Der stereotaktische Atlas von AFSHAR, WATKINS und YAP in einem 3D-Navigationssystem

K Niemann, R van den Boom, C Wollner, D Graf von Keyserlingk

Institut für Anatomie I, Medizinische Fakultät, RWTH Aachen,
Wendlingweg 2, D-52074 Aachen
niemann@cajal.medizin.rwth-aachen.de

Auf der Basis des stereotaktischen Atlanten von Afshar, Watkins und Yap wurde eine Volumenrepräsentation geschaffen. In einem dreidimensionalen Neuronavigationssystem wird der digitale Atlas kernspintomographischen Schnittserien des Hirnstamms überlagert. Damit lassen sich histologisch nachweisbare Binnenstrukturen, die zuvor nur durch ihre topographischen Beziehungen, aber nicht über physikalische Parameter im digitalen Bild abgrenzbar sind, anatomisch definieren. So wird die topographische Einordnung kernspintomographischer Hirnstammbefunde und ihre standardisierte Dokumentation erleichtert.

Keywords: Brain stem, stereotaxic techniques, brain mapping, solid volume representation, magnetic resonance tomography

1 Einleitung

Der menschliche Hirnstamm umfaßt das Mittelhirn, die Brücke und das verlängerte Rückenmark. Er enthält auf engstem Raum ein differenziertes Muster von grauer und weißer Substanz. Diese Strukturen schaffen die Voraussetzungen für vielfältige Leistungen. Durch zahlreiche interneuronale Verbindungen mit anderen Abschnitten des Zentralnervensystems sowie durch die Hirnnerven III-XII, deren Ursprungskerne im Hirnstamm liegen, funktioniert er z.B. als Reflexzentrum und ist an Koordinationsaufgaben beteiligt.

Die Kernspintomographie (MRT) bietet die Möglichkeit, den Hirnstamm wesentlich differenzierter zu visualisieren als die Computertomographie. Krankhafte Veränderungen lassen sich so mit der entsprechenden Symptomatik am Lebenden korrelieren. Allerdings ergeben sich wesentliche Einschränkungen: Bei üblicher Acquisitionstechnik stellt sich der Hirnstamm mit wenigen Ausnahmen (Substantia nigra, Nucleus ruber etc.) sehr homogen dar, so daß die genaue Position der histologisch nachweisbaren Binnenstrukturen nur aufgrund ihrer relativen Lage zu den Hirnstammkonturen abgeschätzt werden kann [1]. Es erscheint wünschenswert, auch Strukturen, welche im digitalen Bild nicht über physikalische Parameter, sondern lediglich über ihre topographischen Beziehungen abgrenzbar sind, anatomisch zu definieren. Bedingt durch die individuelle Lagerung der Patienten im Tomographen kann der

Hirnstamm zudem sehr unterschiedlich angeschnitten werden. Dadurch werden Vergleiche innerhalb einer Gruppe von Patienten und eine standardisierte Dokumentation erschwert.

Techniken, mit denen sich Hirnstammstrukturen im Hochfeld-MRT sichtbar machen lassen, befinden sich noch in einem frühen Stadium. So ist Vandersteen et al. [2] eine überzeugende Visualisierung wichtiger Binnenstrukturen des Hirnstammes an formalinfixierten Präparaten bei 9.4 Tesla gelungen. Mitrovics et al. [3] berichten über 3D-Acquistitionen, ebenfalls an einem formalinfixierten Präparat (hochauflösende Spule und konventionelles 1,5 Tesla-Gerät).

2 Material und Methoden

Der stereotaktische Atlas von Afshar et al. [4,5,6,7] beinhaltet Daten, die aus histologischen Schnittserien gewonnen wurden. Er repräsentiert die interindividuelle Variabilität von 30 Hirnstämmen. Die von uns digitalisierten Teile des in Printform vorliegenden Atlanten umfassen a) 38 Schichten vom Mittelhirn (+ 23 mm) über die Brücke bis zur kranialen Medulla oblongata (-14 mm), b) 16 Schichten der Medulla oblongata (-15 bis -30 mm) sowie c) 12 Schichten mit Kerngebieten des Kleinhirns (-10 bis +1 mm). Digitalisiert wurden insgesamt 43 Strukturen einschließlich der von den Autoren definierten Referenzmarken. Die halbautomatische räumliche Interpolation nach Akima [8] führte zu einem 3D-Volumen mit einer Auflösung von 0.2 mm/Pixel. Die Software-Implementierung erfolgte unter SunOS 4.1.3, C++ und OSF Motif 1.2.

