Digitale 3-D Analyse der anatomischen Lokalisation von Hirntumoren: Anwendung des SulcusEditors für das Brain Mapping kognitiver Funktionen und Implikationen für die Operationsplanung

B.O. Hütter[1], K. Niemann[2], U. Spetzger[1], J.M. Gilsbach[1], D.G.v. Keyserlingk[2], W. Küker[3], A. Thron[3], V.A. Coenen[1]

[1]Neurochirurgische Klinik, [2]Institut für Neuroanatomie, [3]Klinik f. Radiol. Diagnostik, Neuroradiologie, RWTH Aachen, Pauwelsstr. 30, 52057 Aachen

Mittels des SulcusEditors, einer anatomischen Bildverarbeitungssoftware, läßt sich eine interaktive digitale Editierung der Läsionstopographie und eine anschließende Reformatierung in drei orthogonalen Schnittebenen durchführen. Diese 3-D Rekonstruktionen stehen dann für lokalisatorische Fragestellungen und die Planung und Durchführung von Hirnoperationen zur Verfügung. Der SulcusEditor kam bei bisher 14 Patienten zum Einsatz. Die Läsion konnte genau lokalisiert und alle beteiligten Strukturen identifiziert werden, auch wenn sie auf den MRT Bildern nicht identifizierbar waren. Der SulcusEditor erwies sich dabei als hilfreich, funktionserhaltend auch in hocheloquenten Arealen Hirnoperationen durchführen zu können.

Keywords: Digitale Bildverarbeitung, Brain Mapping, Neuropsychologie, Neuronavigation

1 Einleitung

Die wissenschaftliche Untersuchung der Beziehung zwischen Gehirn und Verhalten setzt eine genaue anatomische Bestimmung der Lokalisation umschriebener Hirnschädigungen voraus [1, 2]. Die Kombination von modernen bildgebenden Verfahren, anatomischer Bildverarbeitung und neuropsychologischen Befunden bietet zwei miteinander verbundene Anwendungsperspektiven: 1. Eine Hilfe für die Planung und Durchführung von Hirnoperationen mit dem Ziel, neurologische und kognitive Funktionen auch in eloquenten Hirnregionen zu schonen und 2. die Zuordnung von kognitiven Defiziten zu anatomisch definierten Läsionen, um die funktionelle Relevanz verschiedener Hirnregionen zu klären. Die hierfür gegenwärtig verfügbaren Methoden basieren in erster Linie auf Rastersystemen und (semi-) automatischen Segmentierungsalgorithmen, die jedoch mit erheblichen Schwierigkeiten behaftet sind [3, 4].

2 Rastersysteme und (semi-) automatische Segmentierung

Verfahren zur Lokalisation von Hirnschädigungen beruhen üblicherweise auf Rastersystemen, die auf anatomischen Referenzmodellen basieren [1, 2, 5]. Diese Vorgehensweise führt jedoch zu grundsätzlichen Problemen. So nimmt die Genauigkeit des proportionalen Rasters von Talairach und Tournoux [5] mit dem Abstand von dem AC-PC Referenzsystem ab. Anatomische Strukturen mit hoher interindividueller Variabilität sind nicht zuverlässig lokalisierbar. Auch differentielle linaere Anpassungsskalierungen lösen das Problem wie im Fall des oberflächlichen Verlaufsmusters des Sulcus centralis oder der Sylvischen Fissur nicht [3]. Bei asymmetrischen Hirnstrukturen, bei interindividuell hoch variablen Strukturen wie der Inselregion und letztlich beim gesamten Neokortex bleiben Rastersysteme aufgrund der individuellen morphometrischen Variabilität unbefriedigend [4]. Zudem steht die Beschränkung auf zwei Dimensionen der komplexen drei-dimensionalen Hirnmorphologie entgegen. Auch die bisherigen Methoden der (semi-) automatischen Segmentierung von Hirnstrukturen können aus morphologisch-anatomischer Sicht nicht überzeugen, da im MRT aufgrund der interindividuellen Variabilität und der komplexen drei-dimensionalen Faltungen des Gehirns die Furchen häufig sehr unterschiedlich und in einer Ebene mehrfach angeschnitten sind. Darüber hinaus stoßen automatisierte Segmentierungsverfahren in der Nähe von Hirntumoren aufgrund der durch den Tumor veränderten Anatomie an ihre Grenzen. Zudem führt die Segmentierung allein noch nicht zu einer Identifikation von individuellen Hirnstrukturen.

