(19)日本国特許庁(JP)　(12)公表特許公報(A)　(11)公表番号
特表2025-506863
(P2025-506863A)
(43)公表日　令和7年3月13日(2025.3.13)

(51)国際特許分類		FI			テーマコード（参考）
Ａ６１Ｂ	*5/055(2006.01)*	Ａ６１Ｂ	5/055	３８２	４Ｃ０９６
		Ａ６１Ｂ	5/055	３１１	
		Ａ６１Ｂ	5/055	３７６	

審査請求　未請求　予備審査請求　未請求　（全15頁）

(21)出願番号　特願2024-550691(P2024-550691)
(86)(22)出願日　令和5年2月22日(2023.2.22)
(85)翻訳文提出日　令和6年8月27日(2024.8.27)
(86)国際出願番号　PCT/EP2023/054407
(87)国際公開番号　WO2023/165865
(87)国際公開日　令和5年9月7日(2023.9.7)
(31)優先権主張番号　22159441.9
(32)優先日　令和4年3月1日(2022.3.1)
(33)優先権主張国・地域又は機関
欧州特許庁(EP)
(81)指定国・地域　AP(BW,CV,GH,GM,KE,LR,LS,MW,MZ,NA,RW,SD,SL,ST,SZ,TZ,UG,ZM,ZW),EA(AM,AZ,BY,KG,KZ,RU,TJ,TM),EP(AL,AT,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV
最終頁に続く

(71)出願人　590000248
コーニンクレッカ フィリップス エヌヴェ
Ｋｏｎｉｎｋｌｉｊｋｅ Ｐｈｉｌｉｐｓ Ｎ．Ｖ．
オランダ国 ５６５６ アーヘー アインドーフェン ハイテック キャンパス ５２
Ｈｉｇｈ Ｔｅｃｈ Ｃａｍｐｕｓ ５２，５６５６ ＡＧ Ｅｉｎｄｈｏｖｅｎ，Ｎｅｔｈｅｒｌａｎｄｓ
(74)代理人　100122769
弁理士　笛田 秀仙
(74)代理人　100163809
弁理士　五十嵐 貴裕
(74)代理人　100145654
最終頁に続く

(54)【発明の名称】　ＭＲフィンガープリンティングによる拡散マッピング

(57)【要約】
本発明は、ＭＲシステム１の検査ボリューム内に配置された対象１０のＭＲ撮像方法に関する。本発明の目的は、（ＭＲＦ又はＭＲ　ＳＴＡＴと同様に）取得パラメータの変化による時間的にインコヒーレントなＭＲ信号の生成に基づく定量的拡散ＭＲ画像を可能にすることである。本方法は、対象１０を、シーケンスブロックのトレインを含む撮像シーケンスに供するステップであって、各シーケンスブロックは、少なくとも１つのＲＦパルスと、少なくとも１つの切り替えスポイル磁場勾配と、ｋ空間サンプリングパターンを規定する少なくとも１つの切り替え読み出し磁場勾配とを有するとともに、当該シーケンスブロックに関連付けられた、スポイル磁場勾配の０次モーメントを含む取得パラメータのセットを有する、ステップと、撮像シーケンスの最中に、少なくともスポイル磁場勾配の０次モーメント及び任意の１又は複数の他の取得パラメータを変化させながら、ＭＲ信号を取得するステップと、少なくとも１つのＭＲ画像を再構成するステップであって、少なくとも１つの取得パラメータの変化によって引き起こされる取得されたＭＲ信

