

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7179541号

(P7179541)

(45)発行日 令和4年11月29日(2022.11.29)

(24)登録日 令和4年11月18日(2022.11.18)

(51)国際特許分類

F I

A 6 1 B 6/00 (2006.01)

A 6 1 B

6/00

3 3 0 Z

請求項の数 17 外国語出願 (全17頁)

(21)出願番号	特願2018-169268(P2018-169268)	(73)特許権者	390041542
(22)出願日	平成30年9月11日(2018.9.11)		ゼネラル・エレクトリック・カンパニイ
(65)公開番号	特開2019-63499(P2019-63499A)		アメリカ合衆国、ニューヨーク州 1 2
(43)公開日	平成31年4月25日(2019.4.25)		3 4 5、スケネクタデイ、リバーロード
審査請求日	令和2年12月18日(2020.12.18)		、1番
(31)優先権主張番号	15/720,738	(74)代理人	100105588
(32)優先日	平成29年9月29日(2017.9.29)		弁理士 小倉 博
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100151286
			弁理士 澤木 亮一
		(74)代理人	100113974
			弁理士 田中 拓人
		(72)発明者	ランドール・ベイン
			アメリカ合衆国、ウィスコンシン州・5
			3 7 1 8、マディソン、オーメダ・ドラ
			イブ、3 0 3 0

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 骨のD X A断層撮影ベースの有限要素解析のための方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

患者(101)の骨組織を解析する方法であって、前記方法は、

少なくとも1つのX線源(104)、少なくとも1つのX線検出器(106)、およびコントローラ(112)を含んで、前記少なくとも1つのX線源(104)の移動を制御し、前記少なくとも1つのX線検出器(106)から画像データを受け取るスキャンデバイスを提供するステップと、

複数の点で前記複数の点に対応する複数の二重エネルギーX線画像(129)を取得するために前記患者(101)に対して少なくとも1つの面に沿って前記少なくとも1つのX線源(104)を動作させるステップであって、各点が、前記少なくとも1つのX線検出器(106)の検出面に垂直な軸に対して互いに異なる角度に配置される、ステップと、

前記複数の二重エネルギーX線画像(129)を使用して前記患者(101)の前記骨組織の少なくとも1つの2次元(2D)平面スライス画像を再構成するステップと、

前記少なくとも1つの2D平面スライス画像によって提供される情報を用いて予め記憶された有限要素解析(FEA)モデル(20)のカラーマップを修正するステップと、

前記カラーマップが修正された前記有限要素解析(FEA)モデル(20)を表示するステップと、

を備える、方法。

【請求項 2】

患者(101)の身体の中の骨のカラーマップを決定する方法であって、前記方法は、

10

20

少なくとも1つのX線源(104)、少なくとも1つのX線検出器(106)、およびコントローラ(112)を含んで、前記少なくとも1つのX線源(104)の移動を制御し、前記少なくとも1つのX線検出器(106)から画像データを受け取るスキャンデバイスを提供するステップと、

前記患者(101)に対して少なくとも1つの面に沿った複数の点で、前記複数の点に対応する複数の二重エネルギーX線画像(129)を取得するために、少なくとも1つのX線源(104)を動作させるステップであって、各点が、前記少なくとも1つのX線検出器(106)の検出面に垂直な軸に対して互いに異なる角度に配置される、ステップと、

前記複数の二重エネルギーX線画像(129)を使用して前記患者(101)の少なくとも1つの2次元(2D)平面スライス画像を再構成するステップと、

10

前記少なくとも1つの2D平面スライス画像によって提供される情報を用いて予め記憶された有限要素解析(FEA)モデル(20)のカラーマップを修正するステップと、

前記カラーマップが修正された前記有限要素解析(FEA)モデル(20)を表示するステップと、

を備える、方法。

【請求項3】

前記少なくとも1つのX線源(104)を動作させる前記ステップが、

第1の二重エネルギーX線画像(129)を生成するために、前記少なくとも1つのX線源(104)から前記少なくとも1つのX線検出器(106)に対する第1の位置でX線を放射するステップと、

20

前記少なくとも1つのX線源(104)を前記少なくとも1つのX線検出器(106)に対する前記第1の位置から前記少なくとも1つのX線検出器(106)に対する第2の位置に移動させるステップと、

