



(19)
Bundesrepublik Deutschland
Deutsches Patent- und Markenamt

(10) **DE 10 2006 025 940 B4** 2009.11.05

(12)

Patentschrift

(21) Aktenzeichen: **10 2006 025 940.8**
(22) Anmeldetag: **02.06.2006**
(43) Offenlegungstag: **13.12.2007**
(45) Veröffentlichungstag
der Patenterteilung: **05.11.2009**

(51) Int Cl.⁸: **G01R 33/32** (2006.01)
G01R 33/565 (2006.01)
A61B 5/055 (2006.01)

Innerhalb von drei Monaten nach Veröffentlichung der Patenterteilung kann nach § 59 Patentgesetz gegen das Patent Einspruch erhoben werden. Der Einspruch ist schriftlich zu erklären und zu begründen. Innerhalb der Einspruchsfrist ist eine Einspruchsgebühr in Höhe von 200 Euro zu entrichten (§ 6 Patentkostengesetz in Verbindung mit der Anlage zu § 2 Abs. 1 Patentkostengesetz).

(73) Patentinhaber:
Siemens AG, 80333 München, DE

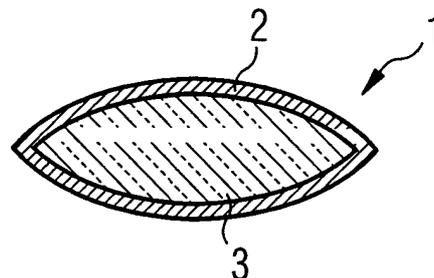
(72) Erfinder:
Candidus, Yvonne, 90587 Tuchenbach, DE;
Feiweier, Thorsten, Dr., 91099 Poxdorf, DE; Huber,
Jürgen, 91058 Erlangen, DE; Schön, Lothar, 91077
Neunkirchen, DE; Speckner, Thorsten, Dr., 91080
Marloffstein, DE

(56) Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
gezogene Druckschriften:

DE 10 2004 015859 A1
US 2002/01 64 289 A1

(54) Bezeichnung: **Dielektrisches Element, Verfahren zur Erzeugung von Magnetresonanzaufnahmen eines Untersuchungsobjekts und Verwendung des dielektrischen Elements**

(57) Hauptanspruch: Dielektrisches Element (1) zur Positionierung an einem Untersuchungsobjekt (P) zur lokalen Beeinflussung der B_1 -Feldverteilung während einer Magnetresonanzaufnahme, welches ein Relaxationsagens enthält, dadurch gekennzeichnet, dass das Relaxationsagens gebunden an voneinander separierte Partikel vorliegt.



Beschreibung

[0001] Die Erfindung betrifft ein dielektrisches Element zur Positionierung an einem Untersuchungsobjekt zur lokalen Beeinflussung der B_1 -Feldverteilung während einer Magnetresonanzaufnahme. Darüber hinaus betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Erzeugung von Magnetresonanzaufnahmen eines Untersuchungsobjekts, bei dem am Untersuchungsobjekt zur lokalen Beeinflussung der B_1 -Feldverteilung ein entsprechendes dielektrisches Element positioniert wird sowie eine Verwendung des dielektrischen Elements zur Homogenisierung eines B_1 -Feldes eines Magnetresonanzgeräts.

[0002] Bei der Magnetresonanztomographie, auch Kernspintomographie genannt, handelt es sich um eine inzwischen weit verbreitete Technik zur Gewinnung von Bildern vom Körperinneren eines lebenden Untersuchungsobjekts. Um mit diesem Verfahren ein Bild zu gewinnen, d. h. eine Magnetresonanzaufnahme eines Untersuchungsobjekts zu erzeugen, muss zunächst der Körper bzw. der zu untersuchende Körperteil des Patienten einem möglichst homogenen statischen Grundmagnetfeld (meist als B_0 -Feld bezeichnet) ausgesetzt werden, welches von einem Grundfeldmagneten der Magnetresonanz-Messeinrichtung erzeugt wird. Diesem Grundmagnetfeld werden während der Aufnahme der Magnetresonanzbilder schnellgeschaltete Gradientenfelder zur Ortskodierung überlagert, die von sog. Gradientenspulen erzeugt werden. Außerdem werden mit einer Hochfrequenzantenne HF-Pulse einer definierten Feldstärke in das Untersuchungsvolumen eingestrahlt, in dem sich das Untersuchungsobjekt befindet. Die magnetische Flussdichte dieser HF-Pulse wird üblicherweise mit B_1 bezeichnet. Das pulsformige Hochfrequenzfeld wird daher im Allgemeinen auch kurz B_1 -Feld genannt. Mittels dieser HF-Pulse werden die Kernspins der Atome im Untersuchungsobjekt derart angeregt, dass sie um einen sogenannten "Anregungsflipwinkel" (im Folgenden auch kurz "Flipwinkel" genannt) aus ihrer Gleichgewichtslage, welche parallel zum Grundmagnetfeld B_0 verläuft, ausgelenkt werden. Die Kernspins präzedieren dann um die Richtung des Grundmagnetfelds B_0 . Die dadurch erzeugten Magnetresonanzsignale werden von Hochfrequenzempfangsantennen aufgenommen. Bei den Empfangsantennen kann es sich entweder um die gleichen Antennen, mit denen auch die Hochfrequenzpulse ausgestrahlt werden, oder um separate Empfangsantennen handeln. Die Magnetresonanzbilder des Untersuchungsobjekts werden schließlich auf Basis der empfangenen Magnetresonanzsignale erstellt. Jeder Bildpunkt im Magnetresonanzbild ist dabei einem kleinen Körpervolumen, einem sogenannten "Voxel", zugeordnet und jeder Helligkeits- oder Intensitätswert der Bildpunkte ist mit der aus diesem Voxel empfangenen Signalamplitude des Magnetresonanzsignals verknüpft. Der Zusammenhang zwischen einem resonant eingestrahlt HF-Puls mit der Feldstärke B_1 und dem damit erreichten Flipwinkel α ist dabei durch die Gleichung