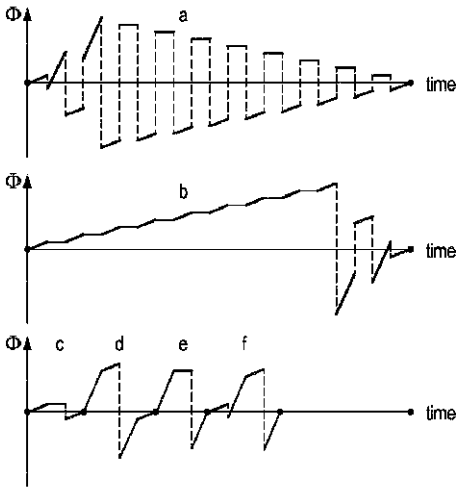


FIG. 3

【特許請求の範囲】
【請求項１】
ＭＲシステムの検査ボリューム内に配置された対象のＭＲ撮像方法であって、
対象を、シーケンスブロックのトレインを含む撮像シーケンスに供しするステップであって、各シーケンスブロックは、少なくとも１つのＲＦパルスと、少なくとも１つの切り替えスポイル磁場勾配と、ｋ空間サンプリングパターンを規定する少なくとも１つの切り替え読み出し磁場勾配と、を有するとともに、当該シーケンスブロックに関連付けられた、スポイル磁場勾配の０次モーメントを有する取得パラメータのセットを有し、前記撮像シーケンスは、２又はそれ以上のタイプのシーケンスブロックを有し、各タイプには、スポイル磁場勾配の０次モーメントの固定値が割り当てられ、前記固定値は、単位スポイル勾配値に、対の互いに素な整数を乗じたものである、ステップと、
前記撮像シーケンスの最中に、少なくともスポイル磁場勾配の０次モーメント及び任意の１つ又は複数の他の取得パラメータを変化させながら、ＭＲ信号を取得するステップと、
少なくとも１つのＭＲ画像を再構成するステップであって、前記少なくとも１つの他の取得パラメータの変化によって引き起こされる前記取得されたＭＲ信号のインコヒーレントな時間エボリューションから、少なくとも１つの拡散係数及び任意の１つ又は複数の他のＭＲパラメータが、複数の画像位置について計算される、ステップと、
を有する方法。
【請求項２】
２つの前記固定値の比が、少なくとも５、少なくとも１０、又は少なくとも２０である、請求項１に記載の方法。
【請求項３】
前記撮像シーケンスの最中に変化される前記他の取得パラメータは、繰り返し時間、エコー時間、フリップ角、ＲＦパルス位相及び／又は周波数、ｋ空間サンプリングパターン、読み出し磁場勾配、縦磁化準備のうちの１つ又は複数である、請求項１又は２に記載の方法。
【請求項４】
前記取得されたＭＲ信号の時間エボリューションから計算される前記１つ又は複数の他のＭＲパラメータが、T_1、T_2、スピン密度、主磁場B_0、ＲＦ磁場B_1のうちの１つ又は複数である、請求項１乃至３のいずれか１項に記載の装置。
【請求項５】
前記シーケンスブロックのうちの少なくともいくつかのＲＦパルスは、化学シフト選択的である、請求項１乃至４のいずれか１項に記載の方法。
【請求項６】
所与の画像位置における前記取得されたＭＲ信号の時間エボリューションを、予測されたＭＲ信号エボリューションパターンのセットに対してマッチングすることによって、前記拡散係数及び前記１つ又は複数の他のＭＲパラメータが計算される、請求項１乃至５のいずれか１項に記載の方法。
【請求項７】
前記予測されたＭＲ信号エボリューションパターンは、拡張位相グラフを使用して計算される、請求項６に記載の方法。
【請求項８】
検査ボリューム内に主磁場を生成する少なくとも１つの主磁石コイルと、前記検査ボリューム内の異なる空間方向に切り替え磁場勾配を生成する勾配コイルと、前記検査ボリューム内にＲＦパルスを生成し、及び／又は前記検査ボリューム内に位置決めされた対象からＭＲ信号を受信する少なくとも１つのＲＦコイルと、検査プロトコルに基づいてＲＦパルスの時間連続及び切り替え磁場勾配を制御する制御コンピュータと、前記受信されたＭＲ信号からＭＲ画像を再構成する再構成ユニットと、を有するＭＲシステムであって、前記ＭＲシステムは、

前記対象を、シーケンスブロックのトレインを含む撮像シーケンスに供するステップであって、各シーケンスブロックは、少なくとも１つのＲＦパルスと、少なくとも１つの切り替えスポイル磁場勾配と、ｋ空間サンプリングパターンを規定する少なくとも１つの切り替え読み出し磁場勾配とを有するとともに、当該シーケンスブロックに関連づけられた、スポイル磁場勾配の０次モーメントを含む取得パラメータのセットを有し、前記撮像シーケンスは、２又はそれ以上のタイプのシーケンスブロックを有し、各タイプには、スポイル磁場勾配のゼロ次モーメントの固定値が割り当てられ、前記固定値は、単位スポイル勾配値に、対の互いに素の整数を乗じたものである、ステップと、

前記撮像シーケンスの最中に、少なくともスポイル磁場勾配の０次モーメント及び任意の１つ又は複数の他の取得パラメータを変化させながら、ＭＲ信号を取得するステップと、

少なくとも１つのＭＲ画像を再構成するステップであって、前記少なくとも１つの取得パラメータの変化によって引き起こされる前記取得されたＭＲ信号のインコヒーレントな時間エボリューションから、少なくとも１つの拡散係数及び任意の１つ又は複数の他のＭＲパラメータが、いくつかの画像位置について計算される、ステップと、

を実行するＭＲシステム。

【請求項９】

シーケンスブロックのトレインを含む撮像シーケンスを実行する命令であって、各シーケンスブロックは、少なくとも１つのＲＦパルスと、少なくとも１つの切り替えスポイル磁場勾配と、ｋ空間サンプリングパターンを規定する少なくとも１つの切り替え読み出し磁場勾配とを有するとともに、当該シーケンスブロックに関連付けられた、スポイル磁場勾配の０次モーメントを含む取得パラメータのセットを有し、前記撮像シーケンスは、２又はそれ以上のタイプのシーケンスブロックを有し、各タイプには、スポイル磁場勾配の０次モーメントの固定値が割り当てられ、前記固定値は、単位スポイル勾配値に、対の互いに素な整数を乗じたものである、命令と、

前記撮像シーケンスの最中に、前記少なくともスポイル磁場勾配の０次モーメント及び任意に１つ又は複数の他の取得パラメータを変化させながら、ＭＲ信号を取得する命令と、

を有するコンピュータプログラム。

【請求項１０】

少なくとも１つのＭＲ画像を再構成する命令を更に有し、前記少なくとも１つの取得パラメータの前記変化によって引き起こされる前記取得されたＭＲ信号のインコヒーレントな時間エボリューションから、少なくとも１つの拡散係数及び任意の１つ又は複数の他のＭＲパラメータが、いくつかの画像位置について計算される、請求項９に記載のコンピュータプログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、磁気共鳴（ＭＲ）イメージングの分野に関する。本発明は、対象のＭＲイメージング方法に関する。本発明はまた、ＭＲシステムと、ＭＲシステム上で実行されるコンピュータプログラムとに関する。

【背景技術】

【０００２】

２次元又は３次元画像を形成するために磁場と原子核スピンとの間の相互作用を利用する画像形成ＭＲ方法は、軟組織の撮像に関して、多くの点で他のイメージング方法よりも優れており、電離放射線を必要とせず、通常侵襲性ではないので、今日、特に医療診断の分野で広く使用されている。

