

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6422700号
(P6422700)

(45) 発行日 平成30年11月14日(2018.11.14)

(24) 登録日 平成30年10月26日(2018.10.26)

(51) Int.Cl.	F I
A 6 1 B 5/055 (2006.01)	A 6 1 B 5/055 3 1 1
	A 6 1 B 5/055 3 7 6
	A 6 1 B 5/055 Z D M

請求項の数 14 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2014-161508 (P2014-161508)	(73) 特許権者	516308401
(22) 出願日	平成26年8月7日(2014.8.7)		シーメンス ヘルスケア ゲゼルシャフト
(65) 公開番号	特開2015-33583 (P2015-33583A)		ミット ベシユレンクテル ハフツング
(43) 公開日	平成27年2月19日(2015.2.19)		ドイツ連邦共和国 9 1 0 5 2 エアラン
審査請求日	平成29年6月16日(2017.6.16)		ゲン、ヘンケシュトラーセ 1 2 7
(31) 優先権主張番号	10 2013 215 703.7	(74) 代理人	100075166
(32) 優先日	平成25年8月8日(2013.8.8)		弁理士 山口 巖
(33) 優先権主張国	ドイツ(DE)	(72) 発明者	シュテファン カンネンギーサー
			ドイツ連邦共和国 4 2 1 1 3 ヴッパー
			タール、ファルケンベルク 2
		(72) 発明者	マーセル ドミニク ニッケル
			ドイツ連邦共和国 9 1 0 7 4 ヘルツォ
			ーゲンアウラハ、マルスシュトラーセ 1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 水のT 1 時間と脂肪のT 1 時間を求める方法および磁気共鳴装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁気共鳴装置(5)により被検査対象物(O)の予め決められたボリウム部分における水のT 1 時間と脂肪のT 1 時間を求める方法において、この方法が次のステップ:

複数のエコー時間($TE_1 \sim TE_3$)においてグラジエントエコー(34)を作るため傾斜磁場(G_x)を印加するステップ、

第1のフリップ角を有する高周波パルス(31)から出発して少なくとも2つの異なるエコー時間($TE_1 \sim TE_3$)で第1のエコー(34)を検出するステップ、

ディクソン法により第1のエコー(34)に関係してボリウム部分のボクセル当りの第1の水磁化および第1の脂肪磁化を求めるステップ、

第2のフリップ角を有する高周波パルス(31)から出発して少なくとも2つの異なるエコー時間($TE_1 \sim TE_3$)で第2のエコー(34)を検出するステップ、

ディクソン法により第2のエコー(34)に関係してボリウム部分のボクセル当りの第2の水磁化および第2の脂肪磁化を求めるステップ、

各ボクセルの第1の水磁化、各ボクセルの第1の脂肪磁化、第1のフリップ角、各ボクセルの第2の水磁化、各ボクセルの第2の脂肪磁化および第2のフリップ角に関して、ボクセル当りの水のT 1 時間と脂肪のT 1 時間を求めるステップ

を有する水のT 1 時間と脂肪のT 1 時間を求める方法。

【請求項 2】

第1のエコーおよび第2のエコーの少なくとも一方が検出される、少なくとも2つの異

10

20

なるエコー時間 ($TE_1 \sim TE_3$) のうち、時間的に隣接する 2 つのエコー時間の時間間隔がいずれも等しいことを特徴とする請求項 1 記載の方法。

【請求項 3】

時間間隔は、この時間間隔の間に発生する水信号と脂肪信号の間の位相差 が次の式【数 1】

$$\varphi = f \times 360^\circ / n$$

に相当するように選定され、 f は自然数、 n は少なくとも 2 つの異なるエコー時間 ($TE_1 \sim TE_3$) の数であることを特徴とする請求項 2 記載の方法。

10

【請求項 4】

第 1 のフリップ角を有する複数の高周波パルス (3 1) を印加するステップ、
第 1 のフリップ角を有する 1 つの高周波パルス (3 1) の後の第 1 のエコー時間 (TE_1) にエコー (3 4) を読み出すステップ、
第 1 のフリップ角を有する 1 つの高周波パルス (3 1) の後の第 2 のエコー時間 (TE_2) にエコー (3 4) を読み出すステップ、
第 2 のフリップ角を有する複数の高周波パルス (3 1) を印加するステップ、
第 2 のフリップ角を有する 1 つの高周波パルス (3 1) の後の第 1 のエコー時間 (TE_1) にエコー (3 4) を読み出すステップ、
第 2 のフリップ角を有する 1 つの高周波パルス (3 1) の後の第 2 のエコー時間 (TE_2) にエコー (3 4) を読み出すステップ
を含み、第 2 のフリップ角は第 1 のフリップ角と異なり、第 1 のエコー時間 (TE_1) は第 2 のエコー時間 (TE_2) と異なる
ことを特徴とする請求項 1 から 3 の 1 つに記載の方法。

20

【請求項 5】

さらに、
第 1 のフリップ角を有する 1 つの高周波パルス (3 1) の後の次のエコー時間 (TE_3) にエコー (3 4) を読み出すステップ、
第 2 のフリップ角を有する 1 つの高周波パルス (3 1) の後の次のエコー時間 (TE_3) にエコー (3 4) を読み出すステップ、
を含み、前記次のエコー時間 (TE_3) は第 1 のエコー時間 (TE_1) および第 2 のエコー時間 (TE_2) と異なり、前記次のエコー時間 (TE_3) で検出されるエコー (3 4) に関してボクセル当りの T_2^* 時間が求められる
ことを特徴とする請求項 4 記載の方法。

30

【請求項 6】

第 1 のフリップ角を有する高周波パルス (3 1) の後の第 1 のエコー時間 (TE_1) に検出されるエコー (3 4) に関してボリューム部分の第 1 の画像が再構成され、
第 1 のフリップ角を有する高周波パルス (3 1) の後の第 2 のエコー時間 (TE_2) に検出されるエコー (3 4) に関してボリューム部分の第 2 の画像が再構成され、
第 2 のフリップ角を有する高周波パルス (3 1) の後の第 1 のエコー時間 (TE_1) に検出されるエコー (3 4) に関してボリューム部分の第 3 の画像が再構成され、
第 2 のフリップ角を有する高周波パルス (3 1) の後の第 2 のエコー時間 (TE_2) に検出されるエコー (3 4) に関してボリューム部分の第 4 の画像が再構成され、
第 1 の画像、第 2 の画像、第 3 の画像および第 4 の画像が互いにレジストレーションされ、
ボクセル当りの第 1 の水磁化および第 1 の脂肪磁化が第 1 の画像および第 2 の画像のボクセルのデータに関してディクソン法により求められ、
ボクセル当りの第 2 の水磁化および第 2 の脂肪磁化が第 3 の画像および第 4 の画像のボクセルのデータに関してディクソン法により求められる
ことを特徴とする請求項 4 または 5 記載の方法。

