

Untersuchung der Pseudo-Diffusionskonstante im Model der Intravoxel incoherent Motion im Limit schwacher Diffusionswichtung

Andreas Riexinger,^{1*} Frederik B. Laun¹

¹ Laun, MR-Physik, Radiologie, Friedrich-Alexander-Universität, Erlangen, Deutschland.

* andreas.riexinger@uk-erlangen.de

Zusammenfassung: Mithilfe sehr niedriger Diffusionswichtungen ($b > 0,6$ s/mm²) wurden Lebermessungen bei zwei verschiedenen Echozeiten und Feldstärken durchgeführt. Dabei wurde für jede der vier Messreihen eine bessere Übereinstimmung der Daten des triexponentiellen IVIM-Model gezeigt.

Außerdem wurde eine Abhängigkeit der Pseudo-Diffusionskonstante von der verwendeten Feldstärke gezeigt. Diese steigt unabhängig vom verwendeten IVIM-Model mit der Feldstärke an. Für die Echozeit wurde keine Abhängigkeit des Pseudo-Diffusionskoeffizienten gefunden.

Motivation

Die Theorie der Intravoxel Incoherent motion (IVIM) bietet eine Möglichkeit Perforations- und Diffusionseffekte in einem diffusionsgewichteten Bild zu messen. Die damit ermittelbaren IVIM-Parameter wie Blutanteil und Pseudo-Diffusionskonstante wurden bereits in Studien verwendet, wobei die Pseudo-Diffusionskonstante noch großer Messungenauigkeit unterliegt (1). Es wurde seit längerem eine Auswirkung der verwendeten Echozeit auf den Blutanteil im Signal gezeigt (2), weswegen Messungen mit unterschiedlichen Echozeiten für einen Vergleich korrigiert werden müssen. Eine ähnliche Abhängigkeit wird für die Pseudo-Diffusionskonstante vermutet.

Berechnungen mit veröffentlichte Daten zu den Relaxationszeiten von arteriellem und venösem Blut, sowie Gewebe (3,4) zeigen einen erhöhten Signalbeitrag des Blutes zum Gesamtsignal, bei steigender Feldstärke. Vermutlich wird dadurch auch die gemessene Pseudo-Diffusionskonstante D^* mit der verwendeten Feldstärke ansteigen.

Material und Methoden

Die Lebern von sechs Probanden wurden mithilfe einer diffusionsgewichteten Sequenz an zwei Tomographen mit unterschiedlichen

Feldstärken von 1,5 T und 3 T untersucht. Zusätzlich wurden an jedem Tomographen zwei Messungen mit verschiedenen Echozeiten von $TE = 40$ und 80 ms aufgenommen. Zur Validierung der verwendeten Sequenz wurde eine Phantommessung durchgeführt und mit einer bereits im klinischen Alltag verwendeten Sequenz verglichen.

Insgesamt wurden 16 verschiedene b -Werte $0,6; 1,4; 2; 2,9; 3,4; 4,1; 5,2; 12,0; 20,4; 25,6; 28,4; 35,2; 41,2; 59,0; 72,0$ und 600 s/mm² verwendet. Die realen b -Werte wurden für die Auswertung mithilfe des Gradientenverlaufs berechnet um Auswirkungen der Bildgebungsgradienten auf den b -Wert zu kompensieren.

Für die Messungen wurde der Atem in Expiration angehalten. Durch setzen einer polygonförmigen ROI, in jedem Expirationszyklus, auf gefäßfreies Lebergewebe wurde mithilfe des Median aller in der ROI befindlichen Pixel das Signal berechnet. An das resultierte Signal wurde das bi- und triexponentielle IVIM-Model gefittet.

Ergebnisse

Für sehr niedrige b -Werte ($b < 10$ s/mm²) zeigte das triexponentielle IVIM Model eine deutlich bessere Übereinstimmung mit den aufgenommenen Daten als das biexponentielle. Die Stellen mit starker Abweichung beider Fitvarianten vom gemessenen Signal wurden mit einem grauen Pfeil gekennzeichnet.

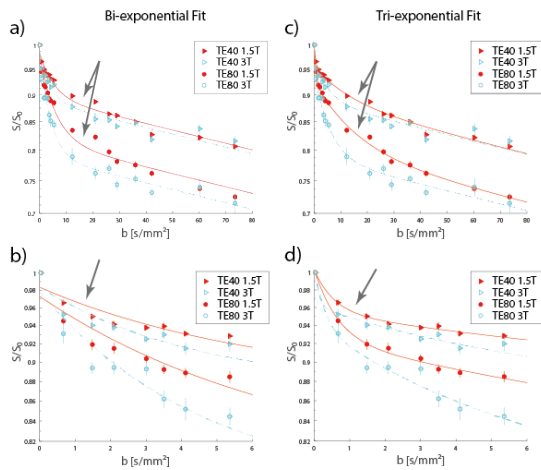


Fig. 1: Normierte Signalkurven der aufgenommenen Messreihen mit 1,5 T (rot) und 3 T (blau) bei TE= 40 ms (Dreieck) und 80 ms (Kreis). Vergleich der Datenkompatibilität des a, b) bi- und c, d) triexponentiellen Fit bei sehr niedrigen b-Werten ($b < 10$ s/mm²).