【発明の概要】

【０００３】

【発明が解決しようとする課題】

【０００４】
ＭＲフィンガープリンティング（ＭＲＦ）は、使用される撮像シーケンスの最中に、フリップ角、無線周波数（ＲＦ）位相、繰り返し時間（ＴＲ）、及びｋ空間サンプリングパターンなどの取得パラメータの連続変化を通して、異なる材料（組織）タイプについて時間的にインコヒーレントなＭＲ信号エボリューション（「フィンガープリント」を形成する）（エボリューション;evolution）の生成を使用する（Nature 495:187-192, 2013を参照）。この目的のために、撮像シーケンスは、シーケンスブロックのトレインを有し、各シーケンスブロックは、少なくとも１つのＲＦパルスと、ｋ空間サンプリングパターンを規定する少なくとも１つの切り替え読み出し磁場勾配とを有する。取得パラメータの個々のセットは、各シーケンスブロックに関連付けられる。パターンマッチングアルゴリズムは、フィンガープリントを、予測されるＭＲ信号エボリューションパターンの所定のディクショナリ（辞書、dictionary）に対してマッチングする。このようにして得られた、T_1、T_2、周波数シフト及び陽子密度マップのようなＭＲパラメータマップは、同様に、最良の信号マッチングから推定される。インコヒーレントなサンプリングと事前知識に基づくマッチングプロシージャの性質により、ＭＲＦは、深刻なエイリアシングアーチファクトを引き起こす高度にアンダーサンプリングされたｋ空間収集と組み合わせても、エラーに関して比較的鈍感であることが示されている。

【０００５】
いわゆるＭＲ　ＳＴＡＴ技術（Magnetic Resonance Spin Tomography in Time-domain、参照：Magnetic Resonance Imaging 46:56-62, 2018）では、被検対象内の磁気スピンのアンサンブルは大規模な非線形力学系として扱われ、（ＭＲＦのように）撮影パラメータがインコヒーレントに変化する撮像シーケンスブロックのトレインを重ねることによってプローブされる。これに基づいて定量的ＭＲ画像が１ステップのプロセスとして実行される；信号の位置特定とパラメータの定量化は、大規模な非線形逆問題の解によって同時に得られる。定量的パラメータマップは、非線形最適化アルゴリズムと、フーリエ変換に依存しない並列計算インフラストラクチャとを採用することによって再構成される。ＭＲ　ＳＴＡＴの利点は、測定プロセスに対する制約を緩和することができ、また、時間効率が良く、臨床ＭＲ画像スキャナにおいて広く利用可能な取得計画を使用することができることである。欠点は、再構成プロシージャ（典型的には約１０５の未知数を有する逆問題を解くことを含む）が計算的に非常に複雑であり、要求が厳しいことである。

【０００６】
拡散強調画像（ＤＷＩ、diffusion-weighted imaging）は、例えば急性虚血性脳卒中の検出又は脳腫瘍の特徴づけ及び区別のために重要なＭＲＩ技術である。ＤＷＩでは、組織内の（水分子の）拡散の大きさを表す見かけの拡散係数（apparent diffusion coefficient, ADC）を、磁場勾配の振幅や時間、あるいはＴＲを変化させることで定量的に評価することができる。

【０００７】
しかしながら、ＭＲＦ及びＭＲ　ＳＴＡＴのような既知の定量的技術は、重要なＭＲコントラストパラメータとして拡散を扱うには適していない。これは特に、予測されるＭＲ信号のエボリューションパターンの必要なディクショナリの計算のために使用される拡張位相グラフ形式（Extended Phase Graphs formalism; EPG、例えば、Journal of Magnetic Resonance Imaging 41:266-295, 2015又はM. T. Vlaardingerbroek and J. A. den Boer: Magnetic Resonance Imaging, Theory and Practice, 3. ed, Springer, 2002)は、拡散の処理においていくつかの問題を示すことによる。ＥＰＧアプローチの主な欠点は、ＴＲ及び撮像シーケンスに含まれるスポイル磁場勾配の０次勾配モーメントk_0について、切り替え磁場勾配及び静磁場勾配（磁場不均一性、磁化率又はT_2＊強調）の同期した位相エボリューションを有するために、パルストレイン全体を通して固定値を使用しなければならないことであり、これは、切り替え磁場勾配及び静磁場勾配の両方によって生成されたＭＲエコー信号が同時にリフォーカスされる（

以下、純粋なコヒーレンスと称する）ことを確実にする。非同期位相エボリューションは、切り替え磁場勾配と静磁場勾配によって生成されるＭＲエコー信号を異なる時点でリフォーカスし、その結果、異なるエコー時間の重ね合わせによるアーチファクトをＭＲ信号データに生じさせる（以下、不純なコヒーレンスと呼ぶ）。一方、シーケンス全体を通して固定のk_0を使用することは、インコヒーレントなＭＲ信号のエボリューションにおいて、拡散とT_2減衰を区別することを困難にし、これは、どちらも横磁化の減衰につながるためである。拡散マッピングでは、取得したＭＲ信号のデータエボリューションにおいて拡散を適切に符号化するために、k_0を大きく変化させる必要がある。

【０００８】

この背景に対して、改善された定量的ＭＲイメージング技術が必要であることが容易に理解される。本発明の目的は、（ＭＲＦ又はＭＲ　ＳＴＡＴにおけるようである）取得パラメータの変化による時間的にインコヒーレントなＭＲ信号エボリューションの生成に基づく定量的拡散ＭＲイメージングを可能にすることである。

【０００９】

【課題を解決するための手段】

【００１０】

本発明によれば、ＭＲシステムの検査ボリューム内に配置された対象のＭＲ撮像方法が開示される。この方法は、シーケンスブロックのトレインを含む撮像シーケンスに対象を供するステップであって、各シーケンスブロックは、少なくとも１つのＲＦパルスと、少なくとも１つの切り替えスポイル磁場勾配と、ｋ空間サンプリングパターンを規定する少なくとも１つの切り替え読み出し磁場勾配と、を有するとともに、当該シーケンスブロックに関連づけられた、スポイル磁場勾配の０次モーメントを含む取得パラメータのセットを有する、ステップと、撮像シーケンスの最中に少なくともスポイル磁場勾配の０次モーメント及び任意の１つ又は複数の他の取得パラメータを変化させながら、ＭＲ信号を取得するステップと、少なくとも１つのＭＲ画像を再構成するステップであって、少なくとも１つの取得パラメータの変化によって引き起こされる取得されたＭＲ信号のインコヒーレントな時間エボリューションから、少なくとも１つの拡散係数及び任意の１つ又は複数の他のＭＲパラメータとが、いくつかの画像位置について計算される、ステップと、を有する。