40

50

【請求項 7】

水磁化 M_W についての次の式

【数 2】

$$M_W = \frac{1 - e^{-T_R/T_{1,W}}}{1 - \cos(\alpha)e^{-T_R/T_{1,W}}} \sin(\alpha)\rho_W$$

から出発して、および脂肪磁化 M_F についての次の式

【数 3】

$$M_F = \frac{1 - e^{-T_R/T_{1,F}}}{1 - \cos(\alpha)e^{-T_R/T_{1,F}}} \sin(\alpha)\rho_F$$

10

から出発して水の T_1 時間 $T_{1,W}$ および脂肪の T_1 時間 $T_{1,F}$ が求められ、 T_R は時間的に連続する 2 つの高周波パルス (3 1) の間の時間間隔、 ρ_W はボクセル内の水密度、 ρ_F はボクセル内の脂肪密度、 α はフリップ角であることを特徴とする請求項 1 から 6 の 1 つに記載の方法。

【請求項 8】

20

各ボクセルの第 1 の水磁化、各ボクセルの第 1 の脂肪磁化、第 1 のフリップ角、各ボクセルの第 2 の水磁化、各ボクセルの第 2 の脂肪磁化、第 2 のフリップ角に関して各ボクセルについての水密度および脂肪密度が求められることを特徴とする請求項 1 から 7 の 1 つに記載の方法。

【請求項 9】

水密度 ρ_W および脂肪密度 ρ_F に関して次の式

【数 4】

$$WA = \frac{\rho_W}{\rho_W + \rho_F}$$

30

により各ボクセル内の水成分 WA が求められるか、

水密度 ρ_W および脂肪密度 ρ_F に関して次の式

【数 5】

$$FA = \frac{\rho_F}{\rho_W + \rho_F}$$

により各ボクセル内の脂肪成分 FA が求められるか、または

その両方が求められることを特徴とする請求項 8 記載の方法。

40

【請求項 10】

同じフリップ角 α_{nom} を有する高周波励起パルスから出発して各ボクセル x で調整されるフリップ角 $\alpha(x)$ が求められ、

次の式

【数 6】

$$\alpha(x) = \alpha_{nom} \frac{\beta(x)}{\beta_{nom}}$$

により各ボクセルにおける実際のフリップ角 $\alpha(x)$ が、エコー (3 4) の検出のために

50

それぞれ印加されるフリップ角 θ_{nm} を有する高周波パルス (31) に関して計算され、

実際のフリップ角が、水の T1 時間および脂肪の T1 時間を求める際にそれぞれ第 1 および第 2 のフリップ角の代わりに使用されることを特徴とする請求項 1 から 9 の 1 つに記載の方法。

【請求項 11】

被検査対象物 (0) の予め決められたボリューム部分における水の T1 時間および脂肪の T1 時間を求めるための磁気共鳴装置において、

磁気共鳴装置 (5) が静磁場磁石 (1) と、傾斜磁場システム (3) と、少なくとも 1 つの高周波アンテナ (4) と、傾斜磁場システム (3) および少なくとも 1 つの高周波アンテナ (4) を制御し少なくとも 1 つの高周波アンテナ (4) により取得された測定信号を受信し測定信号を評価し MR データを作るための制御装置 (10) とを有し、

磁気共鳴装置 (5) が、複数のグラジエントエコー (34) を作るため複数の傾斜磁場 (G_x) を印加し、第 1 のフリップ角およびこの第 1 のフリップ角とは異なる第 2 のフリップ角を有する高周波パルス (31) を印加し、第 1 のフリップ角を有する高周波パルス (31) から出発して少なくとも 2 つの異なるエコー時間 ($TE_1 \sim TE_3$) に第 1 のエコー (34) を検出し、ボリューム部分のボクセル当りの第 1 の水磁化および第 1 の脂肪磁化を第 1 のエコー (34) に関してディクソン法により求め、第 2 のフリップ角を有する高周波パルス (31) から出発して少なくとも 2 つの異なるエコー時間 ($TE_1 \sim TE_3$) に第 2 のエコー (34) を検出し、ボリューム部分のボクセル当りの第 2 の水磁化および第 2 の脂肪磁化を第 2 のエコー (34) に関してディクソン法により求め、および各ボクセルの第 1 の水磁化、各ボクセルの第 1 の脂肪磁化、第 1 のフリップ角、各ボクセルの第 2 の水磁化、各ボクセルの第 2 の脂肪磁化、第 2 のフリップ角に関して、各ボクセルの水の T1 時間および脂肪の T1 時間を求めるように構成されることを特徴とする磁気共鳴装置。

【請求項 12】

磁気共鳴装置 (5) が請求項 1 から 10 の 1 つに記載の方法を実施するように構成されていることを特徴とする請求項 11 記載の磁気共鳴装置。

【請求項 13】

磁気共鳴装置 (5) のプログラム可能な制御装置 (10) の記憶装置に直接ロード可能であり、磁気共鳴装置 (5) の制御装置 (10) で実施されるときに請求項 1 から 10 の 1 つに記載の方法のすべてのステップを実施するプログラム手段を有するコンピュータプログラム。

【請求項 14】

データキャリア (21) を使用する際に磁気共鳴装置 (5) の制御装置 (10) において請求項 1 から 10 の 1 つに記載の方法を実施するように構成された電子的に読み取り可能な制御情報を記憶した電子的に読み取り可能なデータキャリア。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、予め決められたボリューム部分のボクセル当りの水の T1 時間 (縦緩和時間) と脂肪の T1 時間 (縦緩和時間) を別々に求める方法および磁気共鳴装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来技術によれば、いわゆるディクソン法を使用して水信号と脂肪信号とを分離することが知られている。ディクソン法は脂肪と水の共鳴周波数の差を利用する。共鳴周波数が異なるために水の磁化と脂肪の磁化との位相関係がエコー時間 (高周波励起パルスと検出されたエコーとの間の時間間隔) に関係する。たとえば第 1 のエコー時間は水磁化と脂肪磁化とが同位相 (in phase) にあるように選定され、第 2 のエコー時間は水磁化と脂肪磁化とが 180° の位相関係 (opposed-phase) にあるように選定されると、第 1 のエコー