第2の二重エネルギーX線画像(129)を生成するために、前記少なくとも1つのX線検出器(106)に対する前記第2の位置で前記少なくとも1つのX線源(104)からX線を放射するステップと、

を備える、請求項1または2に記載の方法。

【請求項4】

前記少なくとも1つのX線源(104)を動作させる前記ステップが、

第1の二重エネルギーX線画像(129)を生成するために、前記少なくとも1つのX線検出器(106)に対する第1の位置で第1のX線源(104)からX線を放射するステップと、

30

前記第1の位置から離間した第2の位置で第2のX線源(104)からX線を放射して、第2の二重エネルギーX線画像(129)を生成するステップと、

を備える、請求項1乃至3のいずれかに記載の方法。

【請求項5】

前記少なくとも1つのX線源(104)を動作させる前記ステップが、

前記少なくとも1つのX線源(104)からX線を放射して、前記患者(101)の第1の幅に沿って第1の数の二重エネルギーX線画像(129)を生成するステップと、

前記X線源(104)を前記第1の幅から離間した前記患者(101)の第2の幅に移動させるステップと、

40

前記少なくとも1つのX線源(104)からX線を放射して、前記患者(101)の前記第2の幅に沿って第2の数の二重エネルギーX線画像(129)を生成するステップと、

を備える、請求項1に記載の方法。

【請求項6】

前記骨組織の前記少なくとも1つの2次元(2D)平面スライス画像を再構成する前記ステップが、

前記第1の数の二重エネルギーX線画像(129)と前記第2の数の二重エネルギーX線画像(129)から第1の2Dスlicesを画像再構成するステップと、

前記第1の数の二重エネルギーX線画像(129)と前記第2の数の二重エネルギーX

50

線画像（１２９）から第２の２Ｄスライスを画像再構成するステップと、
を備え、

前記第１の２Ｄスライスと前記第２の２Ｄスライスとは、前記少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）に対して互いに異なる高さにある、請求項５に記載の方法。

【請求項７】

前記第１の２Ｄスライス（１３０）と前記第２の２Ｄスライス（１３２）が、前記少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）に対して平行であり、前記少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）に対して互いに異なる距離にある、請求項６に記載の方法。

【請求項８】

前記第１の２Ｄスライス（１３０）と前記第２の２Ｄスライス（１３２）を使用して前記有限要素解析（ＦＥＡ）モデル（２０）の前記カラーマップを修正するステップを含む、請求項６または７に記載の方法。

10

【請求項９】

前記コントローラ（１１２）に動作可能に接続される画像のデータベース（１２２）が、ＣＴスキャン画像（１４４、１４８）から再構成される再構成された２Ｄ平面スライス画像のデータベースを備える、請求項１乃至８のいずれかに記載の方法。

【請求項１０】

前記データベース画像の１つを選択するステップと、
前記再構成された２Ｄ平面スライス画像を使用して、前記選択されたデータベース画像に関連する有限要素解析（ＦＥＡ）モデル（２０）を修正するステップと、
をさらに備える、請求項９に記載の方法。

20

【請求項１１】

前記スキャンデバイスが、前記患者（１０１）を支持するためのテーブル（１０２）と、アーム（１０８）とを備え、
前記少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）が、前記アーム（１０８）内に配置され、前記テーブル（１０２）に対して移動可能で、前記テーブル（１０２）の上方に離間される、請求項１乃至１０のいずれかに記載の方法。

【請求項１２】

前記少なくとも１つのＸ線源（１０４）が、前記患者の下に配置される、請求項１１に記載の方法。

30

【請求項１３】

前記少なくとも１つのＸ線源（１０４）が、前記複数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）の取得の間、連続運動で移動し、ラスタスキャンが行われるように構成される、請求項１乃至１２のいずれかに記載の方法。

【請求項１４】

前記カラーマップが、骨の皮質厚さ、骨の皮質容積密度、および骨の骨梁容積密度からなる群に対応する、請求項１乃至１３のいずれかに記載の方法。

【請求項１５】

前記選択されたデータベース画像と、前記選択されたデータベース画像に関連して前記データベース（１２２）に記憶されるＣＴスキャン画像（１４４、１４８）とを有するＦＥＡモデル（２０）が修正される、請求項９または１０に記載の方法。

