

Bestimmung der Liquorproduktionsrate mit Magnetresonanzmethoden

René Botnar, Markus Beat Scheidegger, Peter Boesiger

Institut für Biomedizinisch Technik und Medizinische Informatik der Universität Zürich und der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Schweiz

EINLEITUNG:

Die Funktionen des Liquor cerebrospinalis sind zum einen der Schutz des zentralen Nervensystems resp. die Regulation des intracranialen Drucks und zum anderen die Versorgung des Gehirns mit Nährstoffen und Hormonen. Der Liquor cerebrospinalis wird vom choroideus plexus der beiden Seitenventrikel, des III. Ventrikels und des IV. Ventrikels gebildet. Er fließt aus den Seitenventrikeln durch das Foramen interventriculare in den III. Ventrikel und von dort aus durch den Aquaeductus cerebri in den IV. Ventrikel. Aus dem IV. Ventrikel tritt der Liquor über die Foramina Luschkae resp. das Foramen Magendii in den äusseren Liquorraum aus. Dort wird ein kleiner Teil in den Arachnoidalzotten des Subarachnoidalraums absorbiert.

Ein für das Liquorsystem typisches Krankheitsbild ist der Hydrocephalus, der eine abnormalen Zunahme des Liquorvolumens im Schädel beschreibt. Sie kann entweder durch eine Liquorüberproduktion im choroideus plexus oder durch eine tumorbedingte Verengung (Stenose) eines Liquorkanals (Aquaeductus, Foramen interventriculare) hervorgerufen werden. Herkömmliche Untersuchungsmethoden zur Liquorproduktionsmessung oder zur Darstellung der Liquorräume (CT, nukleare Cisternographie) arbeiten entweder mit ionisierender Strahlung oder sind invasiv. Die Magnetresonanztomographie dagegen stellt eine völlig nicht invasive Untersuchungsmethode dar, die es ermöglicht sowohl die Anatomie der Liquorräume darzustellen als auch den Fluss durch diese zu messen. In dieser Untersuchung sollte demonstriert werden, dass es mit MR-Methoden möglich ist den pulsatilen Liquorfluss sowohl zeitlich als auch räumlich aufgelöst zu messen und daraus die Liquorproduktionsrate zu bestimmen. Hierzu wurden im Aquaeductus cerebri die Momentanflusswerte in äquidistanten Zeitabständen von 30ms während des gesamten RR-Intervalls gemessen. Die Integration über die einzelnen Messwerte lieferte den Nettofluss und somit einen Schätzwert für die tägliche Produktionsrate des Liquors in den drei inneren

Ventrikeln.

METHODE:

Zur Erfassung der herzsschlagbedingt pulsatilen Bewegung des Liquors wurde eine EKG getriggerte Phasen-Kontrast Sequenz benutzt, wobei die Geschwindigkeitskodierung in axiale Richtung erfolgte. Um eine Unterschätzung der Flussrate auf Grund einer nicht exakten 90° -Angulation zwischen Messschicht und Verlauf des Aquäduktus gering zu halten und um den *partial volume* Effekt, der durch den gewundenen Verlauf des Aquäduktus verursacht werden kann zu minimieren wurden die Schichten möglichst dünn (5mm) gewählt und immer so gelegt, dass der Verlauf des Aquäduktus innerhalb der Schicht geradlinig war. Dies war am ehesten, wie in Figur 1 angedeutet, in der Einmündung des Aquäduktus in den 4. Ventrikel gewährleistet.

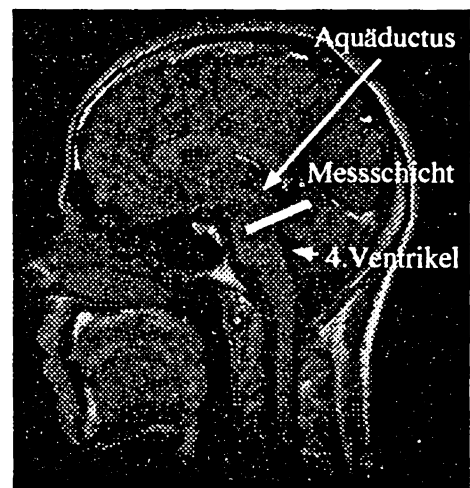


Fig 1: sagittales Spin-Echo Bild zur Planung der Messschicht.

Um eine gute Geschwindigkeitsauflösung zu erhalten wurde diese an den physiologischen Geschwindigkeitsbereich des Liquors an der Messstelle angepasst. Im Aquaeductus entsprach dies $62.8 \text{ rad}^* \text{ s/m}$ und im intraspinalen Liquorraum auf der Höhe der Halswirbel C1/C2 $20.9 \text{ rad}^* \text{ s/m}$. Alle Untersuchungen wurden mit einem Philips Gyroscan S15/ACS II System unter Verwendung der Kopfspule durchge-

führt. Die schnelle Liquorflussänderung während der Systole erforderte eine Zeitaufösung von 30ms, was zu ungefähr 30 Momentanflussbildern pro RR-Intervall führte. Um das gesamte RR-Intervall während der Messung zu erfassen begann die Datennahme nur jeden 2.Herzschlag mit einer Verzögerungszeit von 8ms auf die R-Zacke. Die gesamte Messdauer betrug ungefähr 9:25min (70Schläge/Minute).