時間で検出された磁化 M_1 に対しては次の式 (1) が成立し、第 2 のエコー時間で検出された磁化 M_2 に対しては次の式 (2) が成立する。

【数 1】

$$M_1 = W + F \quad (1)$$

$$M_2 = W - F \quad (2)$$

【0003】

なお、 W は水磁化 (すなわち水分子により惹起される磁化) であり、 F は脂肪磁化 (すなわち脂肪分子により惹起される磁化) に相当する。式 (1)、(2) は、最終的に水磁化 W および脂肪磁化 F を求めるために次の式 (3)、(4) に変換される。

10

【数 2】

$$W = (M_1 + M_2) / 2 \quad (3)$$

$$F = (M_1 - M_2) / 2 \quad (4)$$

【0004】

ディクソン法によれば 3 つ以上の異なるエコー時間でもエコーを検出することができ、この 3 つ以上の磁化に基づいて水磁化および脂肪磁化を別々に求めることができる。3 つ以上のエコーの取得に際しては 2 つの磁化のほかにしばしば横 T_2^* 緩和のような付加的な効果が考慮されおよび / または求められる。総括すれば、ディクソン法は、異なるエコー時間で各ボクセルに対して求められるもしくは明らかにされている少なくとも 2 つの磁化から出発して、これらのエコー時間から明らかになったこれらの磁化の位相関係に基づき、ボクセル当りの水磁化および脂肪磁化および場合によっては横緩和時間 T_2^* を求めるものである。

20

【0005】

勿論ディクソン法は弱点も有する。たとえばディクソン法は T_1 緩和効果の影響を受けやすい。この弱点は従来技術ではしばしば小さいフリップ角 ($< 10^\circ$) の高周波励起パルスの使用により対処しているが、これはなかなか信号雑音比が小さいことを甘受しなければならない。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0006】

本発明の課題は、予め決められたボリューム部分における水の T_1 時間と脂肪の T_1 時間を求めることにある。

【課題を解決するための手段】

【0007】

この課題は、本発明によれば、請求項 1 による水の T_1 時間と脂肪の T_1 時間を求める方法、請求項 1 2 による水の T_1 時間と脂肪の T_1 時間を求めるための磁気共鳴装置、請求項 1 4 によるコンピュータプログラム製品および請求項 1 5 による電子的に読み取り可能なデータキャリアにより解決される。従属請求項は本発明の好適な有利な実施形態を規定するものである。

40

【0008】

本発明によれば、磁気共鳴装置による被検査対象物の予め決められたボリューム部分における水の T_1 時間と脂肪の T_1 時間を求める方法が提供される。この場合、水もしくは脂肪の T_1 時間とは水もしくは脂肪の縦緩和時間を意味する。本発明による方法は次のステップを有する。

- ・グラジエントエコーを作るために種々異なるエコー時間で傾斜磁場を印加するステップ。

換言すれば、MR データを取得するためにグラジエントエコーシーケンスを使用する。

- ・ 2 つ以上の異なるエコー時間で第 1 のフリップ角を有する高周波パルスにより第 1 のエコーを検出するステップ。

50

換言すれば、種々異なるエコー時間で第 1 のフリップ角を有する高周波励起パルスのそれぞれの後でグラジエントエコーを検出する。

- ・この第 1 のエコーに関係してディクソン法によりボリューム部分のボクセル当りの第 1 の水磁化および第 1 の脂肪磁化を求めるステップ。
- ・同様にして 2 つ以上の異なるエコー時間で第 2 のフリップ角を有する高周波パルスにより第 2 のエコーを検出するステップ。
- ・この第 2 のエコーから出発してディクソン法によりボリューム部分のボクセル当りの第 2 の水磁化および第 2 の脂肪磁化を求めるステップ。
- ・それぞれのフリップ角に属する各ボクセル当りの（第 1 または第 2 の）水磁化およびそれぞれのフリップ角に属する各ボクセル当りの（第 1 または第 2 の）脂肪磁化に関して並びにそれぞれの（第 1 または第 2 の）フリップ角に関係してボクセル当りの水の T 1 時間および脂肪の T 1 時間を求めるつまり算出するステップ。

【 0 0 0 9 】

ここで指摘すべきことは、本発明によれば、本発明方法を別のフリップ角で繰り返し行い、それによりそれぞれ使用されるフリップ角についてボリューム部分のボクセル当りの別の水磁化および脂肪磁化を得ることができることである。

【 0 0 1 0 】

したがって本発明方法は種々異なるエコー時間で複数のフリップ角についてグラジエントエコーを検出する。この場合より大きなフリップ角（ $> 10^\circ$ ）も使用できる。中間結果としてこの場合種々異なるエコー時間および種々異なるフリップ角についてそれぞれボクセル当りの磁化が明らかになる。本発明方法が n 個の異なるエコー時間および m 個の異なるフリップ角で実施されれば、したがってボクセル当り $n \times m$ 個の磁化が明らかになる。

【 0 0 1 1 】

次いでディクソン法により各フリップ角について明らかになった n 個の磁化に関係して各フリップ角について各ボクセル当りの水磁化および脂肪磁化は、各ボクセルについて求められた水磁化および脂肪磁化の数がフリップ角の数に一致するように求められる。

【 0 0 1 2 】

特に第 1 および第 2 のエコー（または別のエコー）の検出のために 5 個以上のエコー時間が使用されるときには、この時間的に隣接する 2 つのエコー時間の間には同じ時間間隔（実際にはたとえば 1 m s）が存在し得る。これらのエコー時間は等間隔エコー時間とも呼ばれる。この場合これらのエコー時間のうちの最短のエコー時間は有利には使用される磁気共鳴装置により実現される最短のエコー時間に一致する。

【 0 0 1 3 】

本発明の別の実施形態によれば、エコー時間は、水信号と脂肪信号との間の位相差に関して単位円上に均一の分布が生じるように選定される。このため水信号と脂肪信号の間の位相差は次の式（5）

