

【公報種別】特許法第 17 条の 2 の規定による補正の掲載

【部門区分】第 1 部門第 2 区分

【発行日】平成30年6月14日(2018.6.14)

【公表番号】特表2016-501590(P2016-501590A)

【公表日】平成28年1月21日(2016.1.21)

【年通号数】公開・登録公報2016-005

【出願番号】特願2015-544273(P2015-544273)

【国際特許分類】

A 6 1 B 5/055 (2006.01)

G 0 1 N 24/08 (2006.01)

【F I】

A 6 1 B 5/05 3 8 2

A 6 1 B 5/05 3 7 6

G 0 1 N 24/08 5 1 0 P

【誤訳訂正書】

【提出日】平成30年4月27日(2018.4.27)

【誤訳訂正 1】

【訂正対象書類名】特許請求の範囲

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

磁気共鳴(MR)化学種の相対比率を特徴付ける方法であって、1つ以上の化学種がマルチピークMRスペクトルを有し、

a) 少なくとも1つのマルチピーク化学種の2つの主スペクトルピーク間の周波数の相違に係する同位相測定時間窓と逆位相測定時間窓を定義し、2つの主ピークについて最大限の同位相に向かって進行中の信号を前記同位相測定時間窓が捕捉し、2つの主ピークについて最大限の逆位相に向かって進行中の信号を前記逆位相測定時間窓が捕捉する。

b) 前記逆位相測定時間窓で求めた基準信号減衰に対する前記同位相測定時間窓の信号中の増加した上方への偏りを特定し、前記同位相測定時間窓での信号中の上方への偏りは、別の種に対する1つ以上のマルチピークスpectル種の増加した存在のインジケータを提供する。

ことを含む方法。

【請求項 2】

前記逆位相測定時間窓での信号の偏りも、前記逆位相測定時間窓の基準信号減衰に対して特定され、逆位相の偏りは、別の種に対する1つ以上のマルチピークのスペクトル種の低減存在のインジケータとして機能する、請求項1の方法。

【請求項 3】

磁気共鳴画像(MRI)で利用される、請求項2の方法。

【請求項 4】

マルチピーク化学種は脂肪またはシリコンである、請求項1の方法。

【請求項 5】

身体の中の脂肪の割合および/または分布のMRイメージングを含んでいる、請求項3の方法。

【請求項 6】

前記基準信号減衰は、MR信号に寄与する化学種の緩和効果により平均化される、請求項1の方法。

【請求項 7】

前記基準信号減衰は、MR 信号に寄与する化学種の緩和影響の平均化を表す単一の指数関数的減衰である、請求項 1 の方法。

【請求項 8】

前記逆位相測定時間窓を 2 つの小さい窓に細分するステップと、

前記小さい窓それぞれの平均強度値と平均測定時間値を求めるステップと、

2 つの平均強度 / 測定時間ペアを使用して、単一の指数関数的減衰の式により基準緩和プロセスのため 2 点近似を求めるステップと、
を含む経験的アプローチによって基準信号減衰を求めることを含んでいる、請求項 1 の方法。

【請求項 9】

特定の測定時に基準緩和方程式で算出した基準信号強度を、前記測定時の実信号強度から引いて、前記実信号強度に対して正規化することにより、基準信号減衰から信号強度の偏りを求めることを含んでいる、請求項 1 の方法。

【請求項 10】

前記同位相測定時間窓での同位相の偏りから同位相の特徴的な偏りを求め、前記逆位相測定時間窓での逆位相の偏りから逆位相の特徴的な偏りを求める、請求項 9 の方法。

【請求項 11】

前記同位相の特徴的な偏りを、前記同位相測定時間窓での最大の絶対値の偏りとして求め、前記逆位相の特徴的な偏りを、前記逆位相測定時間窓での最大の絶対値の偏りとして求めることを含んでいる、請求項 9 の方法。

【請求項 12】

同位相および逆位相の偏りの拡大縮小と閾値化の組合せによってマルチピーク化学種の割合を求めることを含んでいる、請求項 9 の方法。

【請求項 13】

別の種に対するマルチピーク化学種のより少ない割合は、同位相および逆位相の偏りについて経験的に求めた閾値内で、拡大縮小した逆位相の偏りに等しいとみなす、請求項 9 の方法。

【請求項 14】

別の種に対するマルチピーク化学種のより大きい割合は、同位相および逆位相の偏りについて経験的に求めた閾値外で、拡大縮小された逆位相の偏りを 1 から引いて拡大縮小した値に等しいとみなす、請求項 9 の方法。

【請求項 15】

マルチピーク化学種の割合を使用し、基準信号減衰から測定時間 0 m s での信号強度を参照して測定時間 0 m s での化学種の信号強度の初期推定値を求めることを含んでいる、請求項 12 の方法。

