



Doctoral Thesis

Assessment of intracranial dynamics using MRI

Author(s):

Söllinger, Michaela

Publication Date:

2008

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005676716> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH no 17596

Assessment of Intracranial Dynamics Using MRI

A thesis submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

for the degree of
Doctor of Sciences

presented by
Michaela Söllinger, DI
born April 04th, 1976
citizen of Meggenhofen, Austria

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Peter Bösiger, examiner
Prof. Dr. Dimos Poulikakos, co-examiner

Zürich 2008

Für Maria und Walter, Sandra und Thomas und
meine Freunde, die mit ihrer immerwährenden
Unterstützung diese Dissertation ermöglicht
haben.

Summary

The brain is one of the most integrated organs of the human body. Still there are plenty of secrets to be discovered.

With the advent of magnetic resonance imaging (MRI) a new era of brain research was heralded. Elucidating the insight of the skull noninvasively and thus under normal conditions became possible. First investigations concentrated on the high contrast between white and grey matter allowing detailed anatomic brain imaging. The unique property of MRI to sensitize the image to different functional contrasts has started to shed light on various brain functions. Next to the detection of active brain regions during different mental tasks, the detection of brain fibers and consequently of connections between different brain areas are prominent examples of functional imaging in the central nervous system. Additionally, perfusion, blood flow, and tissue motion detection with MRI show great potential to become prominent research and diagnostic tools applicable to central nervous system.

Dynamically the brain can be separated in four compartments: arterial blood, venous blood, brain tissue and the cerebrospinal fluid. The cerebrospinal fluid, which is also called liquor, is a water-like fluid that on one hand surrounds the brain hemispheres and on the other hand fills the ventricular system. The ventricular system consists of connected cavities in the brain. The entire liquor volume is replaced about five times a day. It is thought to be primarily produced in the ventricles and mainly absorbed in the subarachnoidal space and brain parenchyma. This hypothesis is built on the fact that a bulk flow between the ventricular system and the subarachnoidal space can be observed.

Hypotheses of the pathogenesis of diseases associated with abnormal cerebrospinal flow dynamics often concentrate only on the bulk flow of the cerebrospinal fluid. In recent years the superimposed pulsatile flow attracts more and more attention. Pulsatility which is

found in all four compartments of the brain is mainly caused by cardiac pulsation. The blood pressure pulse wave enters the brain via the arterial blood flow. In the cranium the pulse wave is damped by the cerebrospinal fluid, venous blood and brain tissue.

In order to gain further knowledge about the dynamics in the ventricular system, detailed models of the ventricular system and flow simulations including pulsatile information are needed. Characterization of subject-specific flow patterns is highly desired. Therefore, accurate boundary conditions incorporating cerebrospinal pulsatile fluid flow and pulsatile brain motion at the geometric boundaries of the domain in question are necessary.

During this thesis magnetic resonance imaging methods allowing accurate acquisition of these boundary conditions were developed. The developed measurement protocols noninvasively assess intracranial dynamics under normal in-vivo conditions. The methods presented are designed for measuring pulsatile cerebrospinal fluid flow and pulsatile brain motion.

Velocity mapping in the aqueduct was successfully accomplished with an in-plane resolution of $0.6 \times 0.6 \text{ mm}^2$ and a temporal resolution of 26 ms.

Two methods are introduced for brain motion measurements and both imaging methods were evaluated in healthy volunteers. The data reveal a decrease of feet-head displacement towards the periphery and a strong damping of caudal brain motion from the brain stem towards the skull.

Eventually, the MRI data were used to build up CSF flow simulations in the 3rd ventricle. These simulations can now serve as a tool, which can be used in manifold ways to improve existing treatments, like CSF shunting. This tool can play an important role in gaining basic knowledge on flow and transport phenomena of nutrients and drugs in the ventricular system. It can be used to develop new

treatments and new devices, e.g. devices reacting on time-dependent physiological variations. Thus, medical devices and mixing effects, important for drug delivery, can be checked subject-specifically before the actual application to the patient.

Zusammenfassung

Das Gehirn gilt als eines der wichtigsten Organe des menschlichen Körpers. Trotz jahrtausendelanger Erforschung gibt es noch kein klares Bild der dynamischen Vorgänge im Gehirn.