$$\alpha = \int_{t=0}^{\tau} \gamma \cdot B_1(t) \cdot dt \quad (1)$$

gegeben, wobei γ das gyromagnetische Verhältnis, welches für die meisten Kernspinuntersuchungen als feststehende Materialkonstante angesehen werden kann, und τ die Einwirkdauer des Hochfrequenzpulses ist. Der durch einen ausgesendeten HF-Puls erreichte Flipwinkel und somit die Stärke des Magnetresonanzsignals hängen folglich außer von der Dauer des HF-Pulses auch von der Stärke des eingestrahlt B_1 -Feldes ab. Räumliche Schwankungen in der Feldstärke des anregenden B_1 -Feldes führen daher zu unerwünschten Variationen im empfangenen Magnetresonanzsignal, die das Messergebnis verfälschen können.

[0003] Ungünstigerweise zeigen aber die HF-Pulse gerade bei hohen magnetischen Feldstärken – die aufgrund des benötigten Magnetgrundfelds B_0 in einem Magnetresonanztomographen zwangsläufig gegeben sind – ein inhomogenes Eindringverhalten in leitfähigen und dielektrischen Medien wie z. B. Gewebe. Dies führt dazu, dass das B_1 -Feld innerhalb des Messvolumens stark variieren kann. Insbesondere bei sogenannten Ultrahochfeld-Magnetresonanzuntersuchungen, bei denen modernere Magnetresonanzsysteme mit einem Grundmagnetfeld von drei Tesla oder mehr verwendet werden, müssen daher besondere Maßnahmen getroffen werden, um eine möglichst homogene Verteilung des transmittierten HF-Felds der Hochfrequenzantenne im gesamten Volumen zu erreichen.

[0004] Ein einfacher, aber effektiver Ansatz zur Lösung des Problems besteht darin, die (di-)elektrische Umgebung des Untersuchungsobjekts in geeigneter Weise zu modifizieren, um unerwünschte Inhomogenitäten auszugleichen. Hierzu können beispielsweise dielektrische Elemente mit definierter Dielektrizitätskonstante und Leitfähigkeit im Untersuchungsvolumen z. B. unmittelbar am Patienten oder auf dem Patienten positioniert werden. Das Material dieser dielektrischen Elemente sollte eine möglichst hohe Dielektrizitätskonstante, bevorzugt $\epsilon \geq 50$, aufweisen. Das dielektrische Material sorgt so für eine dielektrische Fokussierung. Andererseits sollte das Material des dielektrischen Elements eine nicht zu hohe Leitfähigkeit aufweisen, da aufgrund des Skin-Effekts eine zu hohe Leitfähigkeit zu hohen Wirbelströmen insbesondere im Oberflächenbereich des di-

elektrischen Elements führt, wodurch eine Abschirmwirkung erzeugt wird, die den dielektrischen Fokussierungseffekt wieder abschwächt. Mit Hilfe solcher dielektrischer Elemente können beispielsweise die typischerweise bei Magnetresonanzuntersuchungen eines Patienten im Brust- und Bauchbereich auftretenden HF-Feld-Minima kompensiert werden, indem auf Brust und Bauch des Patienten entsprechende dielektrische Elemente aufgelegt werden, die durch die lokale Erhöhung des eindringenden Hochfrequenzfelds die Minima wieder kompensieren.

[0005] Als dielektrisches Element wird dabei bisher beispielsweise in einem Kunststofffolienbeutel abgefülltes destilliertes Wasser mit einer Dielektrizitätskonstante von $\epsilon \approx 80$ und einer Leitfähigkeit von ca. $10 \mu\text{S}/\text{cm}$ verwendet. Leider hat die Verwendung solcher mit Wasser gefüllter "dielektrischer Kissen" den unerwünschten Nebeneffekt, dass sie in den Magnetresonanzaufnahmen sichtbar sind. Hinzu kommt, dass es durch Überfaltungseffekte dazu kommen kann, dass das dielektrische Element innerhalb der Magnetresonanzaufnahme nicht an der Stelle abgebildet wird, an der es tatsächlich auch im realen Raum positioniert ist. So kann beispielsweise durch eine Überfaltung das Kissen anstatt an der Oberkante eines MR-Bildes an der Unterkante dargestellt werden. Dies führt dazu, dass auf den Magnetresonanzaufnahmen der Eindruck entsteht, dass sich das dielektrische Element nicht auf dem Körper der Patienten, sondern im Körper befindet. Zwar ist es grundsätzlich möglich, mittels sogenannter Oversampling-Methoden ein Bild so aufzunehmen, dass das dielektrische Element an der richtigen Position ist. In einem solchen Fall kann das dielektrische Element bei der späteren Aufnahme ausgeschnitten werden bzw. es kann ein Bildausschnitt gewählt werden, welcher das dielektrische Element gar nicht erst erfasst. Andererseits sind jedoch diese Oversampling-Methoden recht zeitaufwändig und verlängern daher die Messzeit.