【請求項 16】

磁気共鳴 (MR) 緩和率および 2 つ以上の磁気共鳴化学種の相対比率を特徴付けることを含み、1 つの主 MR スペクトルピークを持っている他の化学種に対し、化学種 1 つが 2 つ以上の主 MR スペクトルピークを持っている、請求項 1 の方法。

【請求項 17】

2 つ以上の主スペクトルピークを持つ化学種は脂肪で、1 つの主スペクトルピークを持つ化学種は水である、請求項 16 の方法。

【請求項 18】

収集したエコー時間画像データからの一つ以上の追加の交絡因子を考慮することを含み、脂肪フラクションのパーセンテージあるいは割合を推定することを含んでいる、請求項 1 の方法。

【請求項 19】

前記 1 つ以上の追加の交絡因子は R_2^* 値の上昇を含んでいる、請求項 18 の方法。

【請求項 20】

グラディエントエコー画像データをエコー時間まで収集することを含み、前記エコー時間は、2つの化学種からの複素信号のどちらかが、最初は逆位相で次に同位相になる時間か、またはマルチピークスpekトル種の2つの主水素プロトンブールの複素信号が、最初は逆位相で次に同位相になる時間の長い方である、請求項1の方法。

【請求項21】

最長エコー時間まで収集したデータを、前記同位相測定時間窓と前記逆位相測定時間窓からなる2つの測定時間窓に分けることにより、2つ以上の化学種の相対比率を推定することを含んでいる、請求項1の方法。

【請求項22】

第1測定時間窓である前記逆位相測定時間窓は、0ミリ秒(0ms)のエコー時間から、2つの主脂肪水素プロトンブールからの複素信号が最初に逆位相になるエコー時間ポイントまで広がる、請求項21の方法。

【請求項23】

第2測定時間窓である前記同位相測定時間窓は、2つの主脂肪水素プロトンブールからの複素信号が同位相に戻るエコー時間の期間をカバーする、請求項21の方法。

【誤訳訂正2】

【訂正対象書類名】明細書

【訂正対象項目名】全文

【訂正方法】変更

【訂正の内容】

【発明の詳細な説明】

【発明の名称】磁気共鳴イメージングの改善

【技術分野】

【0001】

本発明は磁気共鳴イメージングに関する。

【背景技術】

【0002】

臨床磁気共鳴(MR)イメージング技術は、概して水素プロトンからの信号を検出している。

【0003】

検出された水素プロトンは、主に水の一部、タンパク質、炭水化物、脂肪などの有機分子の一部、またはシリコンなどの無機-有機複合体の一部である。

【0004】

イメージングボクセルにおける、様々な水素プロトンブールのそれぞれの信号強度は、それらのスピン密度、縦横の緩和時間(それぞれT1とT2)、および使用したイメージング・シーケンスのパラメータの組み合わせに因る。

【0005】

MRイメージング(MRI)は、水素原子(単一の陽子核(^1H)を有する水素)の特定の特性を利用することで、シリコンまたは脂質(脂肪)分子などの、組織内の水素含有種の化学形態と局所的微視環境に応じて、軟部組織間の優れたコントラストを提供している。

【0006】

脂肪またはシリコンなどの高分子中の水素プロトンの電子による遮蔽は、水の中の水素プロトンで経験するそれより大きい。その結果、水素プロトンにとって異なる微視的磁界環境になり、異なる水素含有化学種では異なる水素プロトン共振周波数になる。これは化学シフトと呼ばれる。

【0007】

例えば、脂肪は、その多様な水素プロトン鎖に起因した複数のピークを持つ複合spekトルを有することが知られ、最大のピークは、水のピークから約3.5ppm(～3.5ppm)だけ低磁場へシフトしている。

【 0 0 0 8 】

既知のMR画像機器は、水のピークと比較した脂肪のピークを抑制することに依存している。水のピークと関連する脂肪抑制のためのより高度な手法は、脂肪のピークの抑制というよりは、空間的スペクトルパルス (spatial spectral pulses) を介して水のピークを直接励起している。

【 0 0 0 9 】

水および脂肪からの信号を良好かつ正確に分離する、化学シフトベースの水 - 脂肪分離方法は、臓器の脂肪浸潤を様々な疾病状態で定量化できる機構を提供している。例えば、非アルコール性脂肪性肝疾患 (NAFLD) は、米国の慢性肝疾患の主な原因であり、米国人口のおよそ三分の一に影響している。NAFLDの診断のための現在のベンチマークは、高額かつ危険でサンプリング変動の高い肝生検であり、その臨床的有用性が非常に制限されている。したがって、疾病の早期発見だけでなく、疾病の重症度を信頼性良く定量化するために、イメージングなどの非侵襲性バイオマーカーのニーズが高い。