In dem hier vorgestellten 3D-Navigationssystem läßt sich der jetzt digitale stereotaktische Atlas anhand gemeinsamer Referenzmarken beliebig geschnittenen kernspintomographischen Serien überlagern (Abb. 1a). Die Superposition des Atlanten auf die MRT-Bildserie benutzt den Boden des IV. Ventrikels (HBG) und das Fastigium (FB) als Referenzen [4]. Die Güte der Anpassung läßt sich direkt am Bildschirm in multiplanarer Schnittführung überprüfen (Abb. 1b-d).

3 Ergebnisse

- Bei der Konsistenzprüfung fällt auf, daß die Schicht +1 mm des Originalatlanten ([4], S. 234) offensichtlich dejustiert ist. Zur Korrektur ist es notwendig, die gesamte Schicht um genau 1 mm nach occipital zu verschieben.
- Der Tractus spinothalamicus (S.T.T. - spinothalamic tract) ist im Originalatlas nur in den Schichten von *+125 mm bis +30 mm* und von *-20 mm bis -90 mm* enthalten. In den Schichten von *+25 mm bis -15 mm* ist die Struktur nicht eingezeichnet, obwohl es sich anatomisch um eine kontinuierliche lange Faserbahn handelt.

- Betrachtet man im 3D-Navigationssystem den Atlas in sagittaler oder frontaler Ansicht, so werden wellenförmige Schwankungen (Amplitude 1-2 mm) in den Konturen einiger Strukturen über mehrere Schichten deutlich. Betroffen waren insbesondere die Außenkontur des Hirnstammes und der IV. Ventrikel. Topographisch anatomisch ist dies nicht nachzuvollziehen.