Die Genauigkeit der Produktionsratenmessung hängt vorwiegend von der Nullphasenbestimmung (Phase des stationären Gewebes) und von der Korrektur der Wirbelstromartefakte ab. Da die Geschwindigkeit der Spins proportional zur Phase $\phi = \gamma \cdot B_0 \cdot T \pm \gamma \cdot v \cdot M_1$ des empfangenen Signals ist (M_1 : 1.Moment des Selektionsgradienten, v : Geschwindigkeit) wurden zwei Messungen mit betragsmässig gleichem jedoch einmal positivem und das andere Mal negativem 1. Moment durchgeführt. Die Differenz der beiden daraus erhaltenen Phasenbilder lieferte die Phasenwerte $\phi = 2 \cdot \gamma \cdot v \cdot M_1 + \phi_{\text{Fehler}}$ der lokalen Liquorgeschwindigkeiten resp. die des statischen Gewebes plus lokale Phasenfehler, die von den unterschiedlichen Wirbelströmen dieser beiden Messungen resultierten. Um diese lokalen Phasenfehler zu korrigieren wurde ein spezieller auf unserem Gerät verfügbarer Phasenfilter verwendet. Nach dieser Korrektur wurde der Nullphasenwert, der von den Phasenwerten des Aquäductus subtrahiert werden musste, in einem Gebiet mit statischen Gewebe bestimmt. Die danach erhaltenen Phasenwerte entsprachen den lokalen Flussgeschwindigkeiten im Aquäductus.

Ergebnisse:

In dieser Studie wurden 4 gesunde Probanden untersucht. Der Verlauf der Flusskurven im Aquäductus zeigt bei allen Probanden einen charakteristischen Verlauf. Ungefähr 100ms nach der R-Zacke ist der Fluss maximal in craniale Richtung. Darauf folgt eine schnelle Umkehr in caudale Richtung mit einem Flussmaximum bei ungefähr 35% des Herzintervalls. Im subarachnoidalen Raum auf C1/C2 Niveau ist die Flussumkehr von cranialer in caudale Richtung deutlich schneller als im Aquaeductus. Der maximale caudale Fluss tritt hier schon nach 20% des RR-Intervalls auf. Die Zeitverschiebung zwischen dem maximalen Fluss caudalwärts im Aquäductus und dem auf der Höhe C1/C2 lieferte ein Liquorpulswellengeschwindigkeit von ungefähr 120mm/s. Die Flussprofile im Aquäductus sind symmetrisch, wobei auf der Höhe C1/C2 eine deutliche anterior-posterior

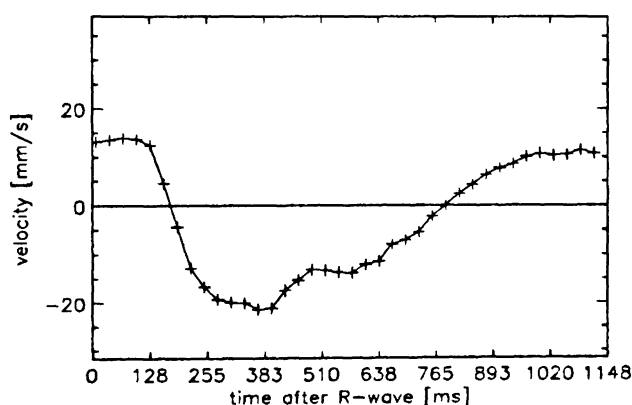
Asymmetrie zu erkennen ist.

Die Werte für die Liquorproduktionsrate liegen zwischen 750ml/Tag und ungefähr 1500ml/Tag mit einem Mittelwert von (1063 +/- 410)ml/Tag. Dieser Wert liegt über dem Wert 500ml/Tag, der mit radioaktiven Tracern [1] gemessen wurden, jedoch innerhalb der Fehler bei dem Wert 900ml/Tag der von einer anderen Gruppe [2] ebenfalls mit MR-Methoden bestimmt wurde. Nachfolgend in Tabelle 1 sind die Ergebnisse der Liquorproduktionsratenbestimmung von drei Probanden aufgeführt.

| | Produktionsrate [ml/day] | Fläche [mm ²] | RR-Intervall [ms] |
|-----------|--------------------------|---------------------------|-------------------|
| Proband 1 | 921 | 6.42 | 878 |
| Proband 2 | 743 | 9.87 | 818 |
| Proband 3 | 1525 | 13.91 | 1118 |

Tabelle 1: Liquorproduktionsraten

In der Figur 2 ist der zeitliche Verlauf des Flusses im Aquäductus über das gesamte RR-Intervall dargestellt.



Figur 2: mittlere Geschwindigkeit des Liquors im Aquäductus cerebri.

Diskussion:

Die Phasenkontrast-Technik der MR-Tomographie ist eine geeignete nicht invasive Untersuchungsmethode sowohl zur Bestimmung der Liquorproduktion als auch zur Darstellung des Flusses in den Liquorräumen. Sie könnte zB. zur Kontrolle der Liquorproduktion bei der Vergabe von produktionshemmenden oder stimulierenden Medikamenten eingesetzt werden.

- [1]R. Rubin et al., J. Neurosurg. 25: 430:436,1966
- [2]C.T. Thomsen et al.,Radiology 177: 659-665,1990