[0006] Weiterhin wurde als dielektrisches Element bereits in einer früheren Anmeldung des gegenwärtigen Anmelders DE 10 2004 015 859 A1 ein "dielektrisches Kissen" mit einer ein Relaxationsagens enthaltenden Füllung, insbesondere einer Gelfüllung, statt der oben beschriebenen Füllung mit destilliertem Wasser vorgeschlagen, durch welches die oben beschriebenen Probleme teilweise gelöst werden konnten. Relaxationsagenzien werden z. B. auch in der US 2002/0164289 A1, an pharmazeutische Zusammensetzungen gebunden, in Kontrastmitteln eingesetzt, dort allerdings, um die Relaxationszeiten zur besseren Sichtbarmachung des Kontrastmittels zu verlängern.

[0007] Die besagten Kissen zeigen jedoch einen unerwünschten Einfluss auf das B_0 -Feld. Dies kann zu lokalen geometrischen Bildverzerrungen und, bei Verwendung spektral selektiver Hochfrequenzpulse, zu einer inhomogenen Fettsättigung führen. Zudem ist die Homogenisierung des transmittierten HF-Feldes noch nicht optimal.

[0008] Es ist daher eine Aufgabe der vorliegenden Erfindung, ein dielektrisches Element sowie ein Verfahren zur Erzeugung von Magnetresonanzaufnahmen unter Verwendung dielektrischer Elemente derart weiterzuentwickeln, dass auf einfache Weise Störungen in den Magnetresonanzaufnahmen durch die positionierten dielektrischen Elemente, insbesondere auch eine B_0 -Feldverzerrung, weiter reduziert oder sogar ganz vermieden werden.

[0009] Diese Aufgabe wird durch ein dielektrisches Element gemäß Patentanspruch 1, ein Verfahren gemäß Patentanspruch 17 und eine Verwendung des dielektrischen Elements gemäß Patentanspruch 18 gelöst.

[0010] Erfindungsgemäß wird dafür gesorgt, dass das dielektrische Element ein Relaxationsagens enthält, das die Relaxationszeit des dielektrischen Elements herabsetzt, welches an voneinander separierte Partikel gebunden ist. Dabei werden sowohl die T_1 -Relaxationszeit als auch die T_2 -Relaxationszeit herabgesetzt. Die Herabsetzung kann dabei, je nach verwendetem Material des dielektrischen Elements und Relaxationsagens, um bis zu 3 Größenordnungen betragen. D. h. dass beispielsweise die Relaxationszeit eines dielektrischen Elements, welches ohne den Zusatz des Relaxationsagens eine Relaxationszeit in der Größenordnung von 1 s hätte, durch das Relaxationsagens auf unter 1 ms abgesenkt werden kann. Das Relaxationsagens sorgt folglich dafür, dass die Relaxationszeiten des diagnostisch irrelevanten dielektrischen Elements kürzer sind als die üblicherweise verwendeten Evolutionszeiten, d. h. die Zeiten zwischen Anregungspuls und Datenempfang. Somit wird dieses dielektrische Element in den Magnetresonanzbildern bei den meisten Anwendungen praktisch unsichtbar und es ist eine störungsfreie Messung möglich. Da in den Bildern letztlich die erfindungsgemäßen dielektrischen Elemente nicht sichtbar sind, kann auf eine zusätzliche Investition von Messzeit zur Vermeidung von Überfaltungsartefakten verzichtet werden. Dabei können bei dem erfindungsgemäßen Verfahren übliche Bildgebungssequenzen unverändert und somit ohne Performanceeinbußen eingesetzt werden. Dennoch wird auf einfache Weise der gewünschte Homogenisierungseffekt des B_1 -Feldes erreicht.

[0011] Durch die Bindung des Relaxationsagens an feste Partikel und die damit verbundene Immobilisierung wird – anders als bei den in der eingangs genannten DE 10 2004 015 859 A1 beschriebenen dielektrischen Elementen – das Einbringen von freien Ladungsträgern in das dielektrische Element weitgehend vermieden. Dadurch wird die Leitfähigkeit des Materials des dielektrischen Elements, beispielsweise der Füllung eines dielektrischen Kissens, deutlich verringert. Dies führt zu einer Reduzierung des abschirmenden Effektes und somit insgesamt zu einer wesentlich stärkeren Homogenisierungswirkung. Um die gleiche Beeinflussung des B_1 -Felds zu erreichen, kann daher ein schwächeres dielektrisches Element eingesetzt werden als bisher. Dies führt zu einer wesentlich geringeren Beeinflussung des B_0 -Felds, womit die damit verbundenen, oben beschriebenen störenden Effekte verhindert werden können.

[0012] Die abhängigen Ansprüche enthalten jeweils besonders vorteilhafte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der Erfindung, wobei insbesondere auch die erfindungsgemäßen dielektrischen Elemente entsprechend den abhängigen Verfahrensansprüchen weitergebildet sein können und umgekehrt.

[0013] Besonders als Relaxationsagentien geeignet sind paramagnetische Substanzen. Die paramagnetischen Atome dieser Substanzen sorgen für lokale Verzerrungen des B_0 -Felds. Für ein sich in diesem lokal inhomogenen Feld bewegendes Wasserstoffatom wirkt sich dies als zeitlich fluktuierendes B_0 -Feld aus. Sofern die Frequenz der Fluktuationen Komponenten bei der Larmorfrequenz aufweist, sind diese relaxationswirksam. Beispiele für solche paramagnetischen Substanzen sind Substanzen, welche eines oder mehrere der folgenden chemischen Elemente – zumeist mit von Null verschiedener Oxidationszahl – aufweisen: Gadolinium, Europium, Eisen, Chrom, Nickel, Kupfer und/oder Mangan. Bevorzugt ist hierbei Mangan, insbesondere in der Form des positiv geladenen Ions Mn^{2+} .