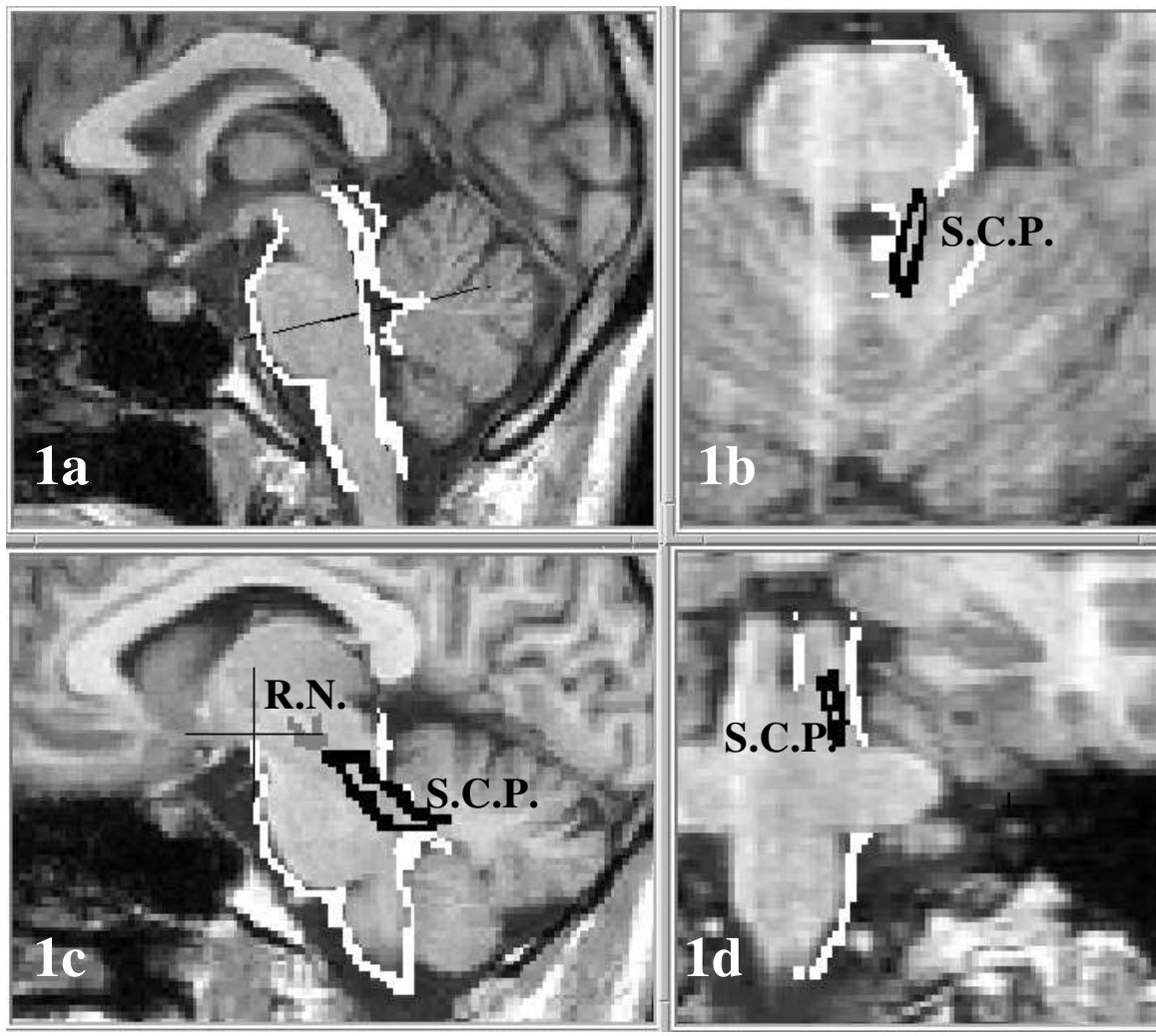

Abb. 1a. Superposition des Atlanten auf eine MRT-Serie in sagittaler Ansicht (Konturen des Hirnstamms, IV. Ventrikel und Aquaeductus cerebri *weiß*; die *schwarze* Linie entspricht der Nullebene des Atlanten).
Abb. 1b-d. Kontrolle der Anpassungsgüte in axialer (Abb. 1b), sagittaler (Abb. 1c) und frontaler Schnittführung (Abb. 1d) (Konturen des Hirnstamms und IV. Ventrikel *weiß*; R.N. - Nucleus ruber *grau*; S.C.P. - Pedunculus cerebellaris superior *schwarz*).

- Für die Anpassung des Kleinhirnatlanten erwies sich die Benutzung der von Afshar [4] vorgeschlagenen Referenzebene (YX) als notwendig. Sie verläuft parallel zum Boden des IV. Ventrikels durch das Fastigium. Die Benutzung der Ebene ist zwingend, da die Höhe des IV. Ventrikels (Abstand Fastigiumspitze und Boden des Ventrikels) variiert [9, 10]. Daher müssen Hirnstammatlas und Kleinhirnatlas separarat angepaßt werden.

4 Ausblick

Das hier erstmals vorgestellte Superpositionsverfahren zur Anpassung eines stereotaktischen Hirnstammatlanten ermöglicht eine präzise Kontrolle der Anpassungsgüte des digitalen Atlanten an kernspintomographische Serien. Das angewandte Referenzsystem läßt sich im mediansagittalen Schnitt über ein verhältnismäßig einfaches User-Interface etablieren. Nach initialer Anpassung war, anhängig von der individuellen Anatomie, lediglich eine geringe Translation und Skalierung, jedoch keine Rotation erforderlich. Der ausgeprägte Kontrast zwischen Hirnstamm und Liquorkompartiment im MRT begünstigt eine Segmentierung der Grenzflächen, was eine automatisierte Anpassung erleichtern könnte.

Literatur

[1] Drayer B, Burger P, Darwin R, Riederer S, Herfkens R, Johnson GA: MRI of brain iron. AJR 147: 103-110, 1986.

[2] Vandersteen M, Beuls E, Gelan J, Adriaensens P, Van Ormelingen L, Palmers Y, Freling G: High Field Magnetic Resonance Imaging of Normal and Pathologic Human Medulla Oblongata. Anat. Rec. 283: 277-286, 1994.

[3] Mitrovics T, Mäurer J, Lüdtke E, Requardt H, Cervós-Navarro J: Anatomy of the brainstem: postmortem high resolution magnetic resonance imaging (HR-MRI) as compared with histologic stains. Clin. Neuropath. 14: 271-272, 1995.

[4] Afshar F, Watkins ES, Yap JC: Stereotaxic atlas of the human brainstem and cerebellar nuclei. A variability study. Raven Press, New York, 1978.

[5] Afshar F, Dykes E: A three-dimensional reconstruction of the human brainstem. J. Neurosurg. 57: 491-495, 1982.

[6] Afshar F, Dykes E, Watkins ES: Three-dimensional stereotaxic anatomy of the human trigeminal nerve nuclear complex. Appl. Neurophysiol. 46: 147-153, 1983.

[7] Afshar F, Dykes E, Holman JG, Cookson MJ: Computer three-dimensional stereotactic anatomic reconstructions of the human brainstem. In: Kelly PJ, Kall BA (eds) Computers in Stereotactic Neurosurgery. Blackwell, Oxford, pp. 91-99, 1992.

[8] Akima H: A method of bivariate interpolation and smooth surface fitting based on local procedures. Comm. ACM 17:18-20, 1974.

[9] Amundsen P, Grimsrud OK: Height of fourth ventricle in normal encephalograms. Acta Radiol. 43: 257-61, 1966.

[10] Corrales M, Greitz T: Fourth Ventricle: A morphologic and radiologic investigation of the normal anatomy. Acta Radiol. 122: 113-133, 1972