【数 3】

$$\varphi = f \times 360^\circ / n \quad (5)$$

に相応し得る。なお、f は自然数、n は異なるエコー時間の数である。

【 0 0 1 4 】

3 つの異なるエコー時間の場合には、位相差もしくは位相シフトは第 1 のエコー時間では 120° （ 240° ）、第 2 のエコー時間では 240° （ 480° ）、第 3 のエコー時間では 360° （ 720° ）になり得る。

【 0 0 1 5 】

簡略化された実施形態によれば、本発明方法は次のステップを有する。

- ・第 1 のフリップ角をそれぞれ有する複数の高周波励起パルスを印加するステップ。
- ・第 1 のフリップ角を有する 1 つの高周波励起パルスの後の第 1 のエコー時間にグラジエントエコーを読み出すステップ。

- ・第1のフリップ角を有する1つの高周波励起パルスの後の第2のエコー時間にグラジエントエコーを読み出すステップ。
- ・第2のフリップ角をそれぞれ有する複数の高周波励起パルスを印加するステップ。
- ・第2のフリップ角を有する1つの高周波励起パルスの後の第1のエコー時間にグラジエントエコーを読み出すステップ。
- ・第2のフリップ角を有する1つの高周波励起パルスの後の第2のエコー時間にグラジエントエコーを読み出すステップ。

【0016】

なお、第2のフリップ角は第1のフリップ角と異なり、第1のエコー時間は第2のエコー時間と異なる。

【0017】

勿論別のフリップ角および別のエコー時間を採用もしくは使用することもできる。

【0018】

本発明によれば、1つの高周波励起パルスの後に、次の高周波励起パルスを印加する前に1つのグラジエントエコーだけを検出もしくは読み出すことが可能である。なかんずく本発明によれば、1つもしくは同じ高周波励起パルスの後に、次の高周波励起パルスを印加する前に複数のグラジエントエコーを読み出すことも可能である。

【0019】

本発明の1つの実施形態によれば、方法は付加的に次のステップを含むことができる。

- ・第1のフリップ角を有する1つの高周波パルスの後の別のエコー時間にグラジエントエコーを読み出すステップ。
- ・第2のフリップ角を有する1つの高周波パルスの後の別のエコー時間にグラジエントエコーを読み出すステップ。
- ・別のエコー時間で検出されるグラジエントエコーに関してボクセル当りの T_2^* 時間を求める。

【0020】

この実施形態も3つ以上のフリップ角で実施可能である。上記の別のエコー時間は、水の T_1 時間および脂肪の T_1 時間を求めるために（初期に）使用されるエコー時間（たとえば第1および第2のエコー時間）とは異なる。

【0021】

従来技術ではディクソン法は、3つ以上のエコーを使用する際に水の T_1 時間および脂肪の T_1 時間のほかに水と脂肪を同じに見なす T_2^* 時間も求めることを可能にする。4つ以上のエコーを使用する際には水および脂肪について別々にそれぞれの T_2^* 時間を求めることができる。これは特に同時に求められる水の T_1 時間と脂肪の T_1 時間の精度の改良にも導く。

【0022】

本発明の別の実施形態によれば、方法は次のステップを含む。

- ・第1のフリップ角を有する高周波パルスの後の第1のエコー時間に検出されるグラジエントエコーに関してボリューム部分の第1のMR画像を再構成するステップ。
- ・第1のフリップ角を有する高周波パルスの後の第2のエコー時間に検出されるグラジエントエコーに関してボリューム部分の第2のMR画像を再構成するステップ。
- ・第2のフリップ角を有する高周波パルスの後の第1のエコー時間に検出されるグラジエントエコーに関してボリューム部分の第3のMR画像を再構成するステップ。
- ・第2のフリップ角を有する高周波パルスの後の第2のエコー時間に検出されるグラジエントエコーに関してボリューム部分の第4のMR画像を再構成するステップ。
- ・第1、第2、第3、第4の画像をレジストレーション（位置合わせ）するステップ。
- ・ディクソン法により第1および第2の画像の対応するボクセルのデータに関してボクセル当りの第1の水磁化および第1の脂肪磁化を求めるステップ。
- ・ディクソン法により第3および第4の画像の対応するボクセルのデータに関してボクセル当りの第2の水磁化および第2の脂肪磁化を求めるステップ。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 3 】

この実施形態は、ディクソン法が特にボクセル当りに求められた磁化に一致する再構成された画像のピクセル値に基づいていることを示す。この場合エコー時間およびフリップ角に関し上述の条件が守られている限りどのようなK空間セグメントが個々の画像に対し検出されるかは問題にならない。換言すれば、複数の画像のうちの1つ画像に対してグラジエントエコーを検出する際に複数の画像のうちの別の1つの画像に対してグラジエントエコーを検出する際とは別のK空間セグメントを走査することができる。

【 0 0 2 4 】

ボクセル当り求められる水磁化 M_W は、このボクセルにおける水に対する縦緩和 $T_{1,W}$ 、繰り返し時間または反復時間 T_R 、このボクセルにおける水密度 ρ_W およびフリップ角

10

【数 4】

$$M_W = \frac{1 - e^{-T_R/T_{1,W}}}{1 - \cos(\alpha)e^{-T_R/T_{1,W}}} \sin(\alpha)\rho_W \quad (6)$$

【 0 0 2 5 】

同様にしてボクセル当り求められる脂肪磁化 M_F は、このボクセルにおける脂肪に対する縦緩和 $T_{1,F}$ 、繰り返し時間 T_R 、このボクセルにおける脂肪密度 ρ_F およびフリップ角に、たとえば次の式(7)に示すように関係する。

20

【数 5】

$$M_F = \frac{1 - e^{-T_R/T_{1,F}}}{1 - \cos(\alpha)e^{-T_R/T_{1,F}}} \sin(\alpha)\rho_F \quad (7)$$

【 0 0 2 6 】

式(6)、(7)の前提は、水磁化 M_W および脂肪磁化 M_F がいわゆるステディステイト信号であることである。この場合ステディステイト信号とは、ダイナミック平衡における磁化で測定される信号である。