Die Etablierung der Magnetresonanztomographie (MRT) hat der Gehirnforschung einen neuen Impuls gegeben. Die Möglichkeit, nichtinvasiv einen Einblick in das Gehirn des lebenden Menschen zu erhalten, wurde anfangs hauptsächlich für anatomische Bildgebung genutzt. Der Kontrast von MRT kann durch die geeignete Wahl von Parametern jedoch auch verschiedenste funktionelle Vorgänge im Gehirn sichtbar machen. Es können nicht nur aktive Gehirnregion identifiziert und bestimmten geistigen oder auch körperlichen Aufgaben zugeordnet werden, sondern z.B. auch Verbindungen, also Nervenfaserbündel, zwischen verschiedenen Hirnregionen verfolgt und abgebildet werden. Weitere Gehirnfunktionen, wie die Durchblutung und die Bewegungen im Schädel, können mit MRT charakterisiert werden.

Unterteilt man das Gehirn in seinen dynamischen Komponenten, so findet man vier Kompartemente: Arteriell Blut, venöses Blut, Hirngewebe und Zerebrospinalflüssigkeit. Letztere, welche auch Liquor oder Hirnwasser genannt wird, ist eine wasserähnliche Flüssigkeit, die das gesamte Zentralnervensystem umspült und das Ventrikelsystem, verbundene Hohlräume im Inneren des Gehirns, ausfüllt. Das gesamte Flüssigkeitsvolumen wird ungefähr fünfmal pro Tag in den Ventrikeln neu gebildet und im Subarachnoidalraum und dem Gehirn selbst absorbiert. Diese Hypothese basiert darauf, dass ein Nettofluss von den oberen Ventrikeln des Gehirns in Richtung Subarachnoidalraum beobachtet werden kann.

Hypothesen über die Entstehung von Krankheiten, die mit veränderten dynamischen Eigenschaften des Liquorflusses zusammenhängen, betrachten meist nur den Nettofluss des Liquors.

Durch Verbesserungen in den Messmethoden kommen Untersuchungen der Pulsatilität des Liquorflusses mehr und mehr Bedeutung zu. Diese Pulsatilität ist in allen vier dynamischen Kompartementen des Gehirns zu finden. Sie korreliert sehr gut mit der Pulswelle des arteriellen Blutes. Sobald diese Pulswelle in den Schädel eintritt, wird die Energie vor allem vom Liquor, aber auch vom venösen Blut und schließlich ein kleiner Teil vom Hirngewebe absorbiert.

Um mehr Wissen über diese Dynamik im Gehirn zu sammeln sind neue, detaillierte Modelle des Ventrikelsystems und Flussimulationen, welche auch die Pulsatilität miteinbeziehen, notwendig. Für genaue Aussagen ist aber auch die Charakterisierung von subjekt-spezifischem Flussverhalten erwünscht. Dies ist wiederum nur mit genauen Randbedingungen, die die Pulsatilität des Flusses und der Hirnbewegung integrieren, möglich.

Im Rahmen dieser Dissertation wurden verschiedene MRT-Methoden und Protokolle zur Detektion von pulsatilen Randbedingungen entwickelt. Diese nichtinvasiven Methoden können die dynamischen Eigenschaften unter normalen physiologischen Bedingungen bestimmen und wurden für Messung von Liquorgeschwindigkeiten und Hirnbewegungen optimiert.

Im Aquädukt wurden Geschwindigkeitsmessungen längs der Aquäduktachse mit einer räumlichen Auflösung von $0.6 \times 0.6 \text{ mm}^2$ und einer zeitlichen Auflösung von 26 ms durchgeführt.

Für die Gehirnbewegung wurden zwei Methoden entwickelt und an gesunden Probanden evaluiert. Die Dämpfung der Pulswelle vom Hirnstamm zum Schädel hin wird vor allem in der kraniokaudalen Komponente der Hirnbewegung klar sichtbar.

Sowohl die Flussdaten als auch die Hirnbewegungsdaten wurden dann für Simulationen des CSF-Flusses im dritten Ventrikel eingesetzt. Diese Simulationen stellen nun ein vielfältig einsetzbares medizinisches Werkzeug dar. Es kann erheblich zum Verständnis der

Flussbewegung und des Transportes von Nährstoffen und Medikamenten im ventrikulären Raum beitragen und kann zur Verbesserung von existierenden Behandlungsmethoden, wie z.B. CSF shunting, eingesetzt werden. Die Entwicklung von neuen medizinischen Hilfsmitteln, welche auf physiologische Variationen reagieren können, stellt ein weiteres Anwendungsgebiet dar. Medizinische Hilfsmittel oder die Verteilung von Medikamenten im CSF können somit vor der tatsächlichen Behandlung des Patienten an diesen Modellen getestet und an die patientenspezifischen Gegebenheiten angepasst werden.