【 0 0 1 0 】

2つの異なるMR化学種が特定のボリウム内のMR信号を支配できる場合、信号が特定の種のために減衰または回復する相対比率または平均レートが、演繹的 (先験的) に別の種に関連して分からなければ、あるいは、他の解剖学的参考情報が、区別のために利用可能でなければ、特定の信号成分を特定の種に帰することがかなりの問題となることがある。これは、MR信号に寄与する2つ以上のMR種の特有の横緩和率と相対比率を引き出すために、多指数関数的減衰曲線フィッティング (multi-exponential decay curve fitting) を、異なるエコー時間で収集した信号強度データに試す、スピンエコーイメージングで古典的に見られる。同様の状況は、MR信号に寄与する化学種の特有のMR周波数の差に起因したMR信号減衰曲線に正弦波振動を重ねるグラディエントエコーイメージングで発生する。その例が、水と脂肪の両方を含むボリウムのグラディエントエコーイメージングで生じ、この場合、水と脂肪の信号を分離することおよび/またはそれぞれの相対的寄与率を求めることが望まれる。水/脂肪信号モデルがそれぞれの種の特有のMR周波数を想定し、マグニチュードイメージデータにフィッティングしている場合、特定の組織が脂肪50%を超えないことあるいは区別するために他の解剖学的情報を使用できることが分からなければ、水または脂肪のどちらかへの特定信号成分の割り当てを信頼性良く行なえない。

【 0 0 1 1 】

グラディエントエコー画像データへの双指数関数的信号減衰モデル (a bi-exponential signal decay model) のフィッティングで生じる水/脂肪が曖昧であるという問題は、脂肪が単一の共振周波数によって特徴付けられるモデルを過度に単純化することにより生じている。この曖昧さは、脂肪分子の主要水素プロトン群からのMR信号への寄与を考慮する代わりに、脂肪のマルチピークスペクトルモデルを使用することによって解決する可能性があるが、脂肪フラクションが50%を超えた場合の有用性は、この手法を使用しマグニチュードベースの技術で実証されていない (2011年ヨコオ他)。

【 0 0 1 2 】

マグニチュードと位相の両方の複合データを使用すると、水/脂肪が曖昧であるという問題の解決に役立つが、様々なソースからのフェーズエラーに対しより敏感な複合データで、フィールドマップを求めることも必要としている (2008年のユー他、2009年のリーダー他、そしてリーダー他に対し特許文献1として公開された米国特許出願)。

【 先行技術文献 】

【 特許文献 】

【 0 0 1 3 】

【 特許文献 1 】 米国特許出願公開第 2 0 1 1 / 0 2 5 4 5 4 7 号明細書

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 1 4 】

しかしながら、脂肪と水の相対比率とそれらの緩和率の初期推定値が、別の種の実際の値をより密接に反映する場合、曖昧さが依然生じることがあり、フィッティング (fit) が各成分の不正確な割り当てに収束する場合がある。このような結果は、双指数関数的信号減衰モデル化で容易に発生しうるもので、フィッティングとデータとの違いの平均 2 乗誤差のための極小値が多数あり、フィッティングルーチンが大域的最小解 (the global minimum solution) を表すものとして描かれて、脂肪成分を水成分としてまたその逆に間違ってみなすことがある。

【 0 0 1 5 】

水シリコン分離 MR イメージング技術に関して、本発明の 1 つ以上の態様を使用してシリコン豊富な種の存在を評価できることが認識され、インプラントの漏れや損傷の発生の有無を特定する。これは、胸その他のシリコンベースのインプラントのきわめて重要な非浸潤性の安全性スクリーニング技術を提供できる。

【 0 0 1 6 】

本発明は、望ましくは脂肪またはシリコンなどの 1 つの選択種の割合を定量化することによって、組織中の水からの化学的分離を可能にする磁気共鳴技術を提供する。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 1 7 】

上記を考慮して、本発明の態様が提供するの、磁気共鳴 (MR) 化学種の相対比率を特徴付ける方法であって、1 つ以上の化学種がマルチピーク MR スペクトルを有し、

a) 少なくとも 1 つの前記マルチピーク化学種の 2 つの主スペクトルピーク間の周波数の相違に関係する同位相 (in-phase) 測定時間窓と逆位相 (out-phase) 測定時間窓を定義し、2 つの主ピークについて最大限の同位相に向かって進行中の信号を前記同位相測定時間窓が捕捉し、2 つの主ピークについて最大限の逆位相に向かって進行中の信号を前記逆位相測定時間窓が捕捉する。

b) 前記逆位相測定時間窓で求めた基準信号減衰に対する前記同位相測定時間窓での信号中の増加した上方への偏りを特定し、前記同位相測定時間窓での信号中の上方への偏りは、別の種に対する前記 1 つ以上のマルチピークスpekトル種の増加した存在のインジケータを提供する。