40

【請求項１６】

患者（１０１）の身体の中の骨のカラーマップを決定する方法であって、前記方法は、
少なくとも１つのＸ線源（１０４）、少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）、およびコントローラ（１１２）を含んで、前記少なくとも１つのＸ線源（１０４）の移動を制御し、前記少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）から画像データを受け取るスキャンデバイスを提供するステップと、

前記患者（１０１）に対して少なくとも１つの面に沿った複数の点で、前記複数の点に対応する複数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）を取得するために、少なくとも１つのＸ線源（１０４）を動作させるステップであって、各点が、前記少なくとも１つのＸ線検

50

出器（１０６）の検出面に垂直な軸に対して互いに異なる角度に配置される、ステップと、
前記複数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）を使用して前記患者（１０１）の少なくとも１つの２次元（２Ｄ）平面スライス画像を再構成するステップと、
前記少なくとも１つの２Ｄ平面スライス画像によって提供される情報を用いて、前記コントローラ（１１２）に動作可能に接続される画像のデータベース（１２２）に格納された有限要素解析（ＦＥＡ）モデル（２０）のカラーマップを修正するステップと、
前記カラーマップが修正された前記有限要素解析（ＦＥＡ）モデル（２０）を表示するステップと、
を備える、方法。

【請求項１７】

患者（１０１）の骨組織を解析する方法であって、前記方法は、
少なくとも１つのＸ線源（１０４）、少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）、およびコントローラ（１１２）を含んで、前記少なくとも１つのＸ線源（１０４）の移動を制御し、前記少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）から画像データを受け取るスキャンデバイスを提供するステップと、
複数の点で前記複数の点に対応する複数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）を取得するために前記患者（１０１）に対して少なくとも１つの面に沿って前記少なくとも１つのＸ線源（１０４）を動作させるステップであって、各点が、前記少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）の検出面に垂直な軸に対して互いに異なる角度に配置される、ステップと、
前記複数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）を使用して前記患者（１０１）の前記骨組織の少なくとも１つの２次元（２Ｄ）平面スライス画像を再構成するステップと、
前記少なくとも１つの２Ｄ平面スライス画像によって提供される情報を用いて有限要素解析（ＦＥＡ）モデル（２０）を修正するステップと、
を備え、
前記少なくとも１つのＸ線源（１０４）を動作させる前記ステップが、
前記少なくとも１つのＸ線源（１０４）からＸ線を放射して、前記患者（１０１）の第１の幅に沿って第１の数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）を生成するステップと、
前記Ｘ線源（１０４）を前記第１の幅から離間した前記患者（１０１）の第２の幅に移動させるステップと、
前記少なくとも１つのＸ線源（１０４）からＸ線を放射して、前記患者（１０１）の前記第２の幅に沿って第２の数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）を生成するステップと、
を備え、
前記骨組織の前記少なくとも１つの２次元（２Ｄ）平面スライス画像を再構成する前記ステップが、
前記第１の数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）と前記第２の数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）から第１の２Ｄスライスを画像再構成するステップと、
前記第１の数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）と前記第２の数の二重エネルギーＸ線画像（１２９）から第２の２Ｄスライスを画像再構成するステップと、
を備え、
前記第１の２Ｄスライスと前記第２の２Ｄスライスとは、前記少なくとも１つのＸ線検出器（１０６）に対して互いに異なる高さにある、方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、骨のＤＸＡ断層撮影ベースの有限要素解析のためのシステムおよび方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

骨密度または骨ミネラル密度（ＢＭＤ）は、骨組織における骨ミネラルの量である。本概念は、撮像時に骨表面の平方センチメートルあたりの光学密度に応じてプロキシによっ

10

20

30

40

50

て臨床的に測定されるが、（物理的な意味での密度に関する）骨の体積当たりのミネラルの質量である。骨密度測定は、骨粗鬆症および骨折リスクの間接的指標として、臨床医学において用いられている。それは、しばしば病院または診療所の放射線科または核医学部門で行われる、デンスITメトリーと呼ばれる手法で測定される。測定は無痛で非侵襲性であり、放射線被曝が少ない。測定は、最も一般的には、腰椎にわたって、および臀部の上部にわたって行われる。臀部および腰椎にアクセスできない場合は、前腕をスキャンしてもよい。