【００１１】

本発明の技術は、一般に、上述のＭＲイメージング技術（ＭＲＦ又はＭＲ　ＳＴＡＴ）に対応する。ＭＲ信号が、シーケンスブロックのトレイン及び変化する取得パラメータによって生成されることにより、特性インコヒーレントＭＲ信号エボリューション（フィンガープリント）が生成され、そこからＭＲパラメータが、各画像位置について定量的に導出される。スポイルされた勾配エコー撮像シーケンスにおいて一般に適用されるような固定のスポイル磁場勾配の代わりに、本発明は、可変のスポイル磁場勾配と、任意の他の可変の取得パラメータとを有する勾配エコーシーケンススキームを提案する。スポイル磁場勾配のゼロ次モーメント（k_0）の変化が、取得されたＭＲ信号の生成されたインコヒーレントな時間エボリューションにおいて拡散符号化を提供し、かかる拡散が他のＭＲパラメータ（横緩和時間など）から十分に区別可能であるので、本発明の方法は拡散マッピングを可能にする。

【００１２】

静磁場の不均一性に起因するＭＲエコー信号が完全にリフォーカスされないよう、（k_0の変動パターンを適切に選択することにより）上記の不純コヒーレンストモグラフィを抑制することが可能であるという洞察である。したがって、異なるエコー時間の重ね合わせに起因する、取得されたＭＲ信号データにおける望ましくないアーチファクトを、本発明によって回避することができる。

【００１３】

可能な実施形態では、撮像シーケンスは、２又はそれ以上のタイプのシーケンスブロック、例えば、タイプａ及びタイプｂを有し、各タイプには、k_0の固定値（k_{0a}及びｋ

$_{0b}$）が割り当てられる。各タイプには、固定の繰り返し時間ＴＲ$_a$及びＴＲ$_b$が更に割り当てられることができる。２（又はそれ以上）のタイプのシーケンスブロックが、任意にインターリーブされることができる。

【００１４】

一実施形態では、異なるシーケンスブロックタイプのｋ$_0$の固定値は、単位スポイル勾配値に、互いに素な整数を乗じたものである。例えば、ｋ$_{0a}$とｋ$_{0b}$は、その関係に応じて選択されることができる：

$k_{0a}=n_a \cdot k_0$，　$k_{0b}=n_b \cdot k_0$

【００１５】

上式で、ｎ$_a$及びｎ$_b$は、互いに素な正の整数であり（すなわち、１を除いて除数を共有しない）、ｋ$_0$は、ＭＲ信号をデフェーズするのに十分に大きい単位スポイル勾配モーメントである（すなわち、ｋ$_0$は、２π又はそれ以上の横磁化の位相シフトを引き起こすのに十分に大きいはずである）。後者の条件は、取得されたＭＲ信号への隣接する磁化状態のリークがないことを保証する。上記のｋ$_{0a}$及びｋ$_{0b}$の選択により、タイプａのシーケンスブロックの少なくともｎ$_b$回の繰り返し、及びタイプｂのシーケンスブロックのｎ$_a$回の繰り返しが、不純なコヒーレンスのリフォーカスが生じるまでに必要であることが分かる。実際の数は、異なるシーケンスブロックタイプのインターリーブスキームにも依存する。したがって、互いに素な数ｎ$_a$及びｎ$_b$の少なくとも一方について十分に大きな数値を選択することによって、望ましくない不純コヒーレンストモグラフィを抑制することができる。好ましくは、２つの互いに素な数の比は、少なくとも５、好ましくは少なくとも１０、最も好ましくは少なくとも２０である。不純なコヒーレンスの抑制は、このように、リフォーカスされる機会を得る前にこのコヒーレンスが受けるシーケンスブロックの長いトレインによって実行される。異なるフリップ角の多くのＲＦパルスを含むシーケンスブロックのトレインは、ＲＦパルスからＲＦパルスへのこのコヒーレンスの絶対強度を低減する。したがって、不純なコヒーレンストモグラフィは、緩和によって希釈及び減衰され、したがって、取得されたＭＲ信号データを著しく劣化させるには弱すぎる。互いに素な数ｎ$_a$及びｎ$_b$の選択、ならびに様々なシーケンスブロックタイプのインターリービングパターンの選択の両方を使用して、不純コヒーレンストモグラフィの抑圧を最適化することができる。なお、２又はそれ以上のシーケンスブロックタイプのＴＲは、任意に選択されることができる。３以上の異なるシーケンスブロックタイプを使用することが考えられる。

【００１６】

可能な実施形態では、撮像シーケンスの途中に変化する他の取得パラメータは、繰り返し時間、エコー時間、フリップ角、ＲＦパルス位相及び／又は周波数、ｋ空間サンプリングパターン、読み出し磁場勾配及び／又は縦磁化準備のうちの１つ又は複数である。従来のＭＲＦ技術と同様に、データ取得プロセス全体にわたって取得パラメータを連続的に変化させることによって、異なる材料からのＭＲ信号を空間的及び時間的にインコヒーレントにするＭＲ信号取得スキームが適用される。前述の取得パラメータは、前述のようなスポイル磁場勾配のゼロ次モーメントの変動に加えて、この目的のために使用されることができる。取得パラメータは、ランダムな方法、擬似ランダムな方法、又は異なる材料からのＭＲ信号が空間的にインコヒーレントであるか、時間的にインコヒーレントであるか、又はその両方であるようにする他の方法で、変更されることができる。

