

Rubrikherausgeber

S. Delorme, Heidelberg (Leitung)
P. Reimer, Karlsruhe
W. Reith, Homburg/Saar
C. Schäfer-Prokop, Amersfoort
C. Schüller-Weidekamm, Wien
M. Uhl, Freiburg

F. Schick

Sektion für Experimentelle Radiologie, Abteilung für Diagnostische
und Interventionelle Radiologie, Eberhard Karls Universität Tübingen, Tübingen

Bildkontraste bei statischen Aufnahmen in der klinischen Magnetresonanztomographie

Teil 2: Sequenzen für verschiedene Kontraste und Anwendungen

Zusammenfassung

Der zweite Teil der Weiterbildung geht auf Sequenztechniken in der Magnetresonanztomographie (MRT) und auf die passenden Messparameter für verschiedene Kontrastgewichtungen ein. Er baut dabei auf den kürzlich erschienenen ersten Teil auf, der sich mit den relevanten Gewebeeigenschaften für die wichtigsten Kontrastmechanismen befasste. Außerdem werden die Charakteristika der Kontrastgewichtungen an Bildbeispielen von gesunden Probanden erläutert. Typische klinische Anwendungen für die Kontrastgewichtungen werden angesprochen. Sequenztechniken für folgende Kontraste sind enthalten: Protonendichte (d. h. Wasserstoffdichte an kleinen beweglichen Molekülen), Relaxationszeiten T_1 und T_2 , chemische Verschiebung (Wasser und Fett), Effekte der magnetischen Suszeptibilität, eingeschränkte Diffusionsbewegung der Wassermoleküle sowie Magnetisierungstransfer zwischen Makromolekülen und Wassermolekülen.

Schlüsselwörter

Sequenztechniken · Kontrastgewichtung · Fett-Wasser-Bildgebung · Suszeptibilitätseffekte · Magnetisierungstransfer

Hinweis

Teil 1 dieser Fortbildung zum Thema "Kontrastgebende Gewebeeigenschaften" erschien in Ausgabe 05/2013.

Für die Protonendichtegewichtung eignen sich Spinecho-, Fast-Spinecho- und Gradientenechosequenzen

Lernziele**Nach Lektüre dieses Beitrags ...**

- kennen Sie die geeigneten Sequenztypen für verschiedene Kontrastgewichtungen.
- kennen Sie die Bedeutung der kontrastrelevanten Aufnahmeparameter.
- wissen Sie mehr über typische klinische Anwendungen der Kontrastgewichtungen.

Einleitung

Bei den meisten Aufnahmen in der Magnetresonanztomographie (MRT) wird die empfangene Signalintensität aus einem Gewebereich direkt in den Grauwert der entsprechenden Bildelemente übersetzt, wobei hellere Grautöne stärkere Signalintensität anzeigen. Für die Signalausbeute spielen nicht nur die gewählte Aufnahmesequenz, die Messparameter und das untersuchte Gewebe eine Rolle, sondern auch dessen Entfernung von der Empfängerspule: Spulennähere Gewebeabschnitte werden relativ heller dargestellt. Abweichungen von der einfachen Kodierung der Signalintensitäten in Grauwerte der Bildelemente zeigt **Infobox 1**.

Die im Folgenden beschriebenen Kontrastgewichtungen wurden beispielhaft an zwei verschiedenen Körperregionen an Gesunden angewandt: **Abb. 1** zeigt transversale MRT-Aufnahmen eines Kopfes und **Abb. 2** sagittale Aufnahmen eines Kniegelenks, jeweils mit unterschiedlichen Kontrastgewichtungen.

Merke: In der MRT ist der Grauwert in der Regel ein Maß für die Signalintensität, die aus dem betreffenden Gewebe empfangen wird; Gewebeart, Kontrastgewichtung der Sequenz und Abstand zur Empfängerspule spielen dabei eine wichtige Rolle.

