

Echtzeitmessungen der Pulswellengeschwindigkeit im Liquor Cerebrospinalis

Kristina Peters,^{1,2} René Bastkowski,¹ Kilian Weiss,¹ David Maintz¹ und Daniel Giese¹

¹ Institut für Diagnostische und Interventionelle Radiologie, Uniklinik Köln, Deutschland.

² Heinrich-Heine-Universität, Düsseldorf, Deutschland.

* kristina.peters@uk-koeln.de

Abstract: A method to determine the pulse wave velocity in real-time in the Cerebrospinal Fluid was developed. Therefore, multiband MRI flow encoded measurements with single-shot EPI of 8 healthy volunteers were acquired. The developed algorithm to determine the transit time between the two transversal slices was based on a cross correlation. A possible connection between pulse wave velocity and respiration was noticed.

Zusammenfassung: Es wurde eine Methode zur Echt-Zeit Messung der Pulswellengeschwindigkeit (PWV) im Liquor Cerebrospinalis entwickelt. Dafür wurden flusskodierte Multiband MRT Bilder mit single-shot EPI aufgenommen. Der entwickelte Algorithmus zur Bestimmung der Durchgangszeit der Pulswelle zwischen zwei transversalen Schichten, beruht auf einer Kreuzkorrelation. Es zeigt sich eine Tendenz, dass ein Zusammenhang zwischen der Atmung und PWV im Liquor besteht.

Motivation

Frühere Studien haben gezeigt, dass bestimmte neurologische Erkrankungen (z.B. Chiari Malformation I) mit einer veränderten Compliance des Duralsacks einhergehen (1). Des Weiteren gibt es erste Studien die neben dem Herzschlag auch die Atmung als Ursache des CSF-Flusses festgestellt haben (2). Aus diesen zwei Gründen wurde eine Methode entwickelt mit der die PWV in Echtzeit im CSF ermittelt werden kann. So können Rückschlüsse auf die Compliance und eine mögliche Atemabhängigkeit gezogen werden.

Material und Methoden

Insgesamt wurden Aufnahmen von 8 Probanden gemacht, wobei Proband 1 dreimal aufgenommen wurde. Die Sequenz bestand aus einem flusskodierte Segment, das in Echtzeit mittels Echo Planar Imaging (EPI) aufgenommen wurde. Dabei wurden mit der Multiband-technik zwei transversale Schichten des Liquors mit einem Abstand von 20 cm simultan angeregt. Die Bildparameter waren wie folgt: FOV: 230 x 230 mm, Matrix: 128 x 128, Pixelgröße: 1,8 x 1,8 mm, Schichtdicke: 8,00 mm,

Schichtabstand: 200 mm, TR: 28 ms, TE: 12 ms, VENC: 15,00 cm/s, Flusskodierichtung: FH, EPI Faktor: 45, SENSE Faktor: 2, MB Faktor: 2, halfscan Faktor: 0,757, Dynamiken: 5500. Während der Aufnahmedauer von 154 s wurden die Probanden aufgefordert den Atemkommandos einer Videosequenz zu folgen. Diese enthielten freie Atmung, tiefe Atmung, sowie Atem anhalten nach Ins- und Expiration (Fig. 1). Um stationäre Hintergrundphasen zu entfernen, wurde das erste Bild der jeweiligen Schicht von allen folgenden subtrahiert. Anschließend wurde ein Phasenunwrap-Algorithmus angewandt. Hieraus wurden die Flusskurven des Liquors in beiden Schichten ermittelt. Aufgrund großer Phasenoffsets, die vermutlich auf ateminduzierte B_0 -Effekte zurückzuführen sind, wurde ein Hochpassfilter angewandt, welcher alle Frequenzen unterhalb 0.5 Hz herausfilterte. Diese Flusskurven wurden dann mithilfe des entwickelten Algorithmus auf Basis einer Kreuzkorrelation zur Bestimmung der PWV ausgewertet.

