

1. Einführung und Problemstellung

Die Magnetresonanztomographie (MRT) hat sich seit Beginn ihrer breiteren klinischen Anwendung während der vergangenen beiden Jahrzehnte zu einem wesentlichen Instrument der nichtinvasiven radiologischen Diagnostik und dem wohl bedeutendsten nichtinvasiven Untersuchungsverfahren des radiologischen Teilgebietes Neuroradiologie entwickelt.

Dazu haben neben der kontinuierlich fortentwickelten und gesteigerten Leistungsfähigkeit der Methode hinsichtlich anatomischer Detailtreue und Auflösung insbesondere auch Einzug und Entwicklung funktioneller Untersuchungsmethoden, der Magnetresonanz-Angiographie und ferner auch die klinische Praktikabilität der Magnetresonanz-Spektroskopie beigetragen.

Beispielhaft für klinisch anwendbare und sich zunehmend etablierende funktionell orientierte Magnetresonanz-Verfahren sind die kardiale MRT und auf dem Gebiet der neuroradiologischen Diagnostik die diffusionsgewichtete, perfusionsgewichtete und die funktionelle zerebrale MRT (fMRT) aufzuführen (1-3). Gegenstand weiterer funktioneller magnetresonanztomographischer Untersuchungen des zentralen Nervensystemes, der sogenannten liquordynamischen oder -kinetischen Messungen bzw. Untersuchungen, ist die Erfassung und Beurteilung der intrakranialen und spinalen Bewegungen des Liquor cerebrospinalis (von hier an vereinfachend Liquor genannt) (4).

Hinsichtlich der Darstellung intrakranial kompartimentierter wassergebundener Protonen (vereinfachend von hier an als Wasser bezeichnet) und ihrer Verteilung und Bewegungen kann zwischen Verfahren unterschieden werden, die einerseits zur makromorphologischen Wasserdarstellung prädisponiert sind, d.h. im wesentlichen zur Darstellung des intrakranial-extrazerebralen Wassers in Form des Liquor, und andererseits Verfahren zur Wasserdarstellung auf molekularer Ebene in intra- und extrazellulären Kompartimenten.

Die nonfunktionale makromorphologische Wasserdarstellung wird durch die im Detail vielfältig variierten konventionellen Spinecho-, Turbo-Spinecho- und Gradientenecho-Sequenzen geleistet, die im Rahmen jeder Basisuntersuchung zur

Anwendung kommen und neben dem Gehirn die intra- und extrazerebralen Liquorräume in unterschiedlichem Kontrast (T1, T2, T2*) abbilden (5). Die Wasserdarstellung auf molekularer Ebene ggf. unter Berücksichtigung intra- und extrazellulärer Verteilung kann mit Hilfe der diffusionsgewichteten Bildgebung und der Bildgebung mit Magnetisierungs-Transfer-Kontrast zwischen wasser- und makromolekular gebundenen Protonen durchgeführt werden (6, 7).

Da eine Reihe von Erkrankungen des zentralen Nervensystemes mit einer anatomischen und funktionellen Dysbalance innerhalb des liquorproduzierenden, -transportierenden und -reabsorbierenden Systemes korrespondiert, ist eine verlässliche, d.h. reproduzierbare, visuell akzentuierende und dabei auch quantifizierende funktionelle Beurteilung der Hirnwasserzirkulation unverzichtbarer Bestandteil eines Repertoires neuroradiologischer Untersuchungsmethoden mit Vollständigkeitsanspruch. Dafür stehen einerseits invasive Untersuchungen wie die Pneumencephalographie mit lediglich noch historischer Bedeutung und gegenwärtig unterschiedlich selten praktizierte Verfahren wie die Ventrikulographie bzw. Zisternographie einschließlich der Radionuklidventrikulographie zur Verfügung, die allesamt neben der direkten oder indirekten Darstellung der Liquorräume auch funktionelle Aussagen nach intrathekalen Substanzeinbringung erlauben (8-11).

Die Vorteile der überlegenen morphologischen Darstellungseigenschaften der MRT konnten durch den gezielten Einsatz flußsensitiver Sequenzen dahingehend erweitert werden, dass eine nichtinvasive funktionelle Erfassung des Liquorflusses, beruhend auf dem intrinsischen Kontrast des zu untersuchenden Substrates und seiner flußabhängigen Änderung, ermöglicht wird (12). Da auch hier methodenbedingte Limitationen und spezifische Eigenheiten des Untersuchungsgegenstandes zu berücksichtigen sind, liegt der sinnvollen Anwendung der Methode und einer differenzierten Bewertung der erzielten Resultate die Kenntnis geeigneter Untersuchungssequenzen, ihrer spezifischen Eigenschaften sowie die Kenntnis der mit der Methode zuverlässig und weniger zuverlässig beurteilbaren pathologischen Veränderungen zugrunde.

Die im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen zielen darauf ab, flußsensitive Sequenzen hinsichtlich der Charakterisierbarkeit von intrakranialen

Liquorbewegungen an einem dafür entwickelten hydrodynamischen Modell zu validieren und anhand einschlägiger, klinisch relevanter Fragestellungen deren Eignung für die Beantwortung dieser Fragestellungen zu überprüfen und zu diskutieren.

Am Modell wird die Sensitivität der verwendeten flußsensitiven Sequenzen für die Flußerkennung und -quantifizierung bestimmt. Es werden der Einfluß von simulierten Kreislaufparametern und simulierten unterschiedlichen lokalen und globalen hydromechanischen Modelleigenschaften (Aquäduktstenose, elastische Weitbarkeit oder *compliance*, Abflußwiderstand) auf die magnetresonanztomographisch ermittelten Flußmuster untersucht.

Bei den bearbeiteten klinischen Sachverhalten handelt es sich um die Bewertung der intrakraniellen Liquorflußmuster bei Aquäduktstenosen im Zusammenhang mit der Drittventrikulostomie und bei intrakraniellen Arachnoidalzysten unter Berücksichtigung der Zystozisternostomie.

Einen Schwerpunkt bilden Untersuchungen mit einer bisher hinsichtlich dieser Thematik nachweislich der einschlägigen Literatur außerhalb eigener Untersuchungen nicht verbreiteten, kaum klinisch eingesetzten und diesbezüglich nicht systematisch untersuchten Technik, die auf semiquantitativer Basis eine sensitive Liquorflußdetektion und gleichzeitig Magnetresonanz-zisternographische Darstellung anatomischer Gegebenheiten erlaubt und damit eine unter bestimmten Gegebenheiten auch untersuchungszeitparende Alternative zu anderen, invasiven Verfahren darstellt. Diese Technik geht aus der Gruppe von Sequenzen mit Gleichgewichtsmagnetisierung hervor und kann mit dem Begriff der gespiegelt refokussierten Gradientenecho-Technik in Gleichgewichtsmagnetisierung bezeichnet werden.

Die Flußquantifizierungen erlaubende Phasenkontrast-Technik, die Gegenstand zahlreicher Untersuchungen zum intrakraniellen und spinalen Liquorfluß war und zur Beschreibung physiologischer und pathologischer Liquorflußmuster diente, wird am Modell als Referenzmethode für die vorgenannte Technik verwendet, für Untersuchungen zur Abhängigkeit MR-tomographisch ermittelter Liquorflußmuster und -größen von physiologischen Parametern und Untersuchungen zum Normaldruck-Hydrozephalus verwendet, dessen Ätiologie nach wie vor als nicht abschließend geklärt gilt, wengleich insbesondere radiologische Untersuchungen bisher wesentliche Aufschlüsse über damit assoziierte, veränderte Liquorflußmuster lieferten (32).