【0003】

体組成は、軟質（非ミネラル）組織を構成する脂肪組織の割合によって表される。体組成は、臨床医学において間接的な指標として、および／または状態もしくは疾患（例えば、筋肉減少症、糖尿病、肥満など）の危険因子として使用される。デンスITメトリーは、体組成を評価するためにも使用される。測定は、最も一般的に、全身または頭を除く全身にわたって行われる。

10

【0004】

転倒による脚および骨盤の骨折は、特に、高齢女性において、重大な公衆衛生上の問題であり、多くの医療費、独立した生活不能、さらには死亡リスクにつながる。骨密度の測定は、骨粗鬆症のリスクについて人々をスクリーニングし、骨の強度を改善するための測定によって改善の見込みのある可能性のある人を特定するために使用される。

【0005】

BMD検査には多くの異なるタイプがあるが、全て非侵襲性である。ほとんどの検査は、BMD結果を決定するためにどの骨を測定するかによって異なる。これらの検査には、

20

- ・二重エネルギーX線吸収測定法（DXAまたはDEXA）
- ・二重X線吸収光度法およびレーザー（DXL）
- ・定量的コンピュータ断層撮影（QCT）
- ・定量的超音波（QUS）
- ・単一光子吸収測定法（SPA）
- ・二重光子吸収測定法（DPA）
- ・デジタルX線ラジオグラム（DXR）
- ・単一エネルギーX線吸収測定法（SEXA）

がある。

30

【0006】

DXAは現在、最も広く使用されており、特定の1本または複数本の骨、通常は背骨、臀部、および手首を測定することによって機能する。その場合、これらの骨の密度は、年齢、性別、およびサイズに基づく平均指数と比較される。結果の比較は、骨折のリスクと個体の骨粗鬆症（存在する場合）の段階を判定するために使用される。

【0007】

図1の例示的な実施形態に示されるように、DXAスキャナ100は、患者101を支持するためのテーブル102を含み、テーブル102には、患者101の下でテーブル102に対して移動可能なX線源104（典型的には、X線発生器、X線管、X線フィルタ、およびX線コリメータ）が配置される。DXAシステム/スキャナ100のほとんどの実装態様では、検出器106は、検出器106の反対側にあるアーム108内に配置され、検出器106およびX線源104は、患者101の反対側に配置される。検出器106は、主に1次元であるが、2次元または他の適切な次元構成とすることができ、X線源104によって放射され患者の身体101を通過するX線光子を捕捉するように動かされなければならない。アーム108は、検出器106を移動させ、アーム108上の検出器106と同期して移動するX線源104に関連付けられる。アーム108は、DXAテーブル102のより長い寸法に対応する方向に検出器106およびX線源104の両方を移動させる。ラスタスキャン（ペンシルビームまたはファンビーム）を実施するDXAスキャナでは、検出器106およびX線源104の両方をDXAテーブル102のより長い寸法に垂直な方向に移動させて、テーブル102/身体101をその幅に沿ってスキャンする

40

50

ことができる。

【 0 0 0 8 】

図 1 に示すような代替実施形態では、テーブル 1 0 2 は、テーブル 1 0 2 に対して移動可能なテーブル 1 0 2 の上方に離間されたアーム 1 0 8 内に配置された X 線検出器 1 0 6 を含む。テーブル 1 0 2 は、検出器 1 0 6 および X 線源 1 0 4 およびアーム 1 0 8 とともに、X 線源 1 0 4 および / またはアーム 1 0 8 の動作を制御することができて、患者 1 0 1 を通過し検出器 1 0 6 に衝突する X 線源 1 0 4 からの X 線から得られる検出器 1 0 6 からの撮像データを受信することができる、コンピュータシステム 1 1 0 に動作可能に接続される。

【 0 0 0 9 】

D X A 撮像手順では、スキャナ 1 0 0 は、撮像対象の患者の身体 1 0 1 の部分に沿ってアーム 1 0 8 および X 線源 1 0 4 を移動させ、患者の特定の部分の 2 次元 (2 D) D X A 画像の複数ペア (高エネルギーおよび低エネルギー) を取得する。D X A スキャナ 1 0 0 は、所望の D X A 画像を得るために、頭から爪先まで患者の身体 1 0 1 に沿って、または身体 1 0 1 の任意の部分に沿って、検出器 1 0 6 / X 線源 1 0 4 / アーム 1 0 8 を移動させることができる。X 線源 1 0 4 によって生成されるビームのタイプ、例えば、ペンシル、ファン、または狭いファン (図 2 A から図 2 C) に応じて、X 線源 1 0 4 および / または検出器 1 0 6 および / またはアーム 1 0 8 は、X 線源 1 0 4 および検出器 1 0 6 が患者の身体 1 0 1 の全体または特定の部分を撮像することを可能にするために、患者の体の主軸に沿って、またはラスタスキャンパターンで、直接移動することができる。