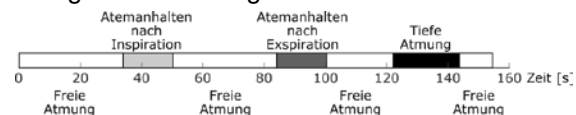


Fig. 1: Atemkommandos

Ergebnisse

Wie in Fig. 2 zu sehen, zeigen die beiden unkorrigierten Flusskurven eine deutliche Hintergrundphase die mit der Atmung einhergeht. Diese ist in der kaudalen Schicht, welche näher an der Lunge ist, deutlich stärker (Fig. 2, orange Linie) und ist auch in stationärem Gewebe, in dem kein Fluss zu erwarten ist, sichtbar (hier nicht gezeigt). Außerdem kommt es an einigen Stellen zu Phasenwraps. Diese beiden Effekte wurden durch den Unwrap-Algorithmus und den Hochpassfilter korrigiert. Anhand dieser korrigierten Flusskurven (Fig. 3) wurde die PWV ermittelt. Die Ergebnisse der über alle Atempositionen gemittelten PWV aller Probanden sind in Tab. 1 aufgetragen. Das arithmetische Mittel über alle Probanden beträgt 5.49 ± 8.13 m/s. Die hohe Standardabweichung in zwei Probanden (1+3), führt insgesamt zu einer Erhöhung der Standardabweichung über alle Probanden. Beim Betrachten des Verlaufs der PWV über die gesamte Mes-

sung, ist bei 3 der 6 Probanden mit akzeptabler Standardabweichung eine deutliche Korrelation zwischen PWV und Atmung erkennbar (Fig. 4).

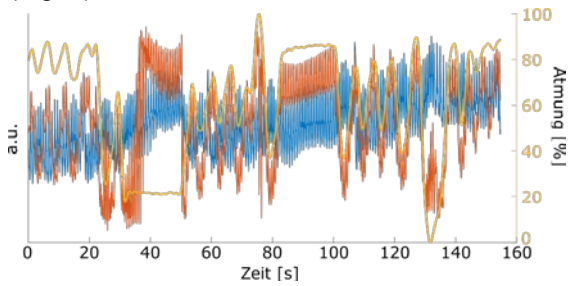


Fig. 2: Flusskurve der kranialen (blau) und kaudalen (orange) Schicht vor Anwendung des Filters und Unwrap-Algorithmus sowie Atmung (gelb) in Proband 4.

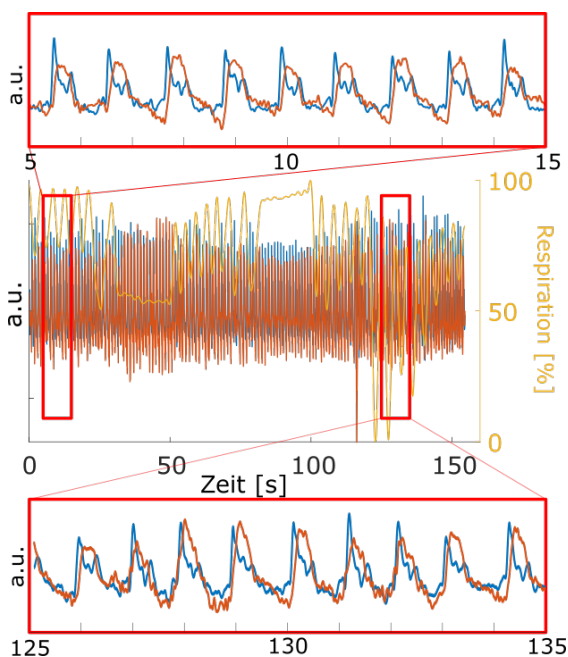


Fig. 3: Flusskurve der kranialen (blau) und kaudalen (orange) Schicht nach Anwendung des Filters und Unwrap-Algorithmus sowie Atmung (gelb) in Proband 1.