ことを含む方法。

【 0 0 1 8 】

この方法は、前記逆位相測定時間窓の基準信号減衰に対して、前記逆位相測定時間窓での信号の偏りを特定することを含むように拡大でき、そのような逆位相の偏りは、別の種に対する 1 つ以上のマルチピークスpekトル種の低減存在のインジケータとして機能する。

【 0 0 1 9 】

本発明の 1 つ以上の態様は、マルチピーク化学種の MR イメージングを有利に可能にする。

【 0 0 2 0 】

好ましくは、マルチピーク化学種は脂肪またはシリコンである。

【 0 0 2 1 】

内臓および / または皮下脂肪などの身体の中、または肝臓などの臓器や組織の中の脂肪の割合および分布は、本発明の 1 つ以上の実施例を使用して MR 画像化できる。

【 0 0 2 2 】

この基準信号減衰は、単一の指数関数的減衰によりさらに表すことができるように、MR 信号に寄与する化学種の緩和影響 (relaxation affects) を平均することを表すとみなされる。

【 0 0 2 3 】

マルチピーク化学種のパーセンテージの増加に従って、この基準減衰からの偏りが増大する。したがって、例えば、75%の脂肪と25%の水に対する25%の脂肪と75%の水のように、不注意に入れ替わることのない2つ以上の化学種 (例えば水と脂肪) のフラ

クションについて初期推定値を引き出すことが可能になる。25%の脂肪含有量と比べて、75%の脂肪含有量は、同位相測定時間窓の測定信号における増加した上方への偏りに寄与することとなる。

【0024】

本発明の1つ以上の実施例は、2つの異なる磁気共鳴化学種の磁気共鳴(MR)緩和率および相対比率の特徴づけを有利に可能とし、一方の化学種は、1つの主MRスペクトルピーク(水の1H-MRスペクトルなど)を持つ別の化学種に対し、2つ以上の主MRスペクトルピーク(脂肪の1H-MRスペクトルなど)を持っている。

【0025】

従って、本発明は、組織中の脂肪(または、他の選択種)と水の量のパーセンテージ/比率のイメージングを有利に可能にする。

【0026】

水との関係で他のマルチスペクトル種を特定するために、本発明を使用できることが分かる。例えば、シリコンンについて、インプラントから組織中や隣接組織へのシリコンンの漏れを同定および定量する。

【0027】

1H(水素プロトン)臨床画像で組織内のMR信号の挙動に寄与する磁気共鳴化学種の割合の分離には固有の困難があり、関心領域上の平均信号または個々のボクセルに割り当てられた信号についてである。これは、信号量(例えば、ボクセル)内の特定の水素プロトンプールの信号におけるMR緩和または回復が、一般的に、他の水素プロトンプールと同じフォームの信号展開曲線に追従していることに起因している。2つの主水素プロトンプールがある場合、各プールの割合を不注意に割り当てミスしないことが難しい。

【0028】

本発明は、単一(水)共鳴ピークに関して、脂肪などの目標化学種のマルチピークスペクトルモデルの2つのピーク間の挙動解析を通して、脂肪と水成分の初期推定値の割り当てミスおよび/または十分な精査という問題を解決する。

【0029】

本発明を、例えば、シリコンンから水のような、1H-MR化学種以外のものの分離にも適用できることが、当業者には明白であろう。

【0030】

脂肪フラクションのパーセンテージの推定値はさらに精査され、 R^2 値の上昇など、他の潜在的交絡因子(potential confounds)を考慮に入れることができ、その度合いは収集したエコー時間画像データから推定することもできることが、当業者には明白であろう。

【0031】

同位相測定時間窓および逆位相測定時間窓の概念内で得られた情報に基づく他の派生も、本発明の範囲に入ると判断できる。

【0032】

2つの主脂肪スペクトルピークの周波数差に関する同位相測定時間窓および逆位相測定時間窓を定義する概念は、奥深いと考えられる。水と脂肪を含む信号量(signal volume)では、脂肪含有率の増加は、基準信号減衰に関連する同位相測定時間窓における測定信号の増加した上方への偏りにつながる。基準信号減衰は、水と脂肪からの緩和寄与の平均表現である単一の指数関数的減衰として最適に表現される。脂肪含有率の増加に従って、この基準減衰からの偏りが増大する。例えば、75%の脂肪と25%の水に対する25%の脂肪と75%の水のように、不注意に入れ替わることのない水と脂肪のフラクションの初期推定値を引き出すことが可能になる。25%の脂肪含有量と比べて、75%の脂肪含有量は、同位相測定時間窓の測定信号における増大した上方への偏りに寄与することになる。

【0033】

本発明の更なる実施例は、逆位相測定時間窓を2つの小さい窓に細分するステップと；

前記小さい窓それぞれの平均強度値と平均測定時間値を求めるステップと；2つの平均強度／測定時間ペアを使用して、単一の指数関数的減衰の式により、基準緩和プロセスのため2点近似（2-point approximation）を求めるステップとを含む経験的アプローチによって基準信号減衰を求めることを含む。