【 0 0 2 7 】

30

異なるフリップ角を用いるが同じ繰り返し時間 T_R を用いる少なくとも2つの測定で水磁化および脂肪磁化が存在すれば、式(6)、(7)によりボクセル当りの水の T_1 時間 $T_{1,W}$ および脂肪の T_1 時間 $T_{1,F}$ だけでなく、水密度 ρ_W および脂肪密度 ρ_F も求められる。なお、密度とは特にプロトン密度(通常はモル単位で測定)である。水および脂肪の T_1 時間が明らかであるので、水密度もしくは脂肪密度はそれぞれ T_1 時間から解放された水密度もしくは脂肪密度である(すなわち求められた水密度もしくは脂肪密度は T_1 効果を除去される)。エコーの測定は多くの特性(たとえば受信アンテナの感度)に関係するので、水密度もしくは脂肪密度はこの場合特に同じ単位で測定されるが、この単位はしかし特定されていない。

【 0 0 2 8 】

40

この理由から、求められた水密度および脂肪密度はなканずく次の式(8)、(9)により対応するボクセル内の水成分 WA および脂肪成分 FA を求めるために好適である。

【数 6】

$$WA = \frac{\rho_W}{\rho_W + \rho_F} \quad (8)$$

$$FA = \frac{\rho_F}{\rho_W + \rho_F} \quad (9)$$

【 0 0 2 9 】

これらの式において ρ_W は水密度、 ρ_F は脂肪密度であり、水密度および脂肪密度に対し

50

て同一であるが特定されていない密度単位が有利には相殺され、組織内の水もしくは脂肪の成分が求められる。

【 0 0 3 0 】

水の T 1 時間および脂肪の T 1 時間並びに場合によっては水密度および脂肪密度を求めるために、特に種々異なるフリップ角で求められた磁化の水成分および脂肪成分は別々に式 (6) および式 (7) における各信号モデルにフィット (適合) される。このため通常は最適化関数が作られ、この関数は信号モデルに対するデータ的一致を記述しそれぞれの緩和時間 (T 1 時間) およびそれぞれのプロトン密度 (水密度もしくは脂肪密度) に関係する。なかんずくこのためデータと信号モデルとの間に L p ノルムまたはカイ二乗が提供される。これらの値は種々の数学的アルゴリズムで最適化され、多くの場合マルカート・レベンバークアルゴリズムが使用される。

10

【 0 0 3 1 】

たとえば数値的に有効な技術は次の式

【 数 7 】

$$\sum_i (M/\tan(\alpha_i) \times y + x - M/\sin(\alpha_i))^2$$

(ここで M は磁化、添え字 i は測定されたすべてのフリップ角 の合計) を変数 x、y で最適化することにある。式 (6) もしくは (7) の採用のもとに求められる変数は以下のように表わされる。

【 数 8 】

20

$$x = (1 - \exp(-TR/T1)) \rho \quad \text{および} \quad y = \exp(-TR/T1)$$

既知の反復時間 T R により、これから T 1 (T 1 時間) および (水密度もしくは脂肪密度) が計算される。水および脂肪に対し本方法を別々に実施すれば、それぞれ水についての T 1 時間 T_{1,W}、脂肪についての T 1 時間 T_{1,F}、水密度 ρ_w および脂肪密度 ρ_f が求められる。

【 0 0 3 2 】

本発明方法を改良するために実際のフリップ角が求められ、これが高周波励起パルスを作るために調整されたフリップ角の代わりに水の T 1 時間および脂肪の T 1 時間を求めるために使用される。このため各ボクセルに対する特殊な測定シーケンスによりこの測定シーケンスの高周波励起パルスに対して調整される同じ設定フリップ角 α_{nom} から出発して実際のフリップ角が求められるので、いわば予め決められたボリューム部分についてのフリップ角マップが作られる。次の式 (10)

30

【 数 9 】

$$\alpha(x) = \alpha_{nom} \frac{\beta(x)}{\beta_{nom}} \quad (10)$$

により各ボクセル x について、実際のフリップ角 α (x) が、実際の高周波励起パルスに対して調整されたフリップ角 α_{nom}、特殊な測定シーケンスに対して調整された設定フリップ角 α_{nom}、および相応のボクセルに対して測定シーケンスにより検出されたフリップ角 α (x) に応じて算出される。

40

【 0 0 3 3 】

調整された (たとえば第 1 もしくは第 2 の) フリップ角の代わりに実際のフリップ角を使用することにより、ボクセル当りの水の T 1 時間および脂肪の T 1 時間を求めることおよび場合によって水および脂肪についてボクセル当りの密度を求めることがより正確に行われるので有利である。

【 0 0 3 4 】

本発明は、水の T 1 時間および脂肪の T 1 時間をボクセル当り別々に求めるためにディクソン法を、T 1 時間を求めるのに公知である方法と組み合わせる。本発明によりディクソン法の B 1 不均一性に対する感度に有利に対処できるので、水および脂肪の求められた

50

T 1 時間は現存する B 1 不均一性の影響は殆ど受けない。

【 0 0 3 5 】

そのうえ本発明により密度も水および脂肪に対してボクセル当り別々に求めることができる。

【 0 0 3 6 】

水の T 1 時間および脂肪の T 1 時間を求めるために、エコーは少なくとも 2 つの異なるエコー時間でそれぞれ少なくとも 2 つの異なるフリップ角について検出される必要がある。付加的に T 2 * 時間を考慮するかまたは求めるべきときには、エコーは少なくとも 3 つの異なるエコー時間でそれぞれ異なるフリップ角について求める必要がある。

【 0 0 3 7 】

本発明において水の T 1 時間および脂肪の T 1 時間を求めるための磁気共鳴装置も提供される。この磁気共鳴装置は、静磁場磁石と、傾斜磁場システムと、 1 つまたは複数の高周波アンテナと、傾斜磁場システムおよび高周波アンテナを制御し、高周波アンテナにより取得した測定信号を受信し、測定信号を評価し並びに M R データを作成するための制御装置とを含む。この磁気共鳴装置は、複数の両極性の傾斜磁場を印加してグラジエントエコーを作り、第 1 のフリップ角とこれとは異なる第 2 のフリップ角とを有する高周波パルス印加し、第 1 のエコーを、少なくとも 2 つの異なるエコー時間で第 1 のフリップ角を有する高周波パルスから出発して検出し、ボリューム部分のボクセル当りの第 1 の水磁化および第 1 の脂肪磁化を第 1 のエコーに関係してディクソン法で求め、第 2 のエコーを、少なくとも 2 つの異なるエコー時間で第 2 のフリップ角を有する高周波パルスから出発して検出し、ボリューム部分のボクセル当りの第 2 の水磁化および第 2 の脂肪磁化を第 2 のエコーに関係してディクソン法で求め、各ボクセルの第 1 の水磁化、各ボクセルの第 1 の脂肪磁化、第 1 のフリップ角、各ボクセルの第 2 の水磁化、各ボクセルの第 2 の脂肪磁化、第 2 のフリップ角に関係して各ボクセルの水の T 1 時間および脂肪の T 1 時間を求めるように構成されている。