【００１７】

上述したように、取得パラメータの変化は、取得パラメータ（ｋ$_0$を含む）を１つのシーケンスブロックから次のシーケンスブロックへと変化させることによって、空間インコヒーレンス、時間インコヒーレンス、又はその両方を達成する。これは、様々なコントラストを有するＭＲ画像の時間連続を生成する。ＭＲＦ再構成プロセスは、上述のように、拡散係数、及び任意選択的な縦緩和時間Ｔ$_1$、横緩和時間Ｔ$_2$、主磁場又は静磁場Ｂ$_0$、高周波磁場Ｂ$_1$、及びスピン（陽子）密度などの多種多様なＭＲパラメータのいずれかをマッピングするように設計される。これを達成するために、取得されたＭＲ信号データの

時間エボリューションは、Ｂｌｏｃｈ方程式に基づく物理シミュレーション、又は好ましくは（計算的にはるかに単純であり、したがってより効率的である）拡張位相グラフ（ＥＰＧ）形式（上記参照）などのＭＲ信号モデルに基づいて、異なる取得パラメータについて前もって生成されたＭＲ信号エボリューションパターンのディクショナリと比較される。この比較は、関心のあるＭＲパラメータの推定を可能にする。一般に、所与の画像位置におけるＭＲパラメータは、取得されたＭＲ信号エボリューションと予測されたＭＲ信号エボリューションパターンとの間のベストマッチを提供するパラメータであると推定される。この目的のために、従来のパターンマッチングアルゴリズムが使用され得る。

【００１８】

本発明の一実施形態では、シーケンスブロックの少なくともいくつかのＲＦパルスは、化学シフト選択的である。これは、例えば、脂肪抑制を達成するために使用されることができる。

【００１９】

これまでに説明した本発明の方法は、検査ボリューム内に主磁場を生成する少なくとも１つの主磁石コイルと、検査ボリューム内の異なる空間方向に切り替え磁場勾配を生成する複数の勾配コイルと、検査ボリューム内にＲＦパルスを生成する、及び／又は検査ボリューム内に配置された対象からＭＲ信号を受信する、少なくとも１つのＲＦコイルと、検査プロトコルに基づいて、ＲＦパルスの時間連続及び切り替え磁場勾配を制御する制御コンピュータと、受信したＭＲ信号からＭＲ画像を再構成する再構成ユニットと、を有するＭＲシステムによって実行されることができる。

【００２０】

本発明の方法は例えば、ＭＲシステムの再構成ユニット及び／又は制御ユニットの対応するプログラムによって実現されることができる。

【００２１】

本発明の方法は、現在臨床上使用されるほとんどのＭＲシステムにおいて有利に実行されることができる。この目的のために、本発明の上述の方法ステップを実行するようにＭＲシステムが制御されるコンピュータプログラムを利用することのみが必要である。コンピュータプログラムは、ＭＲシステムの制御ユニットにインストールするためにダウンロードされるように、データ担体上に存在してもよいし、データネットワーク内に存在してもよい。

【００２２】

添付の図面は、本発明の好ましい実施形態を開示する。しかしながら、図面は説明のみを目的として設計されたものであり、本発明を制限する規定として設計されたものではないことを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【００２３】

【図１】本発明の方法を実行するＭＲシステムを示す図。

【図２】本発明に従って用いられる撮像シーケンスの一例を概略的に示す図。

【図３】交番スポイル磁場勾配を有する撮像シーケンスのためのＭＲ信号の異なるコヒーレンストモグラフィパスウェイの位相グラフを示す図。

【図４】交番スポイル磁場勾配を有するＭＲＦシーケンス設計と、脂肪と水を区別するための対応するディクショナリとを概略的に示す図。

【図５】本発明の方法を用いて水及び油ファントムから得られたＭＲＦ　T_1、T_2及びＡＤＣマップを示す図。

【発明を実施するための形態】

【００２４】

図１を参照して、ＭＲシステム１が示されている。このシステムは検査ボリュームを通ってｚ軸に沿って実質的に均一で時間的に一定の主磁場が生成されるように、超電導又は抵抗性の主磁石コイル２を有する。

【００２５】

磁気共鳴生成及び操作システムは、一連のＲＦパルス及び切り替え磁場勾配を適用して、核磁気スピンを反転又は励起し、磁気共鳴を誘導し、磁気共鳴をリフォーカスし、磁気共鳴を操作し、磁気共鳴を空間的に及び他の方法で符号化し、スピンを飽和させ、及び同様のものを行ってＭＲ撮像を実行する。

【００２６】

より具体的には、勾配パルス増幅器３が、検査ボリュームのｘ、ｙ及びｚ軸に沿って、全身勾配コイル４、５及び６の選択されたものに電流パルスを印加する。デジタルＲＦ周波数送信器７は、送信／受信スイッチ８を介して、ＲＦパルス又はパルスパケットを全身ボリュームＲＦコイル９に送信して、ＲＦパルスを検査ボリュームに送信する。典型的なＭＲ撮像シーケンスは、短い持続時間のＲＦパルスセグメントのパケットから構成されており、これらのセグメントは、互いに一緒になって、印加された磁場勾配と共に、核磁気共鳴の選択された操作を達成する。ＲＦパルスは、共鳴を飽和させる、共鳴を励起する、磁化を反転させる、共鳴をリフォーカスさせる、又は共鳴を操作し、検査ボリューム内に位置する対象（患者の身体）１０の部分を選択するために使用される。

【００２７】

パラレルイメージングによる身体１０の限られた領域のＭＲ画像の生成のために、一組の局所ＲＦコイル１１、１２、１３が、撮像のために選択された領域に隣接して配置される。得られたＭＲ信号は、ＲＦコイル１１、１２、１３によってピックアップされ、好適には前置増幅器（図示せず）を有する受信器１４によって復調される。受信器１４は、送受信スイッチ８を介してＲＦコイル９、１１、１２及び１３に接続される。