Protonendichtegewichtete Bildgebung

Bei protonendichtegewichteten (oder rho-gewichteten) Aufnahmen wird versucht, die Einflüsse der Relaxation (und natürlich auch der anderen Kontrasteinflüsse) auf die gemessene Signalintensität zu minimieren. Im Prinzip sind sowohl Spinecho- und Fast-Spinecho-Sequenzen als auch Gradientenechosequenzen für die Protonendichtegewichtung geeignet, meist werden jedoch Spinechoverfahren verwendet (**Tab. 1**).

Bei Spinechoverfahren wird mit einer langen Repetitionszeit ($TR > 5$ s) vermieden, dass die T_1 -Relaxation die Signalausbeute stark beeinflusst. Nach 5 s sind alle Substanzen, auch die mit einer langen T_1 -Relaxationszeit, fast vollständig relaxiert. Die Echozeit sollte so kurz wie möglich ($TE < 15$ ms)

Contrast in static images in clinical magnetic resonance imaging. Part 2: Sequences for various contrast weightings and applications

Abstract

The second part of this educational article focuses on sequence techniques in magnetic resonance imaging (MRI) and on suitable parameter sets for different contrast weightings. The content is based on the recently published part 1 of this educational article providing a survey on tissue properties relevant for most important contrast mechanisms. Characteristics of contrast weightings are presented in exemplary images recorded from healthy volunteers. Typical clinical applications of the most commonly used contrast weightings are described and discussed. Sequences for the following contrast weightings are included: proton density (density of hydrogen in small mobile molecules), relaxation times T_1 and T_2 , chemical shift (water and fat), effects of magnetic susceptibility, restricted diffusion of water molecules and magnetization transfer between macromolecules and water molecules.

Keywords

Sequence techniques · Contrast weighting · Fat-water imaging · Susceptibility effects · Magnetization transfer

Infobox 1 Abweichungen von der einfachen Kodierung der Signalintensitäten in Grauwerte

Die Grauwerte (oder sogar Farbwerte) von MRT-Abbildungen des Körpers sind in manchen Fällen nicht einfach proportional zu den aufgenommenen Signalintensitäten aus den abgebildeten Geweberegionen.

- Bei Inversion-Recovery-Aufnahmen werden manchmal Realteilbilder berechnet und dargestellt, aus denen sichtbar wird, ob die Längsmagnetisierung nach Ablauf der Inversionszeit noch unter oder schon über dem Nulldurchgang gelegen hat. Bildelemente aus Regionen, bei denen die Längsmagnetisierung nahe am Nulldurchgang lag (mit sehr geringer Signalintensität), zeigen darauf einen mittleren Grauwert. Mit Zunahme der Signalintensität werden die Bildelemente heller oder dunkler als dieser mittlere Grauwert, und zwar in Abhängigkeit davon, ob die Längsmagnetisierung nach Ablauf der Inversionszeit schon positiv (über dem Nulldurchgang) oder noch negativ (unter dem Nulldurchgang) war.
- Eine weitere Ausnahme von der oben genannten Regel findet sich bei den Parameterbildern (z. B. T_1 -, T_2 - oder ADC-Karten). Für die Generierung dieser Parameterbilder (oft als „Maps“ bezeichnet) werden Serien von Aufnahmen mit einem variablen Parameter aufgenommen, und es wird definitionsgemäß nicht die Signalintensität einer einzelnen Messung wiedergegeben, sondern ein Parameter, der erst aus den Signalintensitäten der Messungen berechnet wird:
 - Variation der Inversionszeit TI bei Inversion-Recovery-Aufnahmen für die T_1 -Bestimmung;
 - Variation der Echozeit TE für die T_2 -Bestimmung;
 - Variation des b-Wertes für die ADC („apparent diffusion coefficient“)-Bestimmung bei diffusions sensitiven Aufnahmen.

Aus den gemessenen Signalintensitäten in den Serien werden mit einem geeigneten Algorithmus pixelweise die am besten passenden Werte für den interessierenden Parameter bestimmt. Die so gefundenen Werte für jedes Bildelement werden zur Darstellung der Karte oder „Map“ dann wieder mittels Grauwerten oder mit einer Farbskala kodiert.