[0014] Aufgrund der starken Relaxationswirksamkeit von Mn^{2+} genügt die Verwendung einer geringen Konzentration, um eine hinreichende Unsichtbarkeit des Kissens im Bild zu erreichen. Dies verringert die Beeinflussung des B_0 -Felds noch weiter.

[0015] Besonders bevorzugt liegt das Relaxationsagens, insbesondere bei Verwendung einer paramagnetischen Substanz, in einer Konzentration von 10 bis 200 mmol/kg, ganz besonders bevorzugt 30 bis 100 mmol/kg, bezogen auf das dielektrische Material des dielektrischen Elements, z. B. bei einem Gelfkissen bezogen auf die Gelfüllung.

[0016] In einer bevorzugten Ausführungsform weist das dielektrische Element eine von einer äußeren Festkörperhülle umgebene dielektrische Füllung auf, insbesondere auf Basis von Wasser, welche das Relaxationsagens gebunden an voneinander separierte Partikel enthält. Bei einem solchen dielektrischen Element in Form eines Kissens enthält folglich die Füllung des Kissens, welche bisher aus einfachem Wasser oder einem wässrigen Gel besteht, nun erfindungsgemäß zusätzlich voneinander separierte Partikel, an welche ein Relaxationsagens gebunden ist, welches die Relaxationszeit der Füllung herabsetzt.

[0017] Durch die Bindung des Relaxationsagens an feste Partikel kann im Übrigen eine eventuelle Gefährdung durch freie Metallionen des Relaxationsagens, die zum Teil toxisch sein können, reduziert bzw. ausgeschlossen werden, auch wenn es bei einer Beschädigung der äußeren Festkörperhülle zu einem Austritt der Füllung und einem Hautkontakt kommen sollte.

[0018] Für die Festkörperhülle ist im Prinzip jedes MR-stumme, hinreichend diffusionsdichte und mit einem MR-System kompatible Material geeignet. Die Festkörperhülle wird insbesondere aus einem organischen Polymer wie beispielsweise thermoplastischen Elastomeren, besonders bevorzugt aus Weich-PVC, Polyethylen oder Polypropylen gebildet. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Festkörperhülle aus einem Laminat mit mindestens zwei Lagen zu bilden, welche aus einem oder mehreren organischen Polymeren oder einem Gewebe gefertigt sein können. Beispielsweise kann eine diffusionsdichte Innenseite mit einer bio(haut)verträglichen Außenseite kombiniert werden. Eine Gewebelage (beispielsweise aus Aramid-Fasern wie z. B. Kevlar) kann insbesondere zum Schutz vor mechanischer Beschädigung einlaminiert werden.

[0019] In einer besonders bevorzugten Ausführungsform sind die Partikel, an welche das Relaxationsagens gebunden ist, in einem Gel, vorzugsweise einem wässrigen Gel, enthalten. D. h., dass die voneinander separierten Partikel, an die das Relaxationsagens gebunden ist, von dem Gel in dem dielektrischen Element in möglichst homogener Verteilung fixiert werden und somit gleichmäßig verteilt bleiben und sich nicht aufgrund des Dichteunterschieds separieren können. Dies hat auch den Vorteil, dass das dielektrische Element bei der Magnetresonanzmessung seine äußere Form – insbesondere seine Dicke – im Wesentlichen beibehält und damit der angestrebte Homogenisierungseffekt gleichmäßig erzielt wird. Neben der Formtreue werden auch die

Handhabung erleichtert und der Lagerungskomfort verbessert. So ist in der Regel für den Patienten ein gelhaltiges Kissen während einer Magnetresonanzmessung angenehmer als ein flüssigkeitsgefülltes dielektrisches Element, das zur Wahrung der Formtreue mit einer starren Hülle versehen ist. Ein weiterer Vorteil eines feste Partikel enthaltenden Gels, welches beispielsweise in einem Kissen enthalten ist, besteht darin, dass die Füllung und damit möglicherweise schädliche Substanzen nicht so leicht austreten können, falls die Hülle beschädigt wird.

[0020] Als Alternative zu einer Gelfüllung ist es bei einer Füllung ohne Gel möglich, eine kompartimentierte Hülle, beispielsweise mit Stegen im Inneren, einzusetzen, um die Formtreue des dielektrischen Elements zu verbessern.

[0021] Als Gelbildner können sämtliche Materialien verwendet werden, die toxikologisch unbedenklich sind und in Gegenwart der gewünschten Konzentration an paramagnetischer Substanz sowie in Gegenwart der voneinander separierten Partikel in der Lage sind, ein Gel mit der gewünschten Konsistenz zu bilden. Beispielsweise kann Natriumpolyacrylat verwendet werden, welches homogen verteilt oder vorzugsweise in Form eines trockenen vernetzten Natriumpolyacrylatpulvers, welches eine Teilchengröße von maximal 0,5 mm, bevorzugt unter ca. 0,2 mm, aufweist, eingesetzt wird. Größere Teilchengrößen können dazu führen, dass das finale Gel weniger homogen ist. Allgemein gilt hierbei, dass, je kleiner die Teilchengröße, umso homogener das resultierende Gel ist. Weiterhin können als Gelbildner bzw. zur Einstellung einer hohen Viskosität bzw. eines thixotropen oder strukturviskosen Fließverhaltens Agarose, Polysaccharide, Polyacrylsäure, Polyvinylpyrrolidon, Polyvinylalkohol, Polyacrylamid oder sowie modifizierte Stärke oder Cellulose verwendet werden.