【 0 0 3 8 】

本発明による磁気共鳴装置の利点は上述した本発明方法の利点にほぼ相応するので、ここでは繰り返さないことにする。

【 0 0 3 9 】

さらに本発明は、磁気共鳴装置のプログラム可能な制御装置もしくは計算ユニットの記憶装置にロードすることができるコンピュータプログラム製品、特にソフトウェアを対象とする。このコンピュータプログラム製品により、この製品が制御装置において実行されればすべてまたは種々の本発明方法の上述の実施形態を実施できる。この場合コンピュータプログラム製品は本発明方法の実施形態を実現するためのプログラム手段、たとえばライブラリおよび補助機能を必要とする。換言すればコンピュータプログラム製品を対象とする請求項により本発明方法の上述の実施形態を実施できるもしくはこれらの実施形態を実施するソフトウェアが保護の対象になる。なお、ソフトウェアとは、コンパイルおよびリンクまたは解釈のみを必要とするソースコード（たとえば C ++ ）であるか、または実行のためになお相応する計算ユニットもしくは制御装置にロードする必要のあるソフトウェアコードである。

【 0 0 4 0 】

最後に本発明はたとえば D V D などの電子的に解読できるデータキャリア、磁気テープまたは電子的に解読可能な制御情報、特にソフトウェア（上述参照）が記憶される U S B メモリを開示する。これらの制御情報（ソフトウェア）がデータキャリアにより読まれ、磁気共鳴装置の制御装置もしくは計算ユニットに記憶されれば、上述の方法の本発明によるすべての実施形態が実施可能である。

【 0 0 4 1 】

本発明は特に M R 画像の再構成に好適であり、ボクセル当り水信号と脂肪信号とを非常に正確に区別することができる。勿論本発明はこれらの有利な応用範囲に限定されるものではない。なぜなら本発明によりたとえば水および脂肪の T 1 時間並びに水信号および脂

10

20

30

40

50

肪信号もボクセル当りに非常に正確に求めることができるからである。

【 0 0 4 2 】

以下に図面を参照して本発明の実施形態を基に本発明を詳述する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 3 】

【図 1】図 1 は本発明による磁気共鳴装置の概略構成図である。

【図 2】図 2 は水の T 1 時間と脂肪の T 1 時間を求めるための本発明のシーケンスである。

【図 3】図 3 は水の T 1 時間と脂肪の T 1 時間を求めるための本発明の別のシーケンスである。

【図 4】図 4 は水の T 1 時間と脂肪の T 1 時間を求めるための本発明のフローチャートである。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 4 4 】

図 1 は（磁気共鳴イメージング装置もしくは核スピントモグラフィ装置の）磁気共鳴装置 5 の概略構成図である。この場合静磁場磁石 1 は、磁気共鳴装置 5 内のベッド 2 3 上に横臥して検査を受けるたとえば人体の被検査部分である対象物 O のボリューム部分における核スピンの偏極もしくは整列のための時間的に一定の強い磁場を作る。核スピン共鳴測定に必要な静磁場の高い均一性は、人体の被検査部分が配置されているたとえば球状の測定ボリューム M 内に規定されている。均一性の要求を支援するためおよび特に時間的に変化

10

20

【 0 0 4 5 】

静磁場磁石 1 には 3 つの部分巻線から成る円筒状の傾斜磁場システム 3 が装入されている。各部分巻線は増幅器によりカルテシアン座標系の各方向に直線状（また時間的に可変な）傾斜磁場を作るための電流を供給される。傾斜磁場システム 3 の第 1 の部分巻線はこの場合 x 方向に傾斜磁場 G_x を作り、第 2 の部分巻線は y 方向に傾斜磁場 G_y を作り、第 3 の部分巻線は z 方向に傾斜磁場 G_z を作る。増幅器はデジタル - アナログ変換器 DAC を有しており、この変換器は傾斜磁場パルスを経時的に正確に作るためにシーケンス制御装置 1 8 により制御される。

30

【 0 0 4 6 】

傾斜磁場システム 3 内には 1 つまたは複数の高周波アンテナ 4 があり、これは高周波電力増幅器から発せられる高周波パルスを被検査対象物 O つまり対象物 O の被検査部分の核の励起および核スピンの整列のため交番磁場に変換する。各高周波アンテナ 4 は、環状に好適にはリニア状またはマトリクス状にコンポーネントコイルを配置した形の 1 つまたは複数の高周波送信コイルおよび 1 つまたは複数の高周波受信コイルから成る。各高周波アンテナ 4 の高周波受信コイルにより、歳差運動している核スピンから出る交番磁場、すなわち通常は 1 つまたは複数の高周波パルスおよび 1 つまたは複数の傾斜磁場パルスから成るパルスシーケンスから惹起される核スピンエコー信号が電圧（測定信号）に変換され、この電圧は増幅器 7 を介して高周波システム 2 2 の高周波受信チャンネル 8 に導かれる。磁気共鳴装置 5 の制御装置 1 0 の一部である高周波システム 2 2 はさらに送信チャンネル 9 を有しており、この送信チャンネル 9 では磁気核共鳴の励起のための高周波パルスが作られる。各高周波パルスはシステムコンピュータ 2 0 により予め与えられるパルスシーケンスに基づきシーケンス制御装置 1 8 においてデジタル的に複素数の列として表示される。この複素数列は実部および虚部としてそれぞれ入力 1 2 を介して高周波システム 2 2 のデジタル - アナログ変換器に、およびそこから送信チャンネル 9 に導かれる。送信チャンネル 9 ではパルスシーケンスが高周波キャリア信号に変調され、その基本周波数が中心周波数に相当するようにされる。