【0034】

好ましくは、特定の測定時に基準緩和方程式で算出した基準信号強度を、前記測定時の実信号強度から引いて、前記実信号強度に対して正規化することにより、信号強度の偏りを基準信号減衰から求める。

【0035】

前記同位相測定時間窓での同位相の偏りから同位相の特徴的な偏りを求め、前記逆位相測定時間窓での逆位相の偏りから逆位相の特徴的な偏りを求める。好ましくは、前記同位相の特徴的な偏りを、前記同位相測定時間窓での最大の絶対値の偏りとして求め、前記逆位相の特徴的な偏りを、前記逆位相測定時間窓での最大の絶対値の偏りとして求める。

【0036】

本発明の方法は、前記同位相および逆位相の偏りの拡大縮小と閾値化（thresholding）の組合せによってマルチピーク化学種の割合を求めることを含む。

【0037】

別の種に対するマルチピーク化学種のより少ない割合は、同位相および逆位相の偏りについて経験的に求めた閾値内で、拡大縮小した逆位相の偏りに等しいとみなす。

【0038】

別の種に対するマルチピーク化学種のより大きい割合は、前記同位相および逆位相の偏りについて経験的に求めた閾値外で、拡大縮小された逆位相の偏りを1から引いて拡大縮小した値に等しいとみなす。

【0039】

本発明の一つ以上の実施例は、マルチピーク化学種の割合を使用し、基準信号減衰から測定時間0msでの信号強度を参照して測定時間0msでの化学種の信号強度の初期推定値を求めることを含む。

【0040】

好ましくは、本発明の一つ以上の実施例は、磁気共鳴（MR）緩和率および2つ以上の磁気共鳴化学種の相対比率を特徴付けることを含み、1つの主MRスペクトルピークを持っている他の前記化学種に対し、前記化学種1つが2つ以上の主MRスペクトルピークを持っている。

【0041】

本発明の一つ以上の実施例は、磁気共鳴（MR）緩和率および2つ以上の磁気共鳴化学種の相対比率を特徴付けることを含んで良く、1つの主MRスペクトルピークを持っている他の前記化学種に対し、前記化学種1つが2つ以上の主MRスペクトルピークを持っている。

【0042】

好ましくは、2つ以上の主スペクトルピークを持つ化学種は脂肪であり、1つの主スペクトルピークを持つ化学種は水である。

【0043】

脂肪フラクションのパーセンテージあるいは割合を推定でき、好ましくは、収集したエコー時間画像データから一つ以上の追加の交絡因子（additional confounds）を考慮（accounting for）することを含む。1つ以上の追加の交絡因子は R^2 値の上昇を含む。

【0044】

好ましくは、グラディエントエコー画像データをエコー時間まで収集する。エコー時間は、2つの化学種からの複素信号（complex signals）のどちらかが、最初は逆位相で次に同位相になる時間、またはマルチピークスペクトル種の2つの主水素プロトンブールの複素信号が、最初は逆位相で次に同位相になる時間の長い方である。

【0045】

最長エコー時間まで収集したデータを、前記同位相測定時間窓と前記逆位相測定時間窓からなる2つの測定時間窓に分けることにより、2つ以上の化学種の相対比率を推定する。

【0046】

第1測定時間窓である前記逆位相測定時間窓は、0msのエコー時間から、2つの主脂肪水素プロトンプールからの複素信号が最初に逆位相になるエコー時間ポイントまで広がる。

【0047】

第2測定時間窓である前記同位相測定時間窓は、2つの主脂肪水素プロトンプールからの複素信号が同位相に戻るエコー時間の期間をカバーする。

【図面の簡単な説明】

【0048】

【図1】図1は、水と脂肪のピークでの分離を明らかにする磁気共鳴(MR)スペクトル(スペクトルダイアグラム)のグラフを示している。

【図2】図2は、水と脂肪の同位相および逆位相振動を示すグラディエントエコー減衰を示している。

【図3】図3は、図2のグラディエントエコー減衰トレースからの特定の同位相測定時間窓(同位相ウィンドウ)および逆位相測定時間窓(逆位相ウィンドウ)を示している。

【図4】図4aは、本発明の実試験からのファントム内の脂肪の存在の初期推定値のグラフを示し、図4bは、初期推定値を使用した適合結果のグラフを示している。

【図5】図5aおよび5bは、円形の対象領域内の3.0Tで撮像したファントムの脂肪率マップを示しており、それぞれ、本発明の実施例を使用して実現された初期推定値の脂肪率マップ(図5b)、初期推定値を使用した適合結果からの脂肪率マップ((図5a))である。

【図6】図6aは、本発明の実施例を利用して撮像した、脂肪を含むファントムの画像を示している。図6bは、ファントムから予想1対1ライン上に実現された脂肪率で、実脂肪率に対する領域平均脂肪率のグラフを示している。