[0022] Das zugrunde liegende Acrylatmonomer kann ebenfalls substituiert sein (z. B. durch Alkyl-, Alkoxy- oder Hydroxyalkylgruppen). Auch Copolymere mit ggf. substituiertem Acrylamid sind einsetzbar.

[0023] Der Gelbildner liegt im Allgemeinen in einer Konzentration von 0,1–10 Gew.-%, vorzugsweise von ca. 0,5–5 Gew.-%, vor.

[0024] Das Gel kann darüber hinaus ein Konservierungsmittel enthalten, das insbesondere in einem Anteil von mehr als 20 Gew.-%, vorzugsweise mit ca. 25 Gew.-%, vorliegt. Beispiele für das Konservierungsmittel sind 1,2-Propandiol, Ethanol oder 2-Propanol.

[0025] Besonders vorteilhaft ist, dass als Basiszusammensetzung für das dielektrische Element auch ein handelsübliches Ultraschallkontaktgel auf Wasserbasis verwendet werden kann, das bereits Gelbildner und ggf. Konservierungsmittel enthält.

[0026] Die voneinander separierten Partikel, an welche das Relaxationsagens gebunden ist, werden vorzugsweise von einem Ionenaustauschermaterial, insbesondere einem Kationenaustauschermaterial gebildet. Das Kationenaustauschermaterial wird beispielsweise mit positiv geladenen Ionen des Relaxationsagens beladen, die durch negativ geladene Gruppen des Ionenaustauschermaterials gebunden werden. Stark saure Kationenaustauschermaterialien sind dabei besonders bevorzugt, da sie für eine festere ionische Bindung der positiven Ionen sorgen.

[0027] Ein Beispiel für ein geeignetes Kationenaustauschermaterial ist ein mit Sulfonsäuregruppen funktionalisiertes Copolymer von Styrol und Divinylbenzol, wie es beispielsweise unter der Bezeichnung Dowex® 50 WX8 (Partikelgröße ca. 40–80 µm) von der Dow Chemical Company erhältlich ist. Andere Copolymere sowie andere negativ geladene Gruppen zur Funktionalisierung können aber ebenfalls verwendet werden. Weitere konkrete Beispiele für mögliche Ionenaustauscher, die in der vorliegenden Erfindung verwendet werden können, sind z. B. Lewatit® von Lanxess oder Amberlite®, Amberlyst®, Amberjet®, Duolite® von Rohm und Haas.

[0028] Die voneinander separierten Partikel, an die das Relaxationsagens gebunden ist, beispielsweise die Partikel des Ionenaustauschermaterials weisen vorzugsweise eine Größe von < 0,5 mm, insbesondere < 0,1 mm auf. Möglichst feine Partikel (bis zu einer Untergrenze von ca. 10 µm) sind besonders bevorzugt, da einerseits dadurch der Abstand zwischen den Partikeln möglichst klein gehalten wird und andererseits Entmischungstendenzen aufgrund des Dichteunterschieds zwischen den Partikeln und der meist wässrigen Umgebung verringert werden.

[0029] Die Erfindung wird im Folgenden unter Hinweis auf die beigefügten Figuren anhand von Ausführungsbeispielen noch einmal näher erläutert. Es zeigen:

- [0030] [Fig. 1](#) eine schematische Darstellung eines dielektrischen Kissens,
- [0031] [Fig. 2a](#) eine schematische Darstellung eines auf einer Liege positionierten Patienten bei Einstrahlung eines B_1 -Felds ohne dielektrisches Kissen,
- [0032] [Fig. 2b](#) eine schematische Darstellung des Patienten gemäß [Fig. 2a](#) bei Einstrahlung eines B_1 -Felds unter Positionierung eines dielektrischen Kissens gemäß [Fig. 1](#) auf dem Bauch des Patienten,
- [0033] [Fig. 3](#) die Effekte verschiedener dielektrischer Kissen auf das B_0 -Feld,
- [0034] [Fig. 4](#) die Effekte verschiedener dielektrischer Kissen auf das B_1 -Feld,
- [0035] [Fig. 5](#) Ergebnisse der Messung der MR-Stummheit verschiedener dielektrischer Kissen.
- [0036] Bei dem in [Fig. 1](#) dargestellten dielektrischen Element handelt es sich um ein dielektrisches Kissen **1**, bestehend aus einer äußeren Hülle aus Kunststoffolie **2** und einer Füllung **3**, welche eine paramagnetische Substanz gebunden an Partikel eines Kationenaustauschers enthält. Bei der Kunststoffolie **2** handelt es sich um ein bioverträgliches Material, welches relativ dünn, aber dennoch ausreichend stabil ist, um ein Austreten der darin befindlichen Füllung **3** zu vermeiden. Vorzugsweise ist die Kunststoffolie **2** rundum verschweißt.
- [0037] Zusätzlich kann das dielektrische Kissen **1** im Einsatz noch mit einem waschbaren Kissenbezug überzogen werden, welcher vor einer Nutzung des dielektrischen Kissens **1** an einem anderen Patienten gewechselt werden kann. Vorteilhafterweise ist die Kunststoffhülle **2** mit üblichen Mitteln desinfizierbar.
- [0038] In dem konkreten Ausführungsbeispiel handelt es sich bei der Füllung **3** um ein wässriges Natriumpolyacrylatgel, das Partikel des stark sauren Kationenaustauschers Dowex[®] 50 WX8 enthält, der mit Mn^{2+} -Ionen beladen ist. Der verwendete Kationenaustauscher wies die folgenden Kenndaten auf: Feuchtigkeitsgehalt ca. 50 Gew.-%, Ionenaustauschkapazität: 4,8 meq/g, Mn-Gehalt ca. 11 Gew.-% bezogen auf die Trockensubstanz. Die Mn^{2+} -Konzentration der fertigen Zubereitung betrug 56 mmol/kg.
- [0039] Diese spezielle Füllung **3** hat den Vorteil, dass sie neben den gewünschten Eigenschaften, eine Homogenisierung des transmittierten und empfangenen HF-Feldes herbeizuführen und in MR-Bildern unsichtbar zu sein, für den Patienten vollkommen ungefährlich ist.
- [0040] Der Effekt eines solchen dielektrischen Elements **1** zur Homogenisierung des B_1 -Felds bei einer Magnetresonanzaufnahme ist anhand der [Fig. 2a](#) und [Fig. 2b](#) schematisch dargestellt.
- [0041] [Fig. 2a](#) zeigt einen auf einer Patientenliege **4** innerhalb eines Magnetresonanztomographen (nicht dargestellt) befindlichen Patienten P. Von einer Hochfrequenzantenne des Magnetresonanztomographen wird ein B_1 -Feld ausgesandt, welches hier schematisch durch Feldlinien dargestellt ist. Die Dichte der Feldlinien B_1 soll die Stärke des B_1 -Felds repräsentieren. Im Bauchbereich des Patienten P ist ein lokales Minimum des B_1 -Felds dargestellt, welches üblicherweise im Bauch- und Brustbereich des Patienten bei einer Magnetresonanzaufnahme unter realen Bedingungen auftritt. In diesem Bereich sind die Feldlinien weniger dicht als in den übrigen Bereichen.
- [0042] Dieser Effekt wird durch Auflegen eines dielektrischen Kissens **1** gemäß [Fig. 1](#) auf den Bauch des Patienten P kompensiert. Dies ist in [Fig. 2b](#) schematisch dargestellt. Durch das dielektrische Kissen **1** kommt es zu einer lokalen Erhöhung des B_1 -Felds im Bereich des Kissens **1**, wodurch insgesamt die Feldinhomogenität wieder aufgehoben wird, so dass ein homogeneres B_1 -Feld vorliegt als ohne das dielektrische Kissen **1**.
- [0043] [Fig. 3](#) zeigt einen Vergleich der Effekte verschiedener Kissen auf das B_0 -Feld eines Magnetresonanztomographen.
- [0044] Insbesondere zeigt [Fig. 3](#) den Effekt eines bekannten Produktkissens K_1 gemäß der DE 10 2004 015 859 A1 (Wasser, 1,2-Propandiol, Gelbildner (vernetztes Natriumpolyacrylatpulver), Gd-DPTA (Gadopentetsäure)), den Effekt eines Kissens K_2 gemäß der vorliegenden Erfindung (Ultraschallgel (bestehend aus Wasser, 1,2-Propandiol, Gelbildner Natriumpolyacrylat), Mn-beladener Ionenaustauscher) und den Effekt eines Referenzkissens K_3 (wie das Kissen K_2 , aber ohne Mn-beladenen Ionenaustauscher). Zusätzlich wurden einige Messungen ohne Kissen aufgeführt.

[0045] Untersuchungsobjekt war in allen Fällen ein zylinderförmiges Wasserphantom (dotiert mit Nickelsulfat). Die Kantenlänge des aufgenommenen Bildbereichs beträgt 500 mm × 500 mm. Alle Messungen wurden bei einer Feldstärke von 3T durchgeführt.

[0046] In [Fig. 3](#) ist dabei die Vermessung eines unerwünschten Effekts, nämlich der Verzerrung des magnetischen Grundfeldes B_0 dargestellt. Die Streifen können als Höhenlinien des B_0 -Feldes interpretiert werden. In der oberen Bilderreihe ändert sich das B_0 -Feld pro Linie um 0,4 ppm, in der unteren Bilderreihe pro Linie um 0,1 ppm. Das rechte Bild in der unteren Reihe zeigt – bezüglich der B_0 -Feld-Verzerrung – den Idealfall, in dem es keine zusätzlichen Effekte durch aufgelegte Kissen gibt. Dieses rechte Bild ist als Referenz zu betrachten. Je mehr das B_0 -Profil von dieser Referenz abweicht, um so stärker ist der unerwünschte B_0 -Verzerrungs-Effekt ausgeprägt. Das Kissen K_3 ohne Relaxationsagens und das erfindungsgemäße Kissen K_2 zeigen ein sehr ähnliches Muster, das nur geringfügig von der Referenz abweicht – die B_0 -Verzerrung ist in diesen Fällen gering ausgeprägt. Anders sieht es für das bekannte Produktkissen K_1 aus; hier sieht man deutlich die auftretenden Verzerrungen des B_0 -Feldes.

[0047] Dass in den in [Fig. 3](#) gezeigten Aufnahmen das B_0 -Profil des Phantoms mit dem Kissen K_3 ohne Relaxationsagens nicht vollständig identisch wie das Referenzprofil (ohne Kissen) aussieht, obwohl hier ja keine paramagnetischen Ionen im Kissen R_3 vorhanden sind, hat im Übrigen zwei wesentliche Ursachen: a) das Kissen K_3 ist sichtbar, und wird darum im Rahmen der objektspezifischen B_0 -Optimierung ("Shimming") mit berücksichtigt, b) die Intensitätsverteilung im Phantom ändert sich aufgrund des B_1 -Formungseffektes – auch dies hat Auswirkungen auf das Shimmen.

