

Aus der Klinik für Neurologie
der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

DISSERTATION

Verarbeitung propriozeptiver Signale der Kopfstellung
in multisensorischen kortikalen Arealen

Zur Erlangung des akademischen Grades
Doctor medicinae (Dr. med.)

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Charité –
Universitätsmedizin Berlin

von

Johanna Heinau

aus Ulm

Gutachter: 1. Prof. Dr. med. A. Villringer
2. Prof. Dr. med. R. Seitz
3. Dr. H. Heekeren, M. D. Ph. D.

Datum der Promotion: 22.06.2007

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung	1
1.1 Räumliche Wahrnehmung	1
1.2 Psychophysik bei illusionärer Bewegungswahrnehmung durch Vibration der Nackenmuskulatur	1
1.3 Klinischer Bezug	2
1.4 Der somatosensorische Kortex	3
1.5 Multisensorische kortikale Areale für räumliche Wahrnehmung	8
1.6 Problemstellung	13
2. Zielsetzung	14
3. Methodik	15
3.1 Allgemeine Methodik	15
3.1.1 Grundlagen der funktionellen Bildgebung	15
3.1.2 Funktionelle Kernspintomographie	15
3.1.2.1 Biophysikalische Grundlagen	16
3.1.2.2 Echoplanar Imaging	16
3.1.2.3 Neurovaskuläre Kopplung	16
3.1.2.4 Modelle zur Erklärung der Hyperoxygenierung	17
3.1.2.5 Verhältnis von neuronaler Aktivität und Blutfluss	18
3.1.3 Das BOLD Signal	20
3.1.4 Graphische 3D- Rekonstruktion	20
3.2 Spezielle Methodik	21
3.2.1 Die Probanden	21
3.2.2 Grundlagen des Piezoeffektes	21
3.2.3 Konstruktion des Piezokeramikschwingers	22
3.2.4 Versuchsaufbau des psychophysikalischen Versuches	25
3.2.5 Versuchsaufbau im fMRT	27
3.3 fMRT Messungen	27
3.3.1 EPI-Sequenzen	27
3.3.2 T1-Sequenzen	28
3.4 Datenanalyse	28
3.4.1 Anatomische Messungen	28
3.4.2 Funktionelle Messungen	29

3.4.3 Statistische Analyse	30
3.4.3.1 Preprocessing	30
3.4.3.2 Allgemeines Lineares Modell	30
3.4.3.3 Statistische Schwellen	32
3.4.4 Grafische Oberflächenrekonstruktion und Auffaltung des Gehirns	32
4. Ergebnisse	34
4.1 Ergebnisse Psychophysik	34
4.2 Ergebnisse fMRT	36
4.2.1 Sulcus centralis und Präcentraler Kortex	41
4.2.2 Parietaler Kortex	42
4.2.3 Parietoinsulärer Kortex und subcentraler Kortex	44
4.2.4 Temporaler Kortex	45
4.2.5 Occipitaler Kortex	45
5. Diskussion	47
5.1 Sulcus centralis und Präcentraler Kortex	47
5.1.1 Area 3a	47
5.1.2 Area 6	49
5.2 Parietoinsulärer Kortex	50
5.3 SII	52
5.4 Parietaler Kortex	54
5.5 Temporaler Kortex	55
5.6 Occipitaler Kortex	57
5.7 Hemisphärielle Organisation räumlicher Orientierung	58
6. Zusammenfassung	62
7. Literatur	64
8. Abkürzungen	81
9. Danksagung	83
10. Lebenslauf	84
11. Erklärung	86

6. Zusammenfassung

Räumliche Wahrnehmung und die interne Raumrepräsentation erfordert die Integration mehrerer Sinnesmodalitäten. Ein wesentlicher Anteil dabei ist die Berechnung der Stellung des Kopfes im Verhältnis zum Rumpf. Hierbei spielen propriozeptive Afferenzen der Halsmuskulatur eine wichtige Rolle. Durch vibratorische Tiefenstimulation der Nackenmuskeln können beim Menschen illusionäre Bewegungswahrnehmungen des eigenen Körpers und von visuell fixierten Blickpunkten ausgelöst werden.

