

Reduktion von Artefakten infolge imperfekter Refokussierpulse in Bloch-Siegert-Phasen basierten B_1^+ -Mapping mit CPMG-Sequenzen

T Kampf^{1,2*}, VJF Sturm³, FT Kurz³, CH Ziener³, PM Jakob² und M Pham¹

¹ Institut für Diagnostische und Interventionelle Neuroradiologie, Universitätsklinikum Würzburg, Würzburg, Deutschland.

² Experimentelle Physik V, Physikalisches Institut, Universität Würzburg, Würzburg, Deutschland.

³ Experimentelle Neuroradiologie, Universitätsklinikum Heidelberg, Heidelberg, Deutschland

*thomas.kampf@physik.uni-wuerzburg.de

Abstract: The Bloch-Siegert-effect allows MR-Parameter determination from amplitude data while acquiring the rf-coil's transmission field distribution using phase data. CPMG sequences with additional Bloch-Siegert-phase encoding rf-pulses allow parallel determination of T_2 and B_1^+ -maps which, however, may have erroneous B_1^+ -maps. In this work a method is introduced that reduces these errors by combining signals from different echoes. This allows the robust measurement of B_1^+ -fields in inhomogeneous B_0 -fields as well as in coils with inhomogeneous transmission fields as in high-field MRI.

Zusammenfassung: Der Bloch-Siegert-Effekt ermöglicht parallel zur Bestimmung von MR-Parametern aus Amplitudendaten, eine Vermessung des Spulensendefeldes mit Hilfe der Signalphase. CPMG Sequenzen mit Bloch-Siegert-Phase kodierenden HF-Pulsen erlauben die effiziente gleichzeitige Vermessung von T_2 und B_1^+ , was zu Artefakten in den B_1^+ -Karten führen kann. In dieser Arbeit wird eine Methode vorgestellt, diese Fehler durch Kombination verschiedener Echos deutlich zu reduzieren. Dies ermöglicht das sichere Bestimmen von B_1^+ -Karten auch bei inhomogenen B_0 -Feldern sowie stark variierenden Sendefeldern wie sie in der Hochfeld MR auftreten können.

Motivation

Die Bestimmung der B_1^+ -Sendefeldverteilung von HF-Sendespulen ist ein wichtiger Bestandteil quantitativer MR. Die B_1^+ -Verteilung wird benötigt um den korrekten Einfluss der Flipwinkel einer Pulssequenz auf die Magnetisierung zu ermitteln, welcher für die quantitative Signalauswertung von großer Bedeutung ist. Neben anderen wurde dafür eine auf dem Bloch-Siegert-Effekt basierte Methode vorgestellt, welche die Signalphase nutzt [1]. Dabei wird unter gewissen

Bedingungen die Signalamplitude nur minimal beeinflusst. Dies eröffnet die Möglichkeit der kombinierten Bestimmung des B_1^+ -Feldes und anderer Parameter deren Quantifizierung auf der Signalamplitude basiert. Dies wurde für die Quantifizierung der T_2 -Relaxationszeit mittels einer CPMG-Sequenz gezeigt [2].

Sind die Refokussierpulse innerhalb des CPMG-Echozuges nicht perfekt, erzeugen diese einen Phasenfehler im Signal, welcher für die verschiedenen Echos variiert. Werden CPMG-Sequenzen zur B_1^+ -Bestimmung mittels des Bloch-Siegert Effektes genutzt, wobei Phasenkarten zu verschiedenen Echozeiten kombiniert werden, kann dies zu Fehlern in den ermittelten B_1^+ -Karten führen.

In dieser Arbeit wird eine verbesserte Datenauswertung vorgestellt, welche solche Artefakte deutlich reduziert und damit eine robustere B_1^+ -Bestimmung ermöglicht.

Material und Methoden

Die Bestimmung der B_1^+ -Verteilung in der MR-Bildgebung mittels Bloch-Siegert Effekt basiert darauf, dass der Transversalmagnetisierung bei Einstrahlen von nicht resonanten HF-Pulsen, welche die Bedingungen $\omega_{\text{off}} \gg \gamma B_1^+$ und $\omega_{\text{off}} \gg \Delta\omega_0$ erfüllen (ω_{off} – Frequenzverschiebung des HF-Pulses, $\Delta\omega_0$ – Frequenzverschiebung auf Grund lokaler B_0 -Inhomogenitäten) ausschließlich die Phasenverschiebung

$$\Phi_{BS} \approx \frac{(\gamma B_1^+)^2}{2 \omega_{\text{off}}} \left(1 - \frac{\Delta\omega_0}{\omega_{\text{off}}}\right)$$

aufgeprägt wird. Verwendet man HF-Pulse mit entgegengesetzten $\pm\omega_{\text{off}}$, löschen sich die $\Delta\omega_0$ -Anteile aus und man kann aus der Phasendifferenz in den Bildern die B_1^+ -Verteilung ermitteln.

Dies setzt voraus, dass alle anderen Phasen, welche durch die Bildgebung aufgeprägt werden, identisch sind. In [2] wurde eine schnelle Methode zur gleichzeitigen

Bestimmung von T_2 und B_1^+ vorgestellt, welche darauf beruht, die Phasen zu unterschiedlichen Echozeiten miteinander zu vergleichen.