40

【 0 0 4 7 】

送信動作から受信動作への切換は送信 - 受信切換器 6 を介して行われる。高周波アンテ

50

ナ 4 の高周波送信コイルは高周波パルスを核スピンの励起のために測定ボリューム M に照射し、発生したエコー信号は高周波受信コイルを介して走査される。相応して得られた核共鳴信号は高周波システム 22 の（第 1 の復調器の）受信チャンネル 8 ' において位相敏感に中間周波数に復調され、アナログ - デジタル変換器 A D C でデジタル化され、出力 11 を介して送出される。この信号はさらに周波数 0 に復調される。周波数 0 への復調および実部と虚部の分離はデジタルドメインでデジタル化後に第 2 の復調器 8 で行われる。画像コンピュータ 17 によりこのようにして得られた測定データから M R 画像つまり三次元画像データセットが再構成される。測定データ、画像データおよび制御プログラムの管理はシステムコンピュータ 20 を介して行われる。制御プログラムを予め与えられることによりシーケンス制御装置 18 はそれぞれ所望のパルスシーケンスの発生および K 空間の相応する走査をコントロールする。特にシーケンス制御装置 18 は傾斜磁場の時間的に正確な切換、所定の位相振幅を有する高周波パルスの送出並びに核共鳴信号の受信を制御する。高周波システム 22 およびシーケンス制御装置 18 に対する時間基準はシンセサイザ 19 により得られる。たとえば D V D 21 に記憶される M R 画像を作るための相応の制御プログラムの選定並びに作られた M R 画像の表示は、キーボード 15、マウス 16 および画像ディスプレイ 14 を有する端末 13 で行われる。

10

【 0 0 4 8 】

図 2 は本発明によるグラジエントエコーシーケンスを示す。最初にフリップ角 θ を有する高周波励起パルス 31 が印加され、同時にスライス選択傾斜磁場 G_z が発生する。高周波励起パルス 31 の後にスライス選択傾斜磁場 G_z の極性が変化することにより励起の際に生じた位相特性は反転させられる。同時にスピンは周波数エンコード傾斜磁場 G_x の印加により拡げられる（周波数エンコード傾斜磁場 G_x のこの部分はリワインダ 33 としても知られている）。同様に高周波励起パルス 31 の後に印加された位相エンコード傾斜磁場 G_y は空間エンコーディングとして用いられる。周波数エンコード傾斜磁場 G_x の極性の変化により、予め拡げられたスピンは再び同位相にもたらされるかもしくはリフェージングされ、それによってグラジエントエコー 34 になる。周波数エンコード傾斜磁場 G_x （図 2）が正の極性を有する間に、 x 方向に K 空間行を読み取るため測定データが検出される。

20

【 0 0 4 9 】

周波数エンコード傾斜磁場 G_x もしくは測定データの検出後に横磁化を除去するためスポイラグラジエント 32 が印加される。このスポイラグラジエント 32 の後に次の高周波励起パルス 31 が印加され、これによりグラジエントエコーシーケンスの次の周期が開始する。

30

【 0 0 5 0 】

エコー時間 T_E は高周波励起パルス 31 からグラジエントエコー 34 まで測定され、このエコーは周波数エンコード傾斜磁場 G_x の正の成分の時間的中心（図 2 による）に生じる。繰り返し時間つまり反復時間 T_R は 2 つの時間的に隣接する高周波励起パルス 31 の間の時間的間隔を決定する。

【 0 0 5 1 】

図 3 は本発明による別のグラジエントエコーシーケンスを示す。簡略化のため図 3 には周波数エンコード傾斜磁場とスポイラグラジエントだけが 1 つの軸上に示されている。図 2 とは違って同じ高周波励起パルス 31（図 3 の左端）から出発して 3 つのグラジエントエコー 41 ~ 43 が検出されることが伺える。このため図 2 と同様に高周波励起パルス 31 の後でいわゆるリワインダ 33 が、第 1 のグラジエントエコー 41 の測定データを検出するために周波数エンコード傾斜磁場がその極性を変更する前に印加される。周波数エンコード傾斜磁場の極性のさらなる変更後に第 2 のグラジエントエコー 42 の測定データが検出され、最後に周波数エンコード傾斜磁場の極性のさらなる変更後に第 3 のグラジエントエコー 43 の測定データが検出される。

40

【 0 0 5 2 】

リワインダは開始時にのみもしくは高周波励起パルス 31 の直後に必要である。なぜな

50

らいわば極性のそれぞれの変更後には周波数エンコード傾斜磁場の第2の半分が検出すべき次のグラジエントエコーのためにこのリワインダの役割を果たすからである。

【0053】

したがって、図2に示したグラジエントエコーシーケンスでは高周波励起パルス31の後に1つのグラジエントエコー34だけが検出されるのに対し、図3に示したグラジエントエコーシーケンスでは3つのグラジエントエコー41~43がエコー時間 $TE_1 \sim TE_3$ で検出される。図2に示したグラジエントエコーシーケンスを用いて、図3に示したグラジエントエコーシーケンスと同じ測定データを検出するためには、したがって図2に示したグラジエントエコーシーケンスは3回実施されなければならない、その際周波数エンコード傾斜磁場 G_x は、1回はエコー時間 TE_1 で、1回はエコー時間 TE_2 で、1回はエコー時間 TE_3 でグラジエントエコーが作られて検出されるように調整されなければならないであろう。

10

【0054】

ここで注意すべきことは、スライス選択傾斜磁場 G_z （図2）でもまたは別の位相エンコード傾斜磁場 G_y （図示せず）でも作業ができることである。

【0055】

図4は本発明の方法のフローチャートを示す。

【0056】

第1のステップS1では第1のフリップ角を有するグラジエントエコーシーケンスが印加され、これは印加された高周波励起パルス31が第1のフリップ角を有することを意味する。第2のステップS2では第1のエコー（正確にはグラジエントエコー）が第1のエコー時間でおよびそれとは異なる第2のエコー時間で検出される。同様にして第3のステップS3では第1のフリップ角とは異なる第2のフリップ角を有するグラジエントエコーシーケンスが印加され、これは印加された高周波励起パルス31が第2のフリップ角を有することを意味する。第4のステップでは第2のエコーが第1のエコー時間でおよび第2のエコー時間で検出される。

20

【0057】

第5のステップでは第1のエコーおよび第2のエコーから4つのMR画像が再構成される。より詳しく言えば、第1のフリップ角を有する高周波励起パルス31から出発して第1のエコー時間で検出されるエコーから第1のMR画像が再構成され、第1のフリップ角を有する高周波励起パルス31から出発して第2のエコー時間で検出されるエコーから第2のMR画像が再構成される。同様に第2のフリップ角を有する高周波励起パルス31から出発して第1のエコー時間で検出されるエコーから第3のMR画像が再構成され、第2のフリップ角を有する高周波励起パルス31から出発して第2のエコー時間で検出されるエコーから第4のMR画像が再構成される。