[0048] [Fig. 4](#) zeigt die B_1 -Effekte der verschiedenen dielektrischen Kissen K_1 , K_2 , K_3 , welche wie in [Fig. 3](#) bezeichnet sind. Ziel war hier die Demonstration des erwünschten Effekts, nämlich der Formung des B_1 -Feldes im Objekt. In der Referenzmessung ohne Kissen (rechts) sieht man die dielektrische Fokussierung mit einer hohen B_1 -Amplitude im Zentrum des Phantoms und geringer Amplitude am Rand. Jedes der vermessenen dielektrischen Kissen K_1 , K_2 , K_3 vermag es, das B_1 -Feld in der Nähe des Kissens (letzteres ist mit Ausnahme des Kissens K_3 ohne Relaxationsagens in den Bildern unsichtbar, aber immer auf der linken Bildseite positioniert) anzuheben. Der Effekt ist in dem erfindungsgemäßen Kissen K_2 und dem Kissen K_3 ohne Relaxationsagens sogar etwas stärker ausgeprägt als im bekannten Produktkissen K_1 .

[0049] Der physikalische Grund dafür ist der folgende: das bekannte Produktkissen K_1 enthält einen signifikanten Anteil freier Ionen, die zur Leitfähigkeit des Materials beitragen. Eine höhere Leitfähigkeit bedingt allerdings einen B_1 -abschirmenden Effekt, der dem gewünschten B_1 -Anhebungseffekt entgegen wirkt. In dem Kissen K_3 ohne Relaxationsagens und dem erfindungsgemäßen Kissen K_2 – bedingt durch das Prinzip des Ionenaustauschers – sind deutlich weniger freie Ionen vorhanden, die Leitfähigkeit des Gels ist in diesen Fällen geringer. Der Abschirmungseffekt spielt in diesen Kissen darum eine kleinere Rolle, so dass das erfindungsgemäße Kissen K_2 den bisher bekannten Kissen K_1 klar überlegen ist.

[0050] [Fig. 5](#) zeigt das Ergebnis einer Untersuchung der Magnetresonanz-Stummheit (Unsichtbarkeit) der verschiedenen dielektrischer Kissen K_1 , K_2 , K_3 . Diese sind wieder wie in den [Fig. 3](#) und [Fig. 4](#) bezeichnet.

[0051] Ein wesentlicher Aspekt des dielektrischen Kissens K_2 gemäß der vorliegenden Erfindung ist wie bereits beschrieben eine hinreichende Unsichtbarkeit in MR-Bildern. Kritisch sind hier Bilder mit kurzen Evolutionszeiten TE; kürzeste diagnostisch verwendete Zeiten liegen z. Zt. bei ca. 0,5 bis 1,0 ms – entsprechende Bilder sind in [Fig. 5](#) dargestellt (obere Bildreihe TE = 0,6 ms; unter Bildreihe TE = 1 ms). Während das Kissen K_3 ohne Relaxationsagens im Bild deutlich sichtbar ist, sind sowohl das bekannte Produktkissen K_1 als auch das das erfindungsgemäße Kissen K_2 unsichtbar. Zur Quantifizierung wurde die mittlere Bildintensität im Bereich der Kissen ausgewertet (Die Regionen sind in den Bildern mit einem Kreis gekennzeichnet). Trotz der geringeren Mn^{2+} -Konzentration ist das das erfindungsgemäße Kissen K_2 ähnlich unsichtbar wie das bekannte Produktkissen K_1 .

[0052] Insgesamt ergibt sich folgendes Fazit:

- Das erfindungsgemäße Kissen K_2 zeigt einen stärkeren B_1 -Formungseffekt als das bekannte Produktkissen K_1 , welcher z. B. genutzt werden kann, um das Kissen kleiner, d. h. leichter zu machen.
- Das erfindungsgemäße Kissen K_2 zeigt eine schwächere B_0 -Verzerrung als das bekannte Produktkissen K_1 .
- Das erfindungsgemäße Kissen K_2 ist ähnlich unsichtbar wie das bekannte Produktkissen K_1 .

[0053] Das erfindungsgemäße Kissen K_2 gemäß der vorliegenden Erfindung ist demnach dem bekannte Pro-

duktkissen K_1 überlegen und daher vorzuziehen.

[0054] Dieses wurde ebenfalls bei ersten Messungen an Patienten/Probanden bestätigt.

[0055] Abschließend wird noch die Herstellung des konkreten Füllmaterials gemäß der vorliegenden Erfindung, das bei den in den [Fig. 3](#) bis [Fig. 5](#) dargestellten Messungen in dem erfindungsgemäßen Kissen K_2 verwendet wurde, beschrieben.

[0056] 3300 g Ultraschallgel (74 Gew.-% Wasser, 25 Gew.-% 1,2-Propandiol und ca. 1 Gew.-% Natriumpolyacrylat) wurden in einem 5 l-Becherglas vorgelegt. Anschließend wurden unter Rühren portionsweise 200 g Dowex® 50 WX8, beladen mit ca. 11 Gew.-% Mangan bezogen auf die Trockensubstanz, zugegeben. Nach 15 min Rührzeit war das Ionenaustauscherpulver homogen im Ultraschallgel verteilt.

[0057] Dieses Gel wurde in eine Kissenhülle aus Polyethylen gefüllt, die anschließend verschweißt wurde, wobei die Kissengeometrie 35 cm × 25 cm × 4 cm betrug.