【 0 0 1 0 】

D X A 撮像を行う場合、X 線検出器 1 0 6 は、X 線源 1 0 4 によって生成される異なるエネルギースペクトルを有する 2 本の異なる X 線ビームを検出することによって、または X 線源 1 0 4 から生成される 1 本の X 線ビームを検出して 2 つの異なるエネルギービームを識別することによって、身体の特定の部分の二重エネルギー (高エネルギー (H E) および低エネルギー (L E)) 画像を生成する。D X A を実施するのに主な方法が 3 つある。

【 0 0 1 1 】

- 異なるエネルギースペクトルの 2 本の X 線ビーム、および透過 X 線光子 (身体を通過した光子) によって蓄積されたエネルギーを統合する検出器。

【 0 0 1 2 】

- 特定のエネルギースペクトルを有する 1 本の X 線ビーム、および透過された X 線光子中の少なくとも 2 つのエネルギービームを識別する検出器。

【 0 0 1 3 】

- 特定のエネルギースペクトルを有する 1 本の X 線ビーム、および上層が優先的に低エネルギーの光子を検出し、下層が優先的に高エネルギーの光子を検出するような、少なくとも 2 層の検出器要素で構成される検出器。

【 0 0 1 4 】

一方の画像は高エネルギーであり、他方の画像は低エネルギーである。X 線ビームはスキャンされる患者 1 0 1 を通過し、X 線源 1 0 4 の反対側のスキャナ 1 0 0 上に位置する検出器 1 0 6 に接触する。検出器 1 0 6 は、患者の組織 (骨および軟組織) によって吸収されない患者 1 0 1 を通過する X 線と接触し、したがって、各ビームから組織を通過する X 線の量を測定する。これは組織の組成および厚さにより変化する。2 本のビームによる組織の X 線吸収の差に基づいて、骨密度および / または体組成を測定することができる。

【 0 0 1 5 】

骨密度測定では、スキャン結果を解析して、平均面積骨ミネラル密度 (B M D _a) = B M C / A [K g / m ²] としてレポートし、ここで、B M C は、骨ミネラル含量 [K g] であり、A は、骨ミネラルが混合している混合物を含む容積の投影面積 [m ²] である。結果は、一般に、T スコアおよび Z スコアの 2 つの測定値によってスコア化される。Z スコアは、個々の被験者における測定値 B M D _a と、母分散の年齢一致標準偏差によって正規化された年齢一致平均基準値との間の差を示す。T スコアは同様に定義されるが、年齢

10

20

30

40

50

一致値の代わりに、若い参照集団からのデータが使用される。BMDのみに基づく具体的な診断基準は、WHOのワーキンググループによって開発された、Tスコアに基づく骨粗鬆症の実用的な定義によって提供されている。WHO(1994)の定義では、被験者を4つのグループ、すなわち、正常(BMD_a Tスコア -1.0)、低骨量または骨減少($-1.0 > BMD_a$ Tスコア > -2.5)、骨粗鬆症($-2.5 \leq BMD_a$ Tスコア)、重症骨粗鬆症($-2.5 \leq BMD_a$ Tスコアおよび少なくとも1つの骨粗鬆症骨折)、の1つに分類するようDXAによって測定された面積BMD_aを使用する。

【0016】

BMDにDXAを使用するにはいくつかの制限がある。例えば、骨密度の計算は、骨の計算されたミネラル密度に基づく骨強度の近似に過ぎないので、骨上の任意の位置における骨に対する応力および/またはひずみの指標を有して、これらの位置での骨強度のより直接的な指標を提供することが望ましい。この骨強度解析を提供する手法の1つは、患者の骨密度のより詳細な表現を提供するために、DXA画像と有限要素解析とを組み合わせることである。

