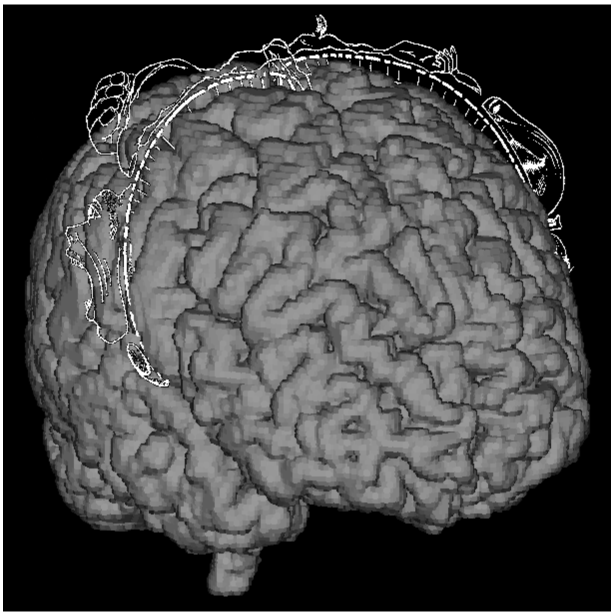

Abb. 2: Der mit dem Segmentierungstool des Atlassystems segmentierte Cortex eines Patienten. Ein Segmentierungsvorgang dauert nur wenige Minuten. Der somatosensorische und der motorische Homunculus nach Penfield und Rasmussen [9] ist eingezeichnet.

3 Ergebnisse und Diskussion

Wir haben ein computerisiertes Atlassystem entwickelt, das die oben genannten Anforderungen erfüllt. Für zwei Einsatzgebiete ist das System mit seinen Inhalten und seinen Werkzeugen besonderns geeignet: als Werkzeug für die Operationsplanung in der Neurochirurgie und als Grundgerüst für ein Lehr- und Trainingssystem der Hirnanatomie.

Für beide Anwendungen hat die dreidimensionale Präsentation den Vorteil, die im gedruckten Atlas vorliegenden breiten Lücken zwischen benachbarten Hirnkarten durch Interpolation zu überbrücken. Dadurch wird nicht zuletzt ein intuitiver Zugang zu den komplexen Strukturen des Gehirns angeboten. Die einfache Benutzerführung ist einerseits Bedingung für klinische Akzeptanz, andererseits laden viele Interaktionsmöglichkeiten (Rotation, Beleuchtung, Zoom, Picking, Steuerung mit SpaceMouse und "Virtual Trackball") zur visuellen Erkundung des Gehirns ein. Die Schnittstelle zum Web-Browser eröffnet hier noch viele Möglichkeiten.

Für den Einsatz in der Operationsplanung ist die Abbildung des Atlaswissens auf individuelle Patientenanatomien Voraussetzung. Die Benutzerschnittstelle unseres Systems zum Matching arbeitet intuitiv und hat sich bei einer klinischen Evaluation, während derer Neurochirurgen das System getestet haben, als funktionell, praktikabel und einfach handhabbar erwiesen. Von besonderem Vorteil ist, daß ein Matchingvorgang nur wenige Minuten in Anspruch nimmt. Eine Untersuchung der Abbildungsgenauigkeit des Atlas, die anhand funktioneller MR-Aufnahmen durchgeführt wurde, ergab zufriedenstellende Ergebnisse [12].

Die Möglichkeit der Segmentierung des Cortex wird nach unserem Kenntnisstand von keinem anderen Atlassystem angeboten und wird vom klinischen Partner als für die Praxis außerordentlich nützlich bewertet. Die zeitliche Performance des Systems entspricht den Erwartungen der Ärzte und liegt bei einer Standardplanung im Bereich von 5 Minuten.

Das Atlassystem wurde in C++ unter Windows NT entwickelt, wobei die MFC- und OpenGL-Bibliotheken für die Benutzerschnittstelle bzw. die Visualisierung verwendet wurden. Eine spezielle Grafikhardware ist nicht notwendig (das System läuft mit handelsüblichen 3D-Grafikkarten aus dem Consumer-Bereich hinreichend schnell), allerdings läßt sich die Performance durch das Verwenden leistungsfähigerer OpenGL-Beschleuniger (z.B. 3D-Labs Grafikkarten) spürbar verbessern.

Die PC-Plattform ist natürlich konkurrenzlos preisgünstig, was das System für den Einsatz in der Klinik zusätzlich attraktiv macht.

4 Literatur

1. Roland PE, Zilles K: Brain Atlases – A New Research Tool. Trends in Neurosciences 17(11): 458-467, 1994.
2. Mazziotta J: Atlases and Anatomies. Third International Conference of Functional Mapping of the Human Brain, Copenhagen, Denmark, 1997.
3. Nowinski WL, Yang GL, Yeo TT: Computer-Aided Stereotactic Functional Neurosurgery Enhanced by the Use of the Multiple Brain Atlas Database. IEEE Transactions on Medical Imaging 19(1):62-69, 2000.
4. Ferrant M, Cuisenaire O, Macq B: Multi-object segmentation of brain structures in 3D MRI using a computerized atlas. SPIE Medical Imaging 3661:986-995, 1999.
5. Garlatti S, Sharples M: The Use of a Computerized Brain Atlas to Support Knowledge-Based Training in Radiology. Artificial Intelligence in Medicine 13:181-205, 1998.
6. Talairach J, Tournoux P: Co-Planar Stereotaxic Atlas of the Human Brain. Thieme Verlag, Stuttgart, 1988.
7. Fang A, Nowinski L, Nguyen BT, Bryan N: Three-dimensional Talairach-Tournoux-Brain Atlas. SPIE Medical Imaging 2431:583-592, 1995.
8. Dickhaus H, Ganser KA, Staubert A: Three Dimensional Reconstruction of the Stereotactic Atlas of Talairach and Tournoux for Neurosurgical Planning. IEEE Transactions on Information Technology in Biomedicine, in press.
9. Penfield W, Rasmussen T: The Cerebral Cortex of Man. New York, MacMillan Company, 1950.
10. Talairach J, Tournoux P: Referentially Oriented Cerebral MRI Anatomy. Thieme Verlag, Stuttgart, 1993.
11. Orrison WW: Atlas of Brain Function. Thieme Verlag, Stuttgar, 1995.
12. Ganser KA, Dickhaus H, Staubert A, Metzner R, Wirtz CR, Bonsanto MM, Tronnier VM, Kunze S: Ein digitaler Gehirnatlas – Evaluation mit funktioneller MRT. In: Horsch A, Lehmann T (Hrsg.): Bildverarbeitung für die Medizin 2000:180-184. Berlin, Heidelberg, Springer Verlag, 2000.