[0058] Es wird abschließend noch einmal darauf hingewiesen, dass es sich bei dem vorhergehend detailliert beschriebenen Verfahrensablauf sowie bei dem dargestellten dielektrischen Kissen lediglich um Ausführungsbeispiele handelt, welche vom Fachmann in verschiedenster Weise modifiziert werden können, ohne den Bereich der Erfindung zu verlassen. Obwohl die Erfindung im Wesentlichen am Beispiel von Magnetresonanzgeräten im medizinischen Bereich beschrieben wurde, sind die Einsatzmöglichkeiten der Erfindung nicht auf diesen Bereich beschränkt, sondern die Erfindung kann ebenso auch in wissenschaftlichen und/oder industriell genutzten Magnetresonanzgeräten verwendet werden.

Patentansprüche

1. Dielektrisches Element (1) zur Positionierung an einem Untersuchungsobjekt (P) zur lokalen Beeinflussung der B_1 -Feldverteilung während einer Magnetresonanzaufnahme, welches ein Relaxationsagens enthält, **dadurch gekennzeichnet**, dass das Relaxationsagens gebunden an voneinander separierte Partikel vorliegt.

2. Dielektrisches Element nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Relaxationsagens eine paramagnetische Substanz umfasst.

3. Dielektrisches Element nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die paramagnetische Substanz mindestens ein chemisches Element enthält, das ausgewählt ist aus Gadolinium, Europium, Eisen, Chrom, Nickel, Kupfer und Mangan.

4. Dielektrisches Element nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass das chemische Element in der paramagnetischen Substanz Mangan, insbesondere in der Form von Mn^{2+} , ist.

5. Dielektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass das Relaxationsagens in einer Konzentration von 10 bis 200 mmol/kg, ganz besonders bevorzugt 30 bis 100 mmol/kg, bezogen auf das dielektrische Material des dielektrisches Elements, vorliegt.

6. Dielektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass das dielektrische Element (1) eine von einer äußeren Festkörperhülle (2) umgebene dielektrische Füllung (3) aufweist, welche das Relaxationsagens gebunden an voneinander separierte Partikel enthält.

7. Dielektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die voneinander separierten Partikel, an welche das Relaxationsagens gebunden ist, in einem Gel enthalten sind.

8. Dielektrisches Element nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Gel ein wässriges Gel ist.

9. Dielektrisches Element nach Anspruch 7 oder 8, dadurch gekennzeichnet, dass das Gel aus dem Gelbildner Natriumpolyacrylat gebildet wird.

10. Dielektrisches Element nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, dass das Natriumpolyacrylatgel aus einem trockenen Natriumpolyacrylatpulver gebildet wird, wobei das Pulver eine Teilchengröße von maximal 0,5 mm, bevorzugt unter 0,2 mm, aufweist.

11. Dielektrisches Element nach einem der Ansprüche 9 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass der Gelbildner in einer Konzentration von 0,1–10 Gew.-%, vorzugsweise 0,5–5 Gew.-%, vorliegt.
12. Dielektrisches Element nach einem der Ansprüche 7 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass das Gel weiterhin ein Konservierungsmittel enthält.
13. Dielektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 12, dadurch gekennzeichnet, dass die voneinander separierten Partikel ein Ionenaustauschermaterial umfassen.
14. Dielektrisches Element nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass das Ionenaustauschermaterial einen Kationenaustauscher umfasst.
15. Dielektrisches Element nach Anspruch 14, dadurch gekennzeichnet, dass der Kationenaustauscher ein insbesondere mit Sulfonsäuregruppen funktionalisiertes Copolymer von Styrol und Divinylbenzol ist.
16. Dielektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 15, dadurch gekennzeichnet, dass die voneinander separierten Partikel, an welche das Relaxationsagens gebunden ist, eine Größe von kleiner als 0,5 mm, insbesondere kleiner als 0,1 mm aufweisen.
17. Verfahren zur Erzeugung von Magnetresonanzaufnahmen eines Untersuchungsobjekts (P), dadurch gekennzeichnet, dass bei dem Untersuchungsobjekt zur lokalen Beeinflussung der B_1 -Feldverteilung ein dielektrisches Element nach einem der Ansprüche 1 bis 16 positioniert wird.
18. Verwendung eines dielektrischen Elements (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 16 zur Homogenisierung eines B_1 -Feldes eines Magnetresonanzgeräts.

Es folgen 4 Blatt Zeichnungen

FIG 1

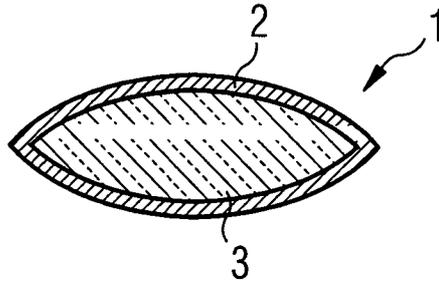


FIG 2A

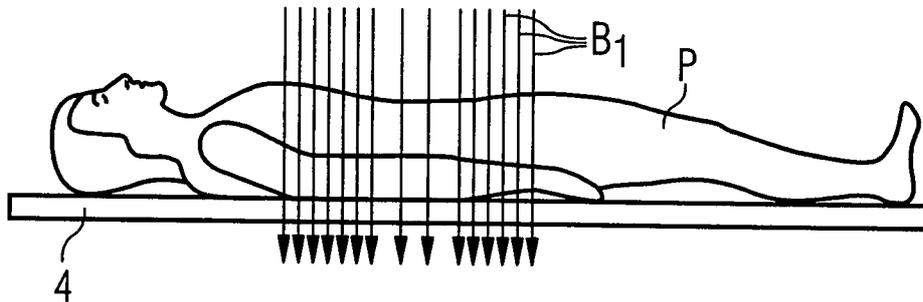


FIG 2B