【0017】

BMDを判定する際にDXA画像/プロセスを支援するために、DXAにおいて、一般に、2つの画像、すなわち、高エネルギー(HE)画像および低エネルギー(LE)画像が生成される。HEおよびLE画像は、骨等価厚の1つの画像と軟組織等価厚の1つの画像とを生成するためにソフトウェアによって組み合わせることができる。適切な材料で作られた物理的またはシミュレートされたファントムで取得されたデータから得られた材料構成を提供するHEおよびLE画像から組織等価画像の他のペアを導出することができる。さらに、2つの画像(HEまたはLE、骨または軟組織)のうちの1つのみを使用することもできる。図3の例示的な実施形態では、少なくとも1つの2D DXA画像が取得されると、適切なコンピュータシステム110/50を使用して、少なくとも1つのDXA画像10を、コンピュータシステム50に動作可能に接続されるか、またはコンピュータシステム50に格納される基準データベース12に記憶された2D DXA画像14と比較して、少なくとも1つの取得された2D DXA画像10に最も近似するか、最も類似する少なくとも1つの記憶された2D DXA画像14を配置することができる。このタイプのシステム50およびデータベース12の一例は、スペイン、バルセロナのGalgo Medical SLから入手可能な3D-DXAソフトウェアパッケージで見ることができ、システム50は、2D DXA画像から骨構造を3Dで再構成して、Humbert L、Martelli Y、Fonolla Rらによる2017の3D-DXA: Assessing the Femoral Shape, the Trabecular Macrostructure and the Cortex in 3D from DXA imagesで開示されるプロセスに従って、DXA画像10における骨の皮質骨および骨梁マクロ構造を評価する。IEEE Trans Med Imaging 36: 27-39が、全ての目的のために参照によりその全体が本明細書に明確に組み込まれる。このプロセスでは、基準データベース12は、記憶されたDXA画像14と、予め他の患者から取得され、DXA画像14に対応する記憶された画像のCTスキャンセット18とを含む。記憶されたDXA画像14および対応する記憶された画像のCTスキャンセット18は、システム50によって利用され、データベース12にも記憶されている3D有限要素解析(FEA)モデル20のセットを構成し、各FEAモデルは、モデル20を導出した各対応するDXA画像14および画像のCTスキャンセット18と関連する。システム50が少なくとも1つの得られたDXA画像10を提示される場合、システム50は、少なくとも1つの得られた2D DXA画像10に最も近似する2D DXA画像14の位置を特定する。次いで、システム50は、少なくとも1つの得られたDXA画像10に最も近いものとして選択された特定の記憶されたDXA画像14に関連するFEAモデル20を特定する。次いで、システム50は、少なくとも1つの得られた2D DXA画像10からのパラメータに基づいてFEAモデル20を修正し、これらに限定するものではないが、皮質厚さ、皮質容積密度、および小柱容積密度などを含む、少なくとも1

10

20

30

40

50

つのD X A画像10を提供するD X Aスキャナで撮像される骨に関連する異なるパラメータのモデル20'で異なるカラーマップを図示する修正されたF E Aモデル20'に到達する。

【0018】

あるいは、図4に示すように、システム50は、画像のC Tスキャンセット18からの画像の特定のC Tスキャンセット18に直接関連付けられた、記憶された2D D X A画像16を計算するように動作することができる。次いで、これらの計算された2D D X A画像16は、修正されたF E Aモデル20'に到達するために、前述の方法で得られた少なくとも1つの2D D X A画像10と比較される。

【0019】

しかしながら、修正されたF E Aモデル20'を取得するプロセスは、取得された少なくとも1つの2D D X A画像10の骨構造に関する追加の情報を提供するが、修正されたF E Aモデル20'を構築するプロセスは、得られた少なくとも1つの2D D X A画像10が、F E Aモデル20を修正して患者の骨の構造の正確な表現を提供するために利用することができる情報の量が限られているという点で依然として重大な欠点がある。

【0020】

したがって、オペレータに高い容積撮像能力をもたらすことができる骨密度および他の関連パラメータを決定して、それにより、スキャン結果を改善し、骨密度および強度のより良い測定値を提供する撮像システムおよび方法を提供することが望ましい。