【００２８】

ホストコンピュータ１５は、勾配パルス増幅器３及び送信器７を制御して、エコープラナー画像、エコーボリューム画像、勾配及びスピンエコー画像、高速スピンエコー画像等のような複数のＭＲ画像シーケンスのいずれかを生成する。選択されたシーケンスに関して、受信器１４は、各ＲＦ励起パルスに続いて、単一又は複数のＭＲデータラインを迅速に連続して受信する。データ取得システム１６は受信信号のアナログ-デジタル変換を実行し、各ＭＲデータラインを更なる処理に適したデジタル形式に変換する。最新のＭＲシステムでは、データ取得システム１６は、別個のコンピュータであり、場合によっては、生の画像データの収集に特化した「クラウド内の」遠隔サーバである。最終的に、デジタルの生画像データは、フーリエ変換又は他の適切な再構成アルゴリズムを適用する再構成プロセッサ１７によって画像表現に再構成される。ＭＲ画像は、患者を横切る平面スライス、平行な平面スライスのアレイ、３次元ボリュームなどを表すことができる。次いで、画像は画像メモリに記憶され、画像メモリは、画像表現のスライス、投影、又は他の部分を、例えば、結果として得られるＭＲ画像の人間可読の表示を提供するビデオモニタ１８を介して、視覚化のための適切なフォーマットに変換するためにアクセスされることができる。

【００２９】

引き続き図１を参照し、更に図２～図５を参照して、本発明の撮像アプローチの実施形態を説明する。

【００３０】

上述したように、ＭＲ信号は、スポイルされた勾配エコー撮像シーケンスのシーケンスブロックのトレイン及び変化する取得パラメータによって生成されることにより、特性インコヒーレントＭＲ信号エボリューション（フィンガープリント）を生成し、かかるフィンガープリントから、拡散係数及び更なるＭＲパラメータのマップを導出することができる。本発明は、拡散マッピングを可能にするために可変スポイル磁場勾配を有する勾配エコーシーケンススキームを使用し、不純コヒーレンストモグラフィからの寄与が抑制され、静磁場不均一性によって引き起こされるＭＲエコー信号は、完全にリフォーカスされない。

【００３１】

本発明の一実施形態では、撮像シーケンスは、タイプａ及びタイプｂの２つのタイプの

シーケンスブロックから構成され、各タイプには、各タイプのシーケンスブロックに印加されるスポイル磁場勾配のゼロ次モーメントの固定値が割り当てられる。２つの固定値はk_{0a}及びk_{0b}と呼ばれる。

【００３２】

図２に示す実施形態では、使用される勾配エコーシーケンスの最初の４つのシーケンスブロックを示しており、$k_a = k_0$及び$k_b = k_0 + \Delta k$であり、ここで$TR_a = TR_1$及び$TR_b = TR_2$である。

【００３３】

図３に示される実施形態では、２つのタイプのシーケンスブロックが交互に適用される。k_{0a}及びk_{0b}は、単位スポイル勾配k_0に、互いに素な整数を乗じたものである：

$$k_{0a} = n_a \cdot k_0, \quad k_{0b} = n_b \cdot k_0$$

上式で、n_a及びn_bは、互いに素な正の整数であり、k_0は、磁気共鳴信号をデフェーズするのに十分な大きさの単位スポイル勾配モーメントである。図３では、$n_a = 2$と$n_b = 11$の組合せが用いられる。図３は、交番勾配モーメント（$n_a / n_b = 2 / 11$）を有する勾配エコーシーケンスのための様々なコヒーレンストモグラフィパスウェイを可視化するためのシミュレートされた位相図（φ、時間の関数として）を示すが、簡単にするために、２つのシーケンスブロックタイプについて固定のＴＲを用いている。不純なコヒーレンストモグラフィ（曲線ａ、ｂ）及び純粋なコヒーレンストモグラフィ（曲線ｃ、ｄ、ｅ、ｆ）をもたらすコヒーレンストモグラフィパスウェイが図示されている。第１の不純コヒーレンストモグラフィは、２１個のシーケンスブロックの数までリフォーカスされる（φ＝０）。対照的に、純粋なコヒーレンストモグラフィは、３つのシーケンスブロック（刺激エコー、曲線ｃ及びｅ）及び４つのシーケンスブロック（スピンエコー、曲線ｄ及びｆ）の後にすでに生じる。第１の不純コヒーレンストモグラフィを生成するために２１個のシーケンスブロックが必要とされるが、純粋なコヒーレンストモグラフィを生成するために３つのシーケンスブロックのみが必要とされるので、望ましくない不純コヒーレンストモグラフィは、緩和によって希釈及び減衰され、したがって、取得されたＭＲ信号データを劣化させるには弱すぎる。更に、k_{0a}及びk_{0b}並びに整数n_a及びn_bはそれぞれ、目的に応じてシーケンスプログラマによって影響を及ぼされることができるが、未知の主磁場不均一性は、ＴＲごとの蓄積位相にも寄与することができない。したがって、純粋なコヒーレンストモグラフィの場合、すべてのこれらの主磁場不均一性誘導位相の正味の寄与はエコー内で相殺するが、不純なコヒーレンストモグラフィの場合、これらの追加の位相は消失せず、勾配誘導エコー形成の時点で非ゼロ位相をもたらすことに留意することが重要である。この効果は、すでに長いパスウェイで希釈された不純コヒーレンストモグラフィからの不純な信号寄与のさらなるディフェージングをもたらす。