Tab. 1 Sequenztypen und Aufnahmeparameter – protonendichte- und relaxationsbezogene Kontrastgewichtungen (T_1 -, T_2 - und T_2^* -Gewichtung)

Kontrast	Sequenztyp	Aufnahmeparameter
Protonendichtegewichtung	Spinecho, Fast-Spinecho	TR > 5 s; TE < 15 ms; Echozuglänge ≤ 7
	Gradientenecho (gespoilt)	FI relativ klein bei gegebener TR; TE möglichst kurz oder kürzester „In-phase“-Wert
T_1 -Gewichtung	Spinecho, Fast-Spinecho	300 ms < TR < 800 ms; TE < 15 ms; Echozuglänge ≤ 7
	Gradientenecho (gespoilt)	FI relativ groß bei gegebener TR; TE möglichst kurz oder kürzester „In-phase“-Wert
T_2 -Gewichtung	Spinecho, Fast-Spinecho	TR > 5 s; TE > 80 ms; Echozuglänge ≤ 35; bei unruhigen Patienten auch „Single-Shot-FSE“ möglich (z. B. mit HASTE-Sequenzen)
T_2^* -Gewichtung	Gradientenecho (gespoilt)	TE > 20 ms bei 1,5 T; TE > 10 ms bei 3,0 T FI nahe am Ernstwinkel des Hintergrundgewebes (Wert ist abhängig von TR)

In der Tabelle werden die üblichen Sequenztypen für die Standardkontraste angegeben. Teilweise können diese Kontraste auch mit weiteren Sequenztypen (z. B. EPI) erreicht werden, die in der klinischen Anwendung aber eine untergeordnete Rolle spielen. Da bei der Gradientenechobildgebung sowohl die Repetitionszeit (TR) als auch der Flipwinkel (FI) Einfluss auf die T_1 -Gewichtung nehmen, sind keine festen Grenzwerte angegeben. In der Regel wird TR aus Messzeitgründen so kurz wie möglich (oder für die Schichtanzahl nötig) gewählt und der Flipwinkel angepasst (Beispiel: Bei TR=100 ms führt FI=70° zu einer deutlichen T_1 -Gewichtung, dagegen verschwindet die T_1 -Gewichtung für FI < 15° fast vollständig.).

gewählt werden, um T_2 -Relaxations-Effekte gering zu halten. Eine Erhöhung der Lesebandbreite erlaubt meist eine Verkürzung der minimalen TE – dies führt aber zu einer Vergrößerung des Bildrauschens und damit zu einer schlechteren Sensitivität bei der Darstellung kleiner Strukturen mit geringer Signalabweichung von der Umgebung. Fast-Spinecho-Sequenzen (bei Siemens: Turbospinecho-Sequenzen) mit kurzen Echozügen (ca. ≤ 7 Echos) sind ebenfalls für protonendichtegewichtete Aufnahmen geeignet. Mit zunehmender Echozuglänge kann zwar immer mehr Messzeit eingespart werden, es ergeben sich jedoch auch zunehmend Unschärfen von Strukturen mit kurzer T_2 (z. B. Meniskusläsionen) in Phasenkodierichtung. Gradientenechosequenzen können ebenfalls protonendichtegewichtete Aufnahmen liefern, dabei muss aber stärker auf Probleme mit lokalen Suszeptibilitätseffekten und auf Wasser-Fett-Interaktionen geachtet werden. Für Regionen mit starken Suszeptibilitätseffekten sind extrem kurze Echozeiten wünschenswert (ca. 1 ms und kürzer), besonders bei hö-

Weiterbildung Radiologie

CME-Beiträge aus: Der Radiologe Juli 2013 - Dezember
2014

Delorme, S.; Reimer, P.; Reith, W.; Schäfer-Prokop, C.;
Schüller-Weidekamm, C.; Uhl, M. (Hrsg.)

2015, VIII, 254 S., Softcover

ISBN: 978-3-662-46784-8