【図7】図7は、水とシリコンの間のピークの分離を明らかにするスペクトルダイアグラムを示している。

【発明を実施するための形態】

【0049】

本発明の1つ以上の実施例を添付図面を参照して以下に説明する。

【0050】

図1に示す様に、脂肪のMRスペクトルは複数のピーク1-6を示し、主ピーク(脂肪1)は水の主ピークから3.4ppm離れている。脂肪の第2ピーク(脂肪2)は、脂肪の主ピーク(脂肪1)から0.8ppm離れている。

【0051】

磁場強度1.5Tにおけるグラディエントエコー法の減衰グラフを図2に示す。減衰ラインは、水と脂肪の同位相最大値と、水と脂肪の逆位相最小値の間の正弦波振動を示している。主脂肪1と第2脂肪2の同位相最大値を19.6msに示し、逆位相最小値を9.8msに示している。

【0052】

図3は、それぞれの逆位相測定時間窓と同位相測定時間窓を特定している。このように、水-脂肪共鳴減衰信号と基準信号減衰との違いが増大すると、脂肪の割合が増大する。

【0053】

試験スキャンでは、最大スキャン時間30秒、1.5Tと3.0T(それぞれシーメンス社製「アヴァント」とフィリップス社製「アチーバ」)で、ファントムとボランティアについてのマグニチュードグラディエントエコー画像データを得た。テストファントムは、製品ラベル上の栄養価情報から脂肪含有率を得たヨーグルト、クリーム、バター、ラード、およびソーセージを含む。各ケースでは、2-Dマルチエコースボイルドグラディエ

ントエコーシーケンスは以下のパラメータで実行した：T 1 強調低減のためのフリップ角 20 度と T R 200 ms；3.6 ms. T の磁場強度当たり 8 均等間隔のエコー時間；スライス厚 8 mm；帯域幅 500 Hz / ピクセル (1.5 T で) および 1970 Hz / ピクセル (3.0 T で)；マトリクスサイズ 256 ピクセル。

【0054】

次に、本発明の実施例を利用して、脂肪 - 水信号衰減モデルを多成分の M R パラメータのマッピングについて実行した。

【0055】

1 つの特定の試験では、デュアル R 2 * マッピングでの 0 - 100 % 脂肪 - 水分離についてマグニチュードベースのグラディエントエコー画像技術を実行した。脂肪のマルチピークスペクトルモデルを、文献に報告されているように、水に対して 243 Hz、217 Hz、166 Hz、32 Hz および 38 Hz (- > 38 Hz) (1.5 T 当たり) の 5 つの周波数成分で、0.09、0.7、0.12、0.04 および 0.05 の対応する標準化重量で実行した。個別の R 2 * パラメータを水と脂肪についてモデル化した。信号パワーに対し、単純模擬アニーリング技術を使用してエコー時間の機能として画素ごとに非線形曲線フィッティングを実行した。自動背景ノイズ分析により求めたマグニチュード画像データのノンゼロベースラインを、フィッティングに先立って画素信号強度から直交で減算した。脂肪と水の信号比の初期推定値を、本発明の実施例で計算した。フィッティングした信号フラクションを体積分率に変換して、脂肪率濃度を出した。確度と精度は、計算してラベル付けした脂肪濃度間の相違の平均および標準の偏りとして算出した。

【0056】

図 4 a は、実脂肪率と比較した脂肪率の初期推定値のグラフとしての例を示している。図 4 b は、実脂肪率と比較した脂肪率の適合結果の例である。

【0057】

図 4 b は、製品のラベルの脂肪濃度に対してプロットされた各ファントムの対象領域の平均脂肪率を示している。図 4 b の結果に基づく本発明の実施例は、0.2 % 以内の確度と 2.5 % 以内の精度であった。

【0058】

図 5 a および 5 b は、本発明の実施例を使用して実現した初期推定値の、及び初期推定値を使用した適合結果からの、円形の対象領域内の 3.0 T で撮像したファントムの脂肪率マップを示している。

【0059】

本発明の 1 つ以上の実施例は、マグニチュードグラディエントエコー画像データから 2 つの主 M R 化学種の相対比率の推定を可能にし、1 つの種は、2 つの主ピークを有するマルチピーク M R スペクトルを持っている。