30

【0058】

次にステップS6では第1の画像および第2の画像からディクソン法によりボクセル当りの第1の水磁化と第1の脂肪磁化が求められる。同様にしてステップS7で第3の画像および第4の画像からディクソン法によりボクセル当りの第2の水磁化と第2の脂肪磁化が求められる。

40

【0059】

たとえば式(6)、(7)によりステップS8で第1および第2の水磁化並びに第1および第2の脂肪磁化に関してボリューム部分のボクセル当りの水の密度と、脂肪の密度と、水および脂肪の T_1 時間とを別々に求めることができる。

【符号の説明】

【0060】

- 1 静磁場磁石
- 2 シムコイル
- 3 グラジエント磁界系
- 4 高周波アンテナ

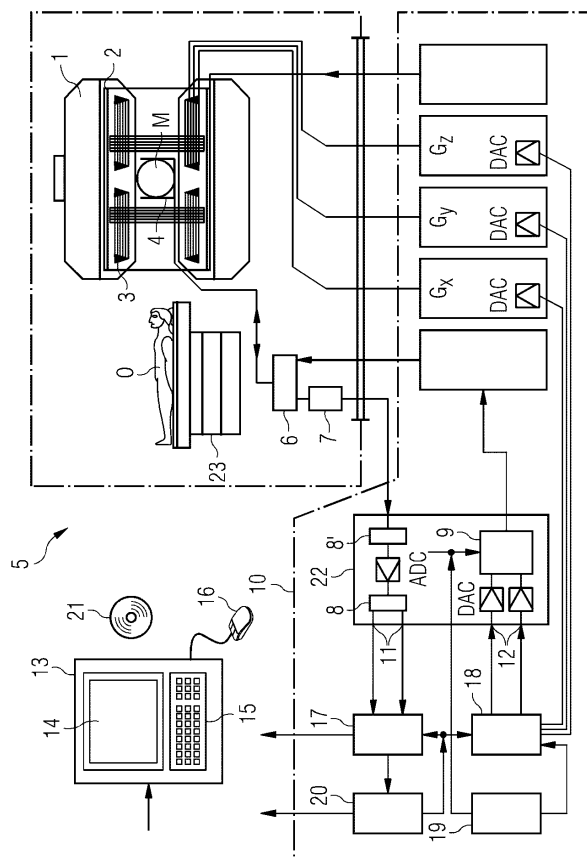
50

- 5 磁気共鳴装置
- 6 送信・受信切換器
- 7 増幅器
- 8 復調器
- 8' 受信チャンネル
- 9 送信チャンネル
- 10 制御装置
- 11 出力
- 12 入力
- 13 端末
- 14 ディスプレイ
- 15 キーボード
- 16 マウス
- 17 画像コンピュータ
- 18 シーケンス制御装置
- 19 シンセサイザ
- 20 システムコンピュータ
- 21 DVD
- 22 高周波システム
- 23 ベッド
- O 被検査対象物
- M 測定ボリューム
- DAC デジタル-アナログ変換器
- ADC アナログ・デジタル変換器

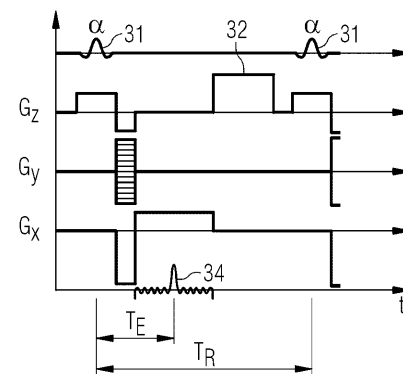
10

20

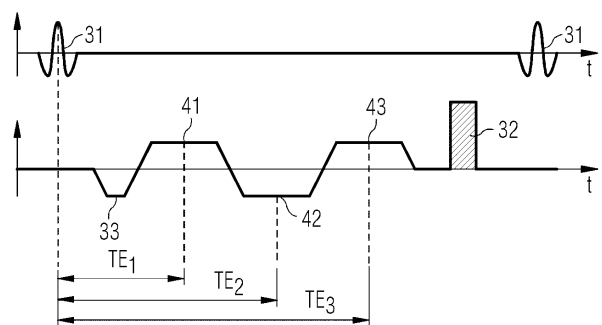
【図1】



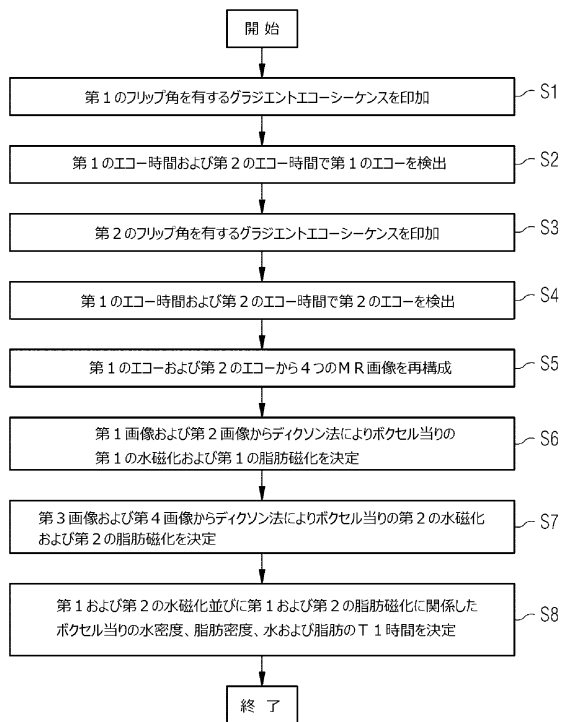
【図2】



【図3】



【図 4】



フロントページの続き

(72)発明者 シヤオドーン ジョーン

アメリカ合衆国 30047 ジョージア、リルバーン、ウッド スプリングス トレース サウ
スウエスト 3230

審査官 田中 洋介

(56)参考文献 米国特許出願公開第2011/0096974 (US, A1)

国際公開第2011/040439 (WO, A1)

国際公開第2011/108314 (WO, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

A61B 5/055

G01R 33/20 - 33/64

JMEDPlus (JDreamIII)

JSTPlus (JDreamIII)