3 Der SulcusEditor zur interaktiven Lokalisation von Hirnläsionen

Der hier verfolgte Ansatz beruht auf der Annahme, daß die Lage einzelner Hirnstrukturen aus dem Verlauf der Hirnwindungen und -furchen erschlossen werden kann. Aus diesen Gründen wurde ein anatomisches Verfahren entwickelt, das eine digitale interaktive Klassifizierung und farbige Kennzeichnung von Furchenverläufen ermöglicht. Der SulcusEditor ist ein digitales 3-D Bildverarbeitungssystem zur Analyse von MRT Daten, das den Vorteil der unmittelbaren und interaktiven Bildbearbeitung bietet [6]. Das Programm erlaubt eine morphologisch-topographische Zuordnung der Läsion sowie eine Zuordnung zu einzelnen Sulci in dreidimensionaler Modalität. Hierdurch wird der Tiefenverlauf der Furchen darstellbar und eine topographische Zuordnung auch tiefliegender Läsionen zu benachbarten

Hirnarealen möglich. Die ROI Punkte sind unabhängig von den Bilddaten und ermöglichen daher beliebige Raumprojektionen für die genaue Definition und Beurteilung der Furchen. Eine Reformatierung des Bilddatensatzes in den drei Standard-Schnittebenen wird vom Programm automatisch ausgeführt. Die Anwendung des SulcusEditors wird zum einen durch prä- und postoperative neuropsychologische Untersuchungen und zum anderen durch die systematische Erhebung der Bewertung des SulcusEditors durch den operierenden Neurochirurgen evaluiert.

4 Anwendung im Rahmen von neurochirurgischen Eingriffen

Im Fall von zwei Patienten ermöglichte es die Läsionsanalyse, postoperativ neu aufgetretene kognitive Defizite anatomisch zu erklären. Bei 6 Patienten mit Hirntumoren in eloquenten Gebieten wurde bisher der SulcusEditor prospektiv zur Eingriffsplanung eingesetzt. Es konnten die beteiligten Hirnstrukturen lokalisiert und identifiziert werden, auch wenn sie auf den MRT-Bildern nicht unmittelbar erkennbar waren [7]. In allen Fällen konnte das prä-operativ bestehende Funktionsniveau erhalten werden. Von allen beteiligten Operateuren wurde der SulucsEditor als hilfreich für die dreidimensionale Vorstellung der Topographie und die Durchführung des Eingriffs angesehen.

5 Der SulcusEditor und funktionelles Brain Mapping

Mittels des SulcusEditors wurden bei weiteren 6 Patienten mit neuropsychologischen Auffälligkeiten die von der Läsion betroffenen anatomischen Strukturen definiert. In allen Fällen ließen sich die kognitiven Defizite in Beziehung zu den beteiligten neuroanatomischen Strukturen setzen [8]. Hiervon wiesen drei Patienten umschriebene Läsionen im Hippokampusgebiet auf. Die unterschiedlichen Muster kognitiver Defizite, die bei diesen Patienten auftraten, konnten so auf spezifische anatomische Strukturen zurückgeführt werden.

6 Schlußfolgerungen und Ausblick

Die Anwendung des SulcusEditors liefert mehr anatomische Informationen als die visuelle Inspektion von MRT Bildern allein. Die Möglichkeiten, schonend auch in funktionell eloquenten Arealen zu operieren, werden hierdurch erweitert. Eine intraoperative Validierung des SulcusEditors durch Stimulationsuntersuchungen wird angestrebt. Weitere Entwicklungsperspektiven zielen auf eine bessere Visualisierung der Sulcus-Morphologie und -Geometrie sowie die Entwicklung von Schnittstellen zum EASY-GUIDE Lokalisationssystem ab.

Literatur

[1] Bigler ED, Yeo RA, Turkheimer E: Neuropsychological Function and Brain Imaging. Plenum Press, New York 1989.

[2] Niemann K, Hütter BO, Thron A, Keyserlingk DGv, Gilsbach JM: Neuropsychological assessment and MR-stereotactical localisation in a case of thalamic cavernoma. In: Brandt T, Bötzel K, Danek A. (eds.). Current approaches to brain structure and function. Thieme Verlag, Stuttgart 31-32, 1995.

[3] Niemann K, Nieuwenhofen Iv, Weber R, Matthies G, Theilig A, Keyserlingk DGv: The Talairach proportional grid concept revisited. NeuroImage, 3 (Suppl):119, 1996.

[4] Mazziotta JC, Toga AW, Evans A, Fox P, Lancaster J: A probabilistic atlas of the human brain: theory and rationale for its development. NeuroImage, 2:89-101, 1995.

[5] Talairach J, Tournoux P: Referentially orientated cerebral MR anatomy. Thieme Verlag, Stuttgart 1993.

[6] Niemann K, Nieuwenhofen Iv, Hütter BO, Thron A, Gilsbach JM, Keyserlingk DGv: The SulcusEditor: An interactive tool for atlas generation and surgical planning. Human Brain Mapping, 4 (Suppl):66, 1995.

[7] Hütter BO, Niemann K, Gilsbach JM, Keyserlingk DGv, Thron A, Kreitschmann I: Digital 3-D analysis of anatomical lesion morphology of deep-seated cortical lesions: correlations with cognitive deficits and implications for surgical planning. Human Brain Mapping 4 (Suppl):340, 1995.

[8] Hütter BO, Niemann K, Gilsbach JM, Keyserlingk DGv, Thron A: Cognitive deficits in patients with circumscribed tumors in eloquent brain areas: Neuropsychological and surgical implications of the computerized digital 3-D analysis of anatomical lesion morphology. NeuroImage, 3 (Suppl):136, 1996.