【0060】

水と脂肪を含むボリュームの M R 信号について主に説明するが、本発明は、シリコーンなどの他の M R 化学種に適用できる。

【0061】

水とシリコーンの場合には、それらの複素信号は、主として約 220 Hz / T (~ 220 Hz / T) で多くが同位相で、それは M R 磁場強度 1.5 T で約 3.1 ms (~ 3.1 ms) の倍数である (水に対するシリコーンの単一の特徴的 M R 周波数に基づく) 。 2 つの主シリコーン水素プロトンブールは、主に約 26 Hz / T (~ 26 Hz / T) で多くが同位相で、それは M R 磁場強度 1.5 T で、約 26 Hz / T (~ 26 Hz / T) の倍数である。シリコーンと水の相対比率を推定するためのデータは、理想的には磁場強度 1.5 T で約 26 ms (~ 26 ms) まで収集すべきであるが、約 19 ms (~ 19 ms) でその値の 75 % まで収集したデータは、本発明にも有用である。

【0062】

図 7 に示す様に、シリコーンの M R スペクトルは複数のピーク 1 - 3 を示し、主ピーク (シリコーン 1) が水の主ピークから約 5.0 ppm (~ 5.0 ppm) 離れている。シ

リコーンの第2ピーク（シリコーン2）はシリコーンの主ピーク（シリコーン1）から約0.6 ppm（～0.6 ppm）離れている（残余脂肪のピークは、脂肪信号のほぼ完全抑制後に残る）。

【0063】

同様のパルスシーケンス、すなわち2Dスボイルドグラディエントエコーパルスシーケンスは、脂肪としてのシリコーンに関して使用できるが、画像は脂肪抑制をして得るという追加要件がある。

【0064】

したがって、マグニチュードグラディエントエコー画像データは、シリコーンについて、1.5 Tと3.0 T（それぞれシーメンス社製「アヴァント」とフィリップス社製「アチーバ」）で、ファントムおよびボランティアについて得ることができる。最大30秒のスキャン時間を使用できる。各ケースでは、2-Dマルチエコーボイルドグラディエントエコーシーケンス（脂肪抑制を伴う）を、以下のパラメータで提案している：T1強調低減のためのフリップ角20度とTR200 ms；約1.0 ms・T（～1.0 ms・T）の磁場強度当たり16均等間隔のエコー時間；スライス厚8 mm；帯域幅500 Hz / ピクセル（1.5 Tで）および1970 Hz / ピクセル（3.0 Tで）；マトリクスサイズ256ピクセル。

【0065】

複合シリコーン / 水信号モデルのマグニチュードフィッティングのために外部のエコー時間まで収集したデータ量は増加すべきで、シリコーンと水の信号は、3.1 msの半分、すなわち1.5 Tで1.55 msごとに、ほぼ同位相や逆位相になるので、最大16の別個のエコー時間画像を24.8 msまで収集するか、または、最大12のエコー時間画像を18.6 ms（24.8 msの75%）まで収集する。

【0066】

胸のインプラントのように、シリコーンを撮像する場合、シリコーン信号を明るい画像として表すように脂肪信号を抑制できる。

【0067】

グラディエントエコー画像データは、2つのMR種からの複素信号のどちらかが、最初は逆位相で次に同位相になる時間、あるいはマルチピークスpekトル種の2つの主水素プロトンプールの複素信号が、最初は逆位相で次に同位相になる時間の長い方の近辺のエコー時間まで収集する必要がある。

【0068】

水と脂肪の場合には、それらの複素信号は、主として140 Hz / Tで多くが同位相で、それはMR磁場強度1.5 Tで、約4.8 ms（～4.8 ms）の倍数である（水に対する脂肪の単一の特徴的MR周波数に基づく）。2つの主脂肪水素プロトンプールは、主に34 Hz / Tで多くが同位相で、それはMR磁場強度1.5 Tで、約19.6 ms（～19.6 ms）の倍数である。脂肪と水の相対比率を推定するためのデータは、理想的には磁場強度1.5 Tで19.6 msまで収集すべきであるが、この値の約75%（～75%）まで収集したデータは、本発明にも有用である。

【0069】

複合脂肪 / 水信号モデルのマグニチュードフィッティングのために、外部のエコー時間まで収集したデータ量は増加すべきで、脂肪と水の信号は、4.8 msの半分、つまり1.5 Tで2.4 msごとに、ほぼ同位相および逆位相になるので、最大8つの別個のエコー時間画像を19.6 msまで収集するか、または最大6つのエコー時間画像を14.7 ms（19.6 msの75%）まで収集する。

【0070】

水と脂肪の相対比率を適切に推定することは、最長のエコー時間まで収集したデータを2つの測定時間窓（オーバーラップすることがある）に分割することである。第1測定時間窓は、0 msのエコー時間から、2つの主脂肪水素プロトンプールからの複素信号が最初に逆位相になるエコー時間ポイント、つまり、次に同位相となるエコー時間の半分まで広

がる。

【0071】

磁場強度 1.5 T では、第 1 測定時間窓の端点は約 9.8 ms (~ 9.8 ms)、19.6 ms のほぼ半分である。第 2 測定時間窓は、2 つの主脂肪水素プロトンプールからの複素信号が同位相に戻るエコー時間のスパンをカバーしている。これは 9.8 ms から 19.6 ms まで、または第 1 ウィンドウと重り、これらの数値の約 75 % (~ 75 %) に至るまで、つまり約 7.3 ms (~ 7.3 ms) から約 14.7 ms (~ 14.7 ms) までとなり得る。