Mittels Tracerstudien und Einzelzelleableitungen ließ sich beim Affen der Ansatz eines kortikalen Netzwerkes für räumliche Wahrnehmung darstellen. 30-50% der untersuchten Neurone innerhalb von Area 3aNv zeigten eine Reaktion bei vestibulärer Stimulation. Es erfolgte eine Unterteilung von Area 3a in eine polysensorische Subregion (Area 3aNv). Zwischen dieser Region und dem parietal insulär vestibulären Kortex (PIVC) konnte mittels Tracerstudien eine Verbindung nachgewiesen werden. In der Tierliteratur wird Area 3aNv zusammen mit PIVC, Teilgebieten von Area 2 und Area 7 als kortikales Netzwerk beschrieben, welches insbesondere Informationen über Bewegung und Position des Kopfes verarbeitet.

Das Ziel dieser Arbeit bestand darin, Areale, die an der Verarbeitung von Kopfpositionssignalen der Nackenmuskulatur beteiligt sind, mittels propriozeptiver Stimulation bildgebend zu identifizieren. Als Methode wurde die funktionelle Kernspintomographie (fMRT) gewählt. Es erfolgte die Etablierung eines MRT-kompatiblen vibratorischen Stimulationsgerätes. Im Vorfeld wurde ein psychophysikalischer Versuch außerhalb des fMRT durchgeführt. Hierbei ließ sich durch Vibration der Nackenmuskulatur eine visuelle Bewegungsillusion erzeugen.

Die Darstellung der Ergebnisse erfolgte auf individuellen anatomischen Datensätzen, sowie als normierter Gruppendatensatz. Bihemisphäriell stellten sich Aktivierungsareale im Bereich des Sulcus centralis, im inferior präcentralen Kortex, im Sulcus postcentralis, im Sulcus lateralis am Übergang zum subcentralen Kortex und im occipitalen Kortex dar. Rechtshemisphäriell fielen zusätzliche Aktivierungen im Bereich der mittleren Insel und im parietoinsulären Kortex auf. Linkshemisphäriell zeigte sich ein Aktivierungsareal im Sulcus temporalis superior. BOLD-Signal Anstiege im Bereich des Sulcus centralis können als Aktivierungen innerhalb von Area 3a interpretiert werden. Man kann von einer Mitaktivierung der polysensorischen Area 3aNv ausgehen. Insbesondere

rechtshemisphäriell ist eine Aktivierung des humanen parietoinsulär vestibulären Kortex (hPIVC) gelungen. Der BOLD-Signalanstieg im Sulcus postcentralis des parietalen Kortex kann auf eine Mitbeteiligung von Area 2v hindeuten. Dies stützt die Hypothese, dass Area 2v auch beim Menschen bei der Verarbeitung propriozeptiver Signale der Kopfstellung eine Rolle spielt. BOLD Signalanstiege im Bereich des prämotorischen Kortex weisen auf eine Aktivierung von Area 6 hin. Es existieren in der Literatur Hinweise für Verbindungen zwischen Area 6 mit Area 3a und PIVC. In Bezug auf die Aktivierungen des am Übergang des Sulcus lateralis zum subcentralen Kortex befindlichen sekundären somatosensorischen Kortex (SII) kann nicht mit Sicherheit zwischen einer spezifischen Rolle von SII bei der Verrechnung von Kopfpositionssignalen und einer Aktivierung im Rahmen allgemeiner somatosensorischer Verarbeitung differenziert werden. Occipitale Areale zeigten sich mit höherer individueller Varianz. Deshalb muß eine genaue funktionelle Zuordnung in dieser Studie offen bleiben. Die Aktivierung im Sulcus temporalis superior ist am ehesten auf eine auditorische Mitaktivierung durch den Schwinger selbst zurückzuführen. Abschließend lässt sich zusammenfassen, dass es mittels propriozeptiver Nackenstimulation gelungen ist, Areale, die an der Verarbeitung von Kopfpositionssignalen beteiligt sind, im Menschen zu identifizieren und einen Bezug zu Arealen, die vestibuläre Informationen verarbeiten, herzustellen.