Untersucht man die Phase der Magnetisierung in einem CPMG-Zug erhält man jedoch [3]

$$\Phi_{\text{CPMG}}[n, \alpha, \Delta\omega_0, TE] \approx -\frac{\pi}{4}(-1)^n(\pi - \alpha)^2 \sin[\Delta\omega_0 TE].$$

Man erkennt, dass für Refokussierpulse mit Flipwinkel $\alpha \neq 180^\circ$ eine echoabhängige Phase verbleibt. Werden jetzt zur Verarbeitung verschiedene Echozeiten herangezogen, kann dies zu Artefakten in den B_1^+ -Karten führen. Um dieses Problem zu umgehen, kombiniert man bei der neuen Methode jeweils 2 Echos mit gleicher BS-Kodierung aber gedrehtem Vorzeichen im Phasenfehler Φ_{CPMG} . Die so entstandenen virtuellen Echos lassen sich dann zu einer Artefakt reduzierten B_1^+ -Karte kombinieren.

Ergebnisse

In Abbildung 1 sind B_1^+ -Karten einer linearen Birdcage-Spule abgebildet. Dafür wurde wie in [2] beschrieben die Bloch-Siebert-Phasenkodierung in eine CPMG-Sequenz integriert. In Bild A wurden 2 Multi-Spin-Echo Messungen mit einheitlicher BS-Kodierung im Echozug (entweder + oder - ω_{off}) verwendet. Dadurch können immer identische Echos zur B_1^+ -Bestimmung genutzt werden. Dafür dauert die Messung doppelt so lang. In B wurden eine einzelne Multi-Spin-Echo Messung mit alternierender BS-Kodierung in ω_{off} (++--). Durch die direkte Verwendung unterschiedlicher Echozeiten zeigen sich deutlich Fehler in der B_1^+ -Karte die durch $\Delta\omega_0$ in der Probe hervorgerufen werden. Durch die Einführung des „virtuellen“ Echo Konzepts bei

der Auswertung, kann in Bild C) dieser Einfluss von $\Delta\omega_0$ in der Probe auf die B_1^+ -Karte deutlich reduziert werden. Damit ist eine zuverlässige Bestimmung der B_1^+ -Karte auch mit einer einzelnen Multi-Spin-Echo Messung möglich.

Diskussion

Es zeigt sich, dass bei der Verwendung von Multi-Spin-Echo-Sequenzen zur B_1^+ -Bestimmung das Nutzen von Phasen unterschiedlicher Echos zu Artefakten in den B_1^+ -Karten führen kann. Besonders bei größeren Inhomogenitäten des Hauptfeldes oder inhomogenen B_1^+ -Sendefeldern kann dies zu Problemen führen. Dies kann vor allem bei der kombinierten T_2 und B_1^+ -Bestimmung mittels einer einzelnen Multi-Spin-Echo Messung problematisch werden. Die verbesserte Auswertung unterdrückt diese Artefakte weitestgehend. Dies kann auch nachträglich auf alten Daten geschehen.

Referenzen

1. Sacolick LI, Wiesinger F, Hancu I, Vogel MW. B1 mapping by Bloch-Siebert shift. Magn Reson Med 2010; 63: 1315–1322.
2. Sturm VJF, Basse-Lüsebrink TC, Kampf T, Stoll G, Jakob PM. Improved encoding strategy for CPMG-based Bloch-Siebert B1(+) mapping. Magn Reson Med 2012; 68:507–515
3. Bain AD, Anand CK, Nie Z. Exact solution of the CPMG pulse sequence with phase variation down the echo train: Application to R2 measurements. Journ Magn Reson 2010; 209: 183-194

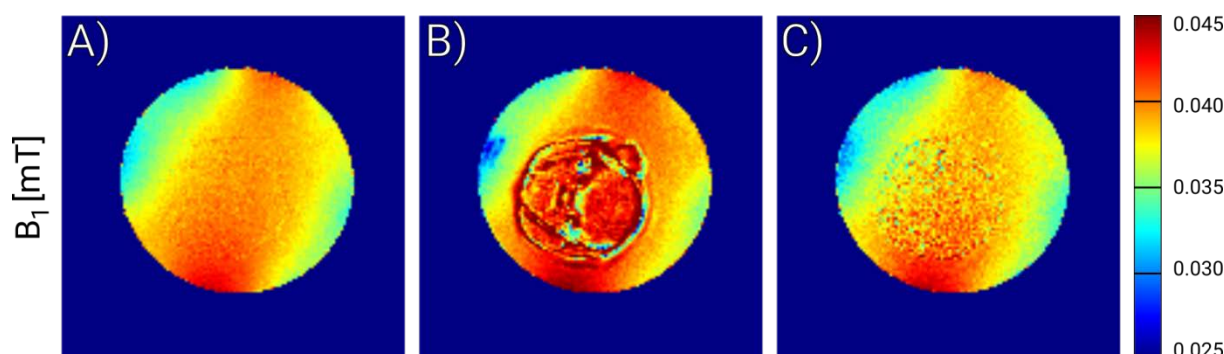


Abbildung 1: Berechnete B_1^+ Karten aufgenommen mit Bloch Siebert basierten CPMG Sequenzen. Die gleichzeitig mit aufgenommenen T_2 Karten werden hier nicht gezeigt. A) B_1^+ Karte berechnet aus 2 bis auf die BS Kodierung identischen Echozügen. B) B_1^+ Karte berechnet aus einem Echozug, in dem aufeinanderfolgende Echos unterschiedliche BS Kodierung aufweisen. C) B_1^+ Karte berechnet aus einem Echozug, in dem aufeinanderfolgende Echos unterschiedliche BS Kodierungen aufweisen unter Berücksichtigung der auftretenden Phasenfehler.