【0072】

その結果、第 1 測定時間窓は、脂肪の 2 つの主水素プロトンプールが最大に逆位相になるまで信号データを捕らえ (「逆位相測定時間窓」)、その一方、第 2 測定時間窓は、2 つの主水素プロトンプールからの複素信号が同位相に戻るデータを捕らえる (「同位相測定時間窓」)。

【0073】

理想的には、逆位相測定時間窓および同位相測定時間窓は 4 つの異なるエコー時間画像にまたがるべきである。

【0074】

逆位相測定時間窓および同位相測定時間窓で、全基準緩和プロセスに対する所定信号量内の信号強度の偏りを求める。この場合、基準緩和プロセスは、単一指数関数的減衰で説明した全水素プロトンの平均緩和プロセスとするが、他の信号モデル減衰表示も使用できる。基準緩和プロセスは、曲線フィッティングまたは他の近似手段によりデータからモデル化でき、経験的手段を含んでもよい。

【0075】

1 つの経験的アプローチは、逆位相測定時間窓を半分に分けて 2 つの窓 (サブウィンドウ) に分割し、各窓のデータから強度およびエコー時間値を平均し、2 つの窓 (サブウィンドウ) から得た 2 つの強度 / エコー時間ペアを使用して、単一指数関数的減衰の方程式により基準緩和プロセスへ 2 点近似を行うことである。

【0076】

前記基準緩和プロセスに対する信号強度の偏りは、種々の方法で計算できる。しかしながら、好ましい方法では、特定のエコー時に基準緩和方程式で算出した基準信号強度を、そのエコー時の実信号強度から減算して、実信号強度に対して正規化する。

【0077】

このようにして、得られたエコー時間画像と対になる同位相および逆位相測定時間窓の偏りのリストを得る。

【0078】

各窓では、種々の方法で特徴的偏りを求めることができるが、特定の窓の最大の偏りの絶対値として求めることが好ましい方法である。以下、同位相測定時間窓については「同位相の偏り (in-phase deviation)」および逆位相測定時間窓については「逆位相の偏り (out-phase deviation)」とする。

【0079】

脂肪フラクションのパーセンテージの初期推定値は、例えば、拡大縮小と閾値の組合せにより、同位相および逆位相の偏りから求められる。

【0080】

逆位相の偏りの適切な拡大縮小により、脂肪フラクションのパーセンテージは、同位相および逆位相の偏りについて経験的に求めた閾値内で、拡大縮小した逆位相の偏りに等しいとすることができる。これらの閾値外では、拡大縮小した逆位相の偏りにより脂肪フラクションのパーセンテージはもはや近似させないが、むしろ拡大縮小された逆位相の偏りを 1 から引いて拡大縮小した値にセットさせる。

【0081】

1 つのアプローチは、それを超えるのは逆位相の偏り用そして同時にそれ未満は同位相

の偏り用である閾値を求めることであり、「閾値外」脂肪率近似は、「閾値内」脂肪率近似と比較して、実脂肪フラクションのパーセンテージの更に実近似として好ましい。

【0082】

脂肪フラクションのパーセンテージの初期推定値を求め、エコー時間 0 ms の脂肪と水の信号強度の初期推定値を、基準緩和プロセスのエコー時間 0 ms の信号強度に対して求めることができる。

【0083】

水と脂肪の緩和率の初期推定値は、両方とも基準緩和プロセスの緩和率に対しても設定できる。これらは、水 / 脂肪信号モデルを、水と脂肪の両方について共通の緩和率を有するとして表現する場合、基準緩和率と等しいとして設定できる。

【0084】

あるいは、水 / 脂肪信号モデルを、水と脂肪について異なる緩和率を有するとして表す場合、水よりも本質的に速く緩和している脂肪のように、水と脂肪の緩和率について異なる初期値を設定する経験的仮定を更に行える。

【0085】

まず、水と脂肪の共通緩和率の水 / 脂肪信号モデルをマグニチュード画像データにフィッティングすることで、水と脂肪について緩和率の異なる水 / 脂肪信号モデルの初期推定値も改善できる。次に、水と脂肪について緩和率の異なる水 / 脂肪信号モデルに初期推定値としてフィッティング値を使用でき、脂肪の緩和率が水のそれよりも速い経験的基準を再度適用する。

【0086】

図 6 a は、脂肪を含み、本発明の実施例を利用して撮像したファントムの画像を示している。

【0087】

図 6 b は、ファントムから予想 1 対 1 ライン上に実現された脂肪率で、実脂肪率に対する領域平均脂肪率のグラフを示している。