【００３４】

水（ファントム液体１３）及び油（スペクトラシン４）のファントムボトルを用いて、１．５Ｔ　ＭＲＩスキャナー（Philips Ingenia）で実験を行った。本発明によるＭＲＦの場合、T_1、T_2及びＡＤＣをマッピングするために、スポイルされたインターリーブされたスパイラル撮像シーケンスを使用した（１ｍｍの解像度、８ｍｓの取得ウィンドウ、ショット当たり８００シーケンスブロックを有する３つのショット、繰り返し時間ＴＲ＝２４ｍｓ、アンダーサンプリング係数５０／３）。ショットは、反転ＲＦパルスによって先行され、最適化されたフリップ角変動を有した。図４の上の図は、定量的マッピングの感度を改善するために、撮像シーケンスの最中のフリップ角（ＦＡ）の変化を示す。シーケンスブロックのトレインの（略）前半には、小さなスポイル磁場勾配（ｂ値、約０．２ｓ／mm^2）が使用され、一方、ＭＲＦシーケンスの後半には、それぞれ３及び５９の互いに素な係数に対応する強いスポイル磁場勾配（ｂ値、約９０ｓ／mm^2）が使用された。実験では、第１の不純コヒーレンストモグラフィは、シーケンスブロックのトレインの後半の第１のパルスによって、後半の第４のパルスにおけるスピンエコーにリフォーカスされる。コヒーレンスパスウェイの希釈（不純なコヒーレンスを発生させない多くの経路の中で、１つの経路だけが不純なコヒーレンスを発生させる）や緩和減衰とは別に、

１秒以上の長いエコー時間によるＴ２＊の減衰も、このコヒーレンスの効率的な抑制に寄与している。採用したシーケンスについて、ＥＰＧ形式を用いて、Ｔ１、Ｔ２、ＡＤＣ値の範囲についてディクショナリを計算した。水と油の対応するフィンガープリントは、水と油の異なる拡散定数を反映している。図４の下の図は、水と油の異なる拡散係数を反映した水と油の２つのフィンガープリントを示している。

【００３５】

ディクショナリとアンダーサンプリングされたスパイラル画像から、カスタムＭＲＦシミュレーション環境を用いてＴ１、Ｔ２、ＡＤＣマップをフィッティングした。得られたマップを図５に示す。これらのマップは期待値と良く一致している。特に、油と水のＡＤＣ値がそれぞれ低いことと高いことを成功裏に明らかにすることができた。この結果から、可変スポイル磁場勾配がＴ２と拡散の区別を可能にすることが確認された。

【図面】

【図１】

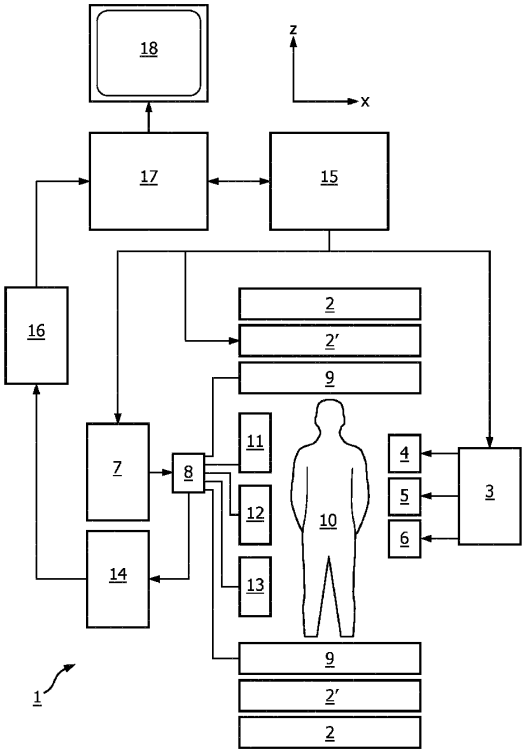


FIG. 1

【図２】

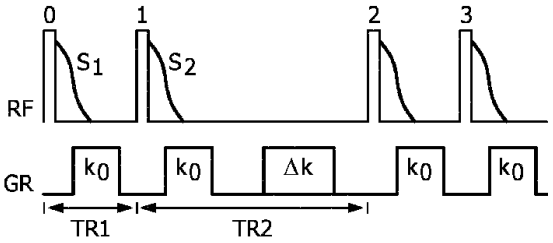
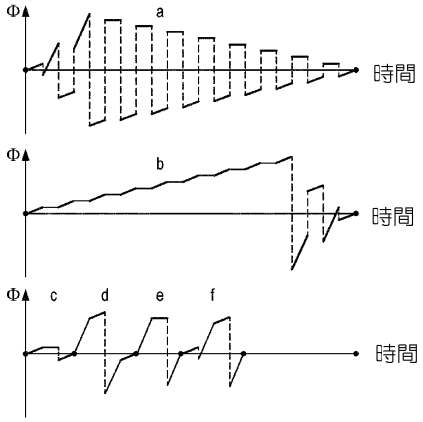
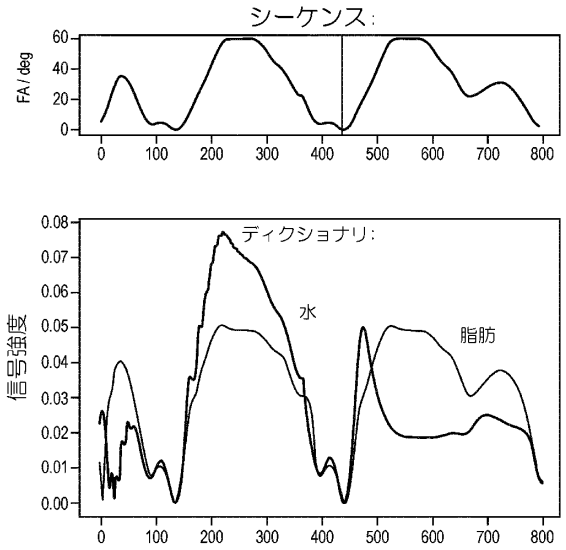