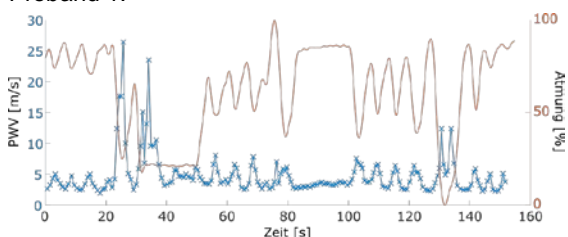


Fig. 4: Verlauf der PWV (blau) und Atmung (orange) über die gesamte Messung von Proband 4.

Diskussion

Die Hintergrundphase ist auf Suszeptibilitätseffekte zurückzuführen, welche das lokale Mag-

netfeld B_0 verändern (3). Diese sind durch sich verändernde Sauerstoffkonzentration und Bewegung aufgrund der Atmung induziert und somit durch einen Filter, zumindest teilweise, zu korrigieren. Zu Zeitpunkten mit besonders tiefer Atmung kommt es zu einer Veränderung in der Form der Flusskurve (Fig. 3, Zeitpunkt 128 und 132 s). Dies ist eine Fehlerquelle in der Auswertung mittels Kreuzkorrelation, da diese auf der Form der Kurve basiert. Somit kommt es zu falsch detektierten Durchgangzeiten während starker Inspiration, die zu sehr hohen oder sogar negativen PWV führt. Dies kommt hier besonders häufig in Proband 1 und 3 vor, was in der hohen Standardabweichung sichtbar wird. Die Ursache für diese veränderte Form könnte ein besonders großer Effekt des Filters während tiefer Atmung sein. Eine mögliche Erklärung für die Tatsache, dass 3 von 6 Probanden keinen Zusammenhang zwischen PWV und Atmung aufweisen, lässt sich ebenfalls auf den Filter zurückführen. Falls in den Spektren der Flusskurven relevante Information zur PWV in den niedrigeren Frequenzen ($f < 0.5$ Hz) enthalten sind, würden diese durch den Filter eliminiert. Dies würde zu falschen PWV führen, so dass eine mögliche Atemabhängigkeit nicht mehr sichtbar ist.

Zusammenfassung

Die vorgestellte Methode zur Bestimmung der PWV im Liquor in Echtzeit zeigt für 3 von 6 Probanden einen eindeutigen Zusammenhang zwischen PWV und Atemposition. Jedoch gibt es in der Datenverarbeitung noch Fehlerquellen, vor allem aufgrund des notwendigen Hochpassfilters, die möglicherweise zu falschen PWV führen. Der nächste Schritt dies zu beheben, ist eine Aufnahmetechnik zu entwickeln, die B_0 -Effekte bereits korrigiert und der Hochpassfilter nach der Akquisition somit nicht mehr nötig wäre.

Referenzen

1. Dreha-Kulaczewski S, Joseph AA, Merboldt KD, Ludwig HC, Gärtner J, Frahm J. Inspiration Is the Major Regulator of Human CSF Flow, J Neurosci 2015;35:2485-2491.
2. Bunck AC, Kroeger JR, Juettner A, Brentrup A, Fiedler B, Crelier GR, Martin BA, Heindel W, Mainz D, Schwindt W, Niederstadt T. Magnetic resonance 4D flow analysis of cerebrospinal fluid dynamics in Chiari I malformation with and without syringomyelia, Eur Radiol. 2012;22:1860-1870.
3. Verma T, Cohen-Adad J. Effect of respiration on the B_0 field in the human spinal cord at 3T, Magn Reson Med 2014;72:1629-1636

Tab. 1: Mittlere PWV und Standardabweichung über alle Atempositionen.

Proband	1.1	1.2	1.3	2	3	4	5	6	7	8	all
Mittlere PWV [m/s]	7,42	3,89	5,05	3,72	10,23	4,99	6,58	3,62	5,84	3,57	5,49
Standardabweichung [m/s]	11,40	11,43	32,38	0,53	14,14	2,71	4,35	1,22	2,38	0,80	8,13