Der biexponentielle Fit zeigt bei niedrigen b-Werten $b < 10$ s/mm² deutliche Abweichungen zum gemessenen Signal. Der triexponentielle Fit passt sich dem Signal im Vergleich exakter an. Dieses Verhalten kann als Anwesenheit eines dritten Diffusionsgebietes gedeutet werden. Für das biexponentielle Modell wurde die Pseudo-Diffusionskonstante zu 0,191/0,200 mm²/s bei TE=40/80 ms und der Feldstärke 1,5 T, sowie zu 0,263/0,256 mm²/s bei einer Feldstärke von 3 T bestimmt.

Für das mittlere Diffusionsgebiet im triexponentiellen Fit ergab sich die Pseudo - Diffusionskonstante zu 0,072/0,064 mm²/s bei TE=40/80 ms und der Feldstärke 1,5 T, sowie 0,172/0,175 mm²/s bei einer Feldstärke von 3 T. Für das schnellste Diffusionsgebiet, welches vor allem im Bereich $b < 1$ s/mm² zu finden ist, ergab sich die Pseudo - Diffusionskonstante zu 1,821/1,576 mm²/s bei TE=40/80 ms und der Feldstärke von 1,5 T, sowie zu 9,449/3,515 mm²/s bei einer Feldstärke von 3 T. Modellunabhängig liegt eine Abhängigkeit des Pseudo-Diffusionskoeffizienten von der Feldstärke vor.

Diskussion

Vor allem bei einer sehr schwachen Diffusionswichtung von $b < 10$ s/mm² zeigt das triexponentielle Modell eine bessere Kompatibilität zu den vorliegenden Daten. Dies bestätigt die kürzlich veröffentlichten Arbeiten (5) in der Annahme eines dritten Diffusionsgebietes. Bislang gibt es keinen Erklärungsansatz für das triexponentielle IVIM-Modell. Die gemessenen IVIM-Parameter stimmen sehr gut mit unseren Simulationen überein, was zur Vermutung einer

Unterteilung des Blutsignals in arterielles und venöses Blut führt. Der Wert für die Pseudo-Diffusionskonstante von 9,449 mm²/s des triexponentiellen Fit bei der Messreihe mit TE = 40 ms und einer Feldstärke von 3 T hat sich bei genaueren Untersuchungen als nicht aussagekräftig herausgestellt. Für die anderen Werte ist ein deutlicher Unterschied zwischen den verwendeten Feldstärken, nicht aber zwischen den verwendeten Echozeiten aufgefallen. Ändert sich die Pseudo-Diffusionskonstante während der Echozeit nicht, bedeutet dies, die Flussgeschwindigkeit bleibt konstant, dies stimmt mit dem aktuellen Verständnis der Pseudo-Diffusionskonstante überein.

Ausblick

Bei der Verwendung schwacher Diffusionswichtungen ($b < 10$ s/mm²) sollte das triexponentielle IVIM-Modell zur Datenanalyse von Messungen in der Leber herangezogen werden. Modellunabhängig weist der Pseudo-Diffusionskoeffizient eine Abhängigkeit von der verwendeten Feldstärke auf. Dies muss bei Metaanalysen verschiedener Studien berücksichtigt werden.

Referenzen

- Li YT, Cercueil JP, Liver intravoxel incoherent motion (IVIM) magnetic resonance imaging: a comprehensive review of published data on normal values and applications for fibrosis and tumor evaluation. *Quantitative imaging in medicine and surgery* 2017;7(1):59-78.
- Lemke A, An in vivo verification of the intravoxel incoherent motion effect in diffusion-weighted imaging of the abdomen. *Magnetic resonance in medicine* 2010;64(6):1580-1585.
- Zhao JM, Oxygenation and Hematocrit Dependence of Transverse Relaxation Rates of Blood at 3T, *Magnetic Resonance in Medicine* 58:592–596 (2007)
- Silvennoinen MJ Comparison of the dependence of blood R2 and R2* on oxygen saturation at 1.5 and 4.7 Tesla. *Magnetic resonance in medicine* 2003;49(1):47-60.
- Cercueil JP, Intravoxel incoherent motion diffusion-weighted imaging in the liver: comparison of mono-, bi- and tri-exponential modelling at 3.0-T. *Eur Radiol* 2015;25(6):1541-1550.