FIG. 2

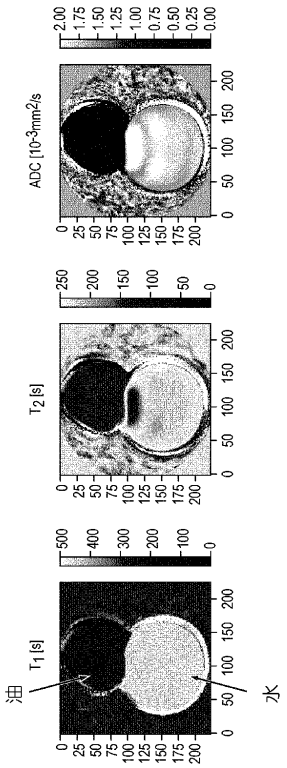
【図３】


Φ
a
時間
Φ
b
時間
Φ
c
d
e
f
時間

【図４】


シーケンス:
FA / deg
60
40
20
0
0
100
200
300
400
500
600
700
800
ディクショナリ:
信号強度
0.08
0.07
0.06
0.05
0.04
0.03
0.02
0.01
0.00
水
脂肪
0
100
200
300
400
500
600
700
800

【図５】


ADC [10-3mm2/s
T2 [s]
T1 [s]
油
水

【国際調査報告】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2023/054407

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
INV. G01R33/563 G01R33/561 G01R33/54
ADD. G01R33/44 G01R33/485 G01R33/50

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
G01R

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
EPO-Internal, WPI Data

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	COHEN OURI, ROSEN MATTHEW S.: "Simultaneous Diffusion, PD, T1, and T2 Mapping with Optimized MR Fingerprinting EPI", PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SOCIETY FOR MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE, 26TH ANNUAL MEETING AND EXHIBITION, PARIS, FRANCE, 16-21 JUNE 2018, vol. 26, 4270, 1 June 2018 (2018-06-01), XP040703478, page 1; figures 1, 4 -----	1-10
A	US 2021/259775 A1 (KUSTRA JACEK LUKASZ [NL] ET AL) 26 August 2021 (2021-08-26) paragraph [0047] - paragraph [0048] ----- -/--	1-10

[x] Further documents are listed in the continuation of Box C. [x] See patent family annex.

* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance;; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
12 April 2023	20/04/2023

Name and mailing address of the ISA/	Authorized officer
European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016	Raguin, Guy

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2023/054407

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	OLIVIER JAUBERT ET AL: "Water-fat Dixon cardiac magnetic resonance fingerprinting", MAGNETIC RESONANCE IN MEDICINE, vol. 83, no. 6, 18 November 2019 (2019-11-18), pages 2107-2123, XP055693732, US ISSN: 0740-3194, DOI: 10.1002/mrm.28070 the whole document -----	7,9

Form PCT/ISA/210 (continuation of second sheet) (April 2005)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No
PCT/EP2023/054407

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2021259775 A1	26-08-2021	CN 112384279 A	19-02-2021
		EP 3583982 A1	25-12-2019
		EP 3806954 A1	21-04-2021
		US 2021259775 A1	26-08-2021
		WO 2019243295 A1	26-12-2019

Form PCT/ISA/210 (patent family annex) (April 2005)

フロントページの続き

,MC,ME,MK,MT,NL,NO,PL,PT,RO,RS,SE,SI,SK,SM,TR),OA(BF,BJ,CF,CG,CI,CM,GA,GN,GQ,GW,KM,ML,MR,NE,SN,TD,TG),AE,AG,AL,AM,AO,AT,AU,AZ,BA,BB,BG,BH,BN,BR,BW,BY,BZ,CA,CH,CL,CN,CO,CR,CU,CV,CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IQ,IR,IS,IT,JM,JO,JP,KE,KG,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,NI,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,SC,SC,SD,SE,SG,SK,SL,ST,SV,SY,TH,TJ,TM,TN,TR,TT,TZ,UA,UG,US,UZ,VC,VN,WS,ZA,ZM,ZW

弁理士　矢ヶ部 喜行

(72)発明者　ネールケ ケイ
オランダ国 ５６５６ アーヘー アインドーフェン ハイ テック キャンパス ５２ フィリップス インターナショナル ベー ヴェ インテレクチュアル プロパティ アンド スタンダーズ

(72)発明者　アムサール トマス エリク
オランダ国 ５６５６ アーヘー アインドーフェン ハイ テック キャンパス ５２ フィリップス インターナショナル ベー ヴェ インテレクチュアル プロパティ アンド スタンダーズ

(72)発明者　ブールネルト ペーター ウルリッヒ
オランダ国 ５６５６ アーヘー アインドーフェン ハイ テック キャンパス ５２ フィリップス インターナショナル ベー ヴェ インテレクチュアル プロパティ アンド スタンダーズ

(72)発明者　ドネヴァ マリヤ イヴァノヴァ
オランダ国 ５６５６ アーヘー アインドーフェン ハイ テック キャンパス ５２ フィリップス インターナショナル ベー ヴェ インテレクチュアル プロパティ アンド スタンダーズ

(72)発明者　コーケン ペーター
オランダ国 ５６５６ アーヘー アインドーフェン ハイ テック キャンパス ５２ フィリップス インターナショナル ベー ヴェ インテレクチュアル プロパティ アンド スタンダーズ

Ｆターム（参考）　4C096　AA03 AA04 AA17 AD06 AD07 BA20 BA25 BB02 BB03 BB06 BB07 BB10 DA30 DB06

【要約の続き】

号のインコヒーレントな時間的エボリューションから、少なくとも１つの拡散係数及び任意の１つ又は複数の他のＭＲパラメータが、いくつかの画像位置について計算される、ステップと、を有する。更に、本発明は、この方法を実行するためのＭＲシステム１と、ＭＲシステム上で実行されるコンピュータプログラムとに関する。