

„Die intrakraniale Hirnwasserzirkulation in der Magnetresonanztomographie:  
Grundlagen der Bildgebung, Modellevaluation und klinische Anwendung von  
flußsensitiven Sequenzen zur Darstellung und Quantifizierung der intrakranialen  
Hirnwasserzirkulation“

Habilitationsschrift  
zur Erlangung der Venia legendi  
für das Fach

Diagnostische Radiologie

vorgelegt der Medizinischen Fakultät der Charité – Universitätsmedizin Berlin

von

Herrn Dr. med. Karl-Titus Hoffmann  
geboren am 16.02.1966 in Leipzig

Dekan: Prof. Dr. med. Martin Paul

eingereicht am: 24.06.2004  
Habilitation am: 23.05.2005

Gutachter: 1. Prof. Dr. Lackner / Köln  
2. Prof. Dr. Mödder / Düsseldorf

## Inhalt

1. Einführung und Problemstellung .....	6
2. Intrakranielle Liquorräume und physiologische Liquorzirkulation .....	9
3. Bildgebung der intrakraniellen Liquorräume und Liquorzirkulation – Grundlagen ...	17
3.1    Magnetresonanztomographie .....	17
3.1.1    Die Spinecho- und Turbo-Spinecho-Technik .....	17
3.1.2    Die Gradientenecho-Technik .....	21
3.1.2.1    Transversale Gleichgewichtsmagnetisierung: Die <i>Fast Imaging with Steady-state Precession</i> (FISP)- und die gespiegelt refokussierte <i>Fast Imaging with Steady-State</i> (PSIF/GRGE)-Technik zur Flussdarstellung .....	22
3.1.2.2    Die Phasenkontrast-Technik zur Flussdarstellung und Flussquantifizierung .....	29
3.1.2.3    Echtzeit-Akquisition und Evaluation (RACE) und Räumliche Magnetisierungs-Modulation (SPAMM) .....	35
3.1.3    Triggerung flußsensitiver Sequenzen zur Erzeugung kinematographischer Bildsequenzen zur dynamischen Flussanalyse ..	38
3.2    Röntgenologische Darstellung der intrakraniellen Liquorräume – Zisternographie und CT-Zisternographie .....	44
3.3    Nuklearmedizinische Darstellung der intrakraniellen Liquorräume – Liquorszintigraphie .....	46
3.4    Diagnostik von Erkrankungen mit intrakraniellen Liquorzirkulationsstörungen	47

4. Material, Methodik und Patienten .....	51
4.1 Modell der intrakranialen Liquorzirkulation .....	51
4.1.1 Hydrodynamisches Modell der intrakranialen Liquorzirkulation .....	51
4.1.2 Geometrische Genauigkeit magnetresonanztomographischer Messungen am Modell .....	60
4.1.3 Darstellung und Quantifizierung kontinuierlichen Flusses .....	64
4.1.4 Darstellung und Quantifizierung pulsatilen Flusses .....	68
4.1.5 Simulation der Aquäduktstenose .....	73
4.1.6 Simulation veränderlicher Elastizität und Nachgiebigkeit der intrakranialen Kompartimente .....	74
4.1.7 Simulation eines veränderlichen Abflusswiderstandes .....	76
4.2 Patientenuntersuchungen .....	79
4.2.1 Patienten mit Arachnoidalzysten .....	79
4.2.2 Patienten mit Aquäduktstenose und Ventrikulostomie .....	83
5. Ergebnisse .....	87
5.1 Modell der intrakranialen Liquorzirkulation .....	87
5.1.1 Geometrische Genauigkeit magnetresonanztomographischer Messungen am Modell .....	87
5.1.2 Darstellung und Quantifizierung kontinuierlichen Flusses .....	89
5.1.3 Darstellung und Quantifizierung pulsatilen Flusses .....	93

5.1.4	Simulation der Aquäduktstenose .....	99
5.1.5	Simulation veränderlicher Elastizität und Nachgiebigkeit der intrakranialen Kompartimente .....	103
5.1.6	Simulation eines veränderlichen Abflusswiderstandes .....	109
5.2	Patientenuntersuchungen .....	114
5.2.1	Patienten mit Arachnoidalzysten .....	114
5.2.2	Patienten mit Aquäduktstenose und Ventrikulostomie .....	127
6.	Diskussion .....	134
6.1	Hydrodynamisches Modell der intrakranialen Liquorzirkulation .....	134
6.1.1	Geometrische Genauigkeit magnetresonanztomographischer Messungen am Modell .....	135
6.1.2	Darstellung und Quantifizierung kontinuierlichen Flusses .....	139
6.1.3	Darstellung und Quantifizierung pulsatilen Flusses .....	141
6.1.4	Simulation der Aquäduktstenose .....	145
6.1.5	Simulation veränderlicher biomechanischer Faktoren: Elastizität und Nachgiebigkeit intrakranialer Komponenten und Liquorabflusswiderstand .....	146
6.2	Patientenuntersuchungen .....	152
6.2.1	Patienten mit Arachnoidalzysten .....	152
6.2.2	Patienten mit Aquäduktstenose und Ventrikulostomie .....	157

7. Zusammenfassung .....	161
8. Literatur .....	164
9. Danksagung .....	190

## EIDESSTATTLICHE VERSICHERUNG

gemäß Habilitationsordnung der Medizinischen Fakultät Charité

Hiermit erkläre ich, dass

- keine staatsanwaltschaftlichen Ermittlungsverfahren gegen mich anhängig sind,
- weder früher noch gleichzeitig ein Habilitationsverfahren durchgeführt oder angemeldet wurde bzw. welchen Ausgang ein durchgeführtes Habilitationsverfahren hatte;
- die vorgelegte Habilitationsschrift ohne fremde Hilfe verfasst, die beschriebenen Ergebnisse selbst gewonnen wurden, sowie die verwendeten Hilfsmittel, die Zusammenarbeit mit anderen Wissenschaftlerinnen oder Wissenschaftlern und technischen Hilfskräften und die Literatur vollständig angegeben sind,
- mir die geltende Habilitationsordnung bekannt ist.

.....  
Datum

.....  
Unterschrift