【発明の概要】

【0021】

患者の骨のX線画像を得て、撮像システムが、そのシステムのオペレータに、B M Dなどの骨に関する他の情報に加えて、骨強度を評価するための患者の骨におけるストレスおよび/または歪みに関する情報を提供することを可能にすることができる撮像システムおよび関連する方法に対する必要性または要望が存在する。撮像システムは、患者の骨構造のより詳細な情報をオペレータに提供するために、断層撮影撮像プロセスまたはモードで得られた2D二重エネルギーD X A画像を利用する。撮像システムは、患者の身体を横切る単一パスまたは複数パスにおいて、患者に関して異なる角度で複数の2D D X A画像を取得する。次いで、これらの2D D X A画像は、患者の体の少なくとも1セットの2Dスライス（通常は1つ（骨の厚さ）または2つ（H E / L E、骨/軟組織））を、検出器の面に通常は平行な面に再構成するために使用することができる。断層撮影再構成によって提供される情報の技術的効果は、基準データベース内の対応する記憶されたD X A画像を判定するために、および患者/個人の骨/骨組織の構造を解析するために少なくとも1つの選択され記憶された2D D X A画像に対応する3D F E Aモデルを修正するために、機能拡張をもたらす。このようにして、本システムおよび方法は、レビューおよび解析のために、結果として生じる修正された3D F E Aモデルのエラーを大幅に減少させる。

【0022】

本発明の別の態様によれば、患者の骨組織を解析する方法であって、本方法は、少なくとも1つのX線源、少なくとも1つのX線検出器、およびコントローラを含んで、少なくとも1つのX線源の移動を制御し、少なくとも1つの検出器から画像データを受け取るスキャンデバイスを提供するステップと、複数の点に対応する複数の二重エネルギーX線画像を取得するために患者に対して少なくとも1つの面に沿って少なくとも1つのX線源を動作させるステップであって、各点が、少なくとも1つの検出器の検出面に垂直な軸に対して異なる角度に配置される、ステップと、複数の二重エネルギーX線画像を使用して患者の骨組織の少なくとも1つの2次元（2D）平面スライス画像を再構成するステップと、少なくとも1つの2D平面スライス画像によって提供される情報を用いて有限要素解析（F E A）モデルを修正するステップと、を含む。

【0023】

本発明のさらに別の態様によれば、患者の身体の中の骨の様々なパラメータを決定する

10

20

30

40

50

方法であって、本方法は、少なくとも１つのＸ線源、少なくとも１つのＸ線検出器、およびコントローラを含んで、少なくとも１つのＸ線源の移動を制御し、少なくとも１つの検出器から画像データを受け取るスキャンデバイスを提供するステップと、複数の点に対応する複数の二重エネルギーＸ線画像を取得するために患者に対して少なくとも１つの面に沿った複数の点で少なくとも１つのＸ線源を動作させるステップであって、各点が、少なくとも１つの検出器の検出面に垂直な軸に対して異なる角度に配置される、ステップと、複数の二重エネルギーＸ線画像を使用して患者の少なくとも１つの２次元（２Ｄ）平面スライス画像を再構成するステップと、少なくとも１つの２Ｄ平面スライス画像をコントローラに動作可能に接続される画像のデータベースと照合するステップと、少なくとも１つの２Ｄ平面スライス画像によって提供される情報を用いて有限要素解析（ＦＥＡ）モデルを修正するステップと、を含む。

10

【００２４】

本発明のまたさらなる態様によれば、患者の様々なパラメータを判定する方法であって、本方法は、少なくとも１つのＸ線源、少なくとも１つのＸ線検出器、およびコントローラを含んで、少なくとも１つのＸ線源の移動を制御し、少なくとも１つの検出器から画像データを受け取るスキャンデバイスを提供するステップと、複数の点に対応する複数の二重エネルギーＸ線画像を取得するために患者に対して少なくとも１つの面に沿って少なくとも１つのＸ線源を動作させるステップであって、各点が、少なくとも１つの検出器の検出面に垂直な軸に対して異なる角度に配置される、ステップと、複数の二重エネルギーＸ線画像を利用して患者の少なくとも１つの２次元（２Ｄ）平面スライス画像を再構成するステップと、少なくとも１つの２Ｄスライス画像を骨ピクセルおよび組織ピクセルにセグメント化するステップと、組織ピクセル内の組織質量ならびに骨ピクセル内の組織および骨質量を測定するステップと、を含む。

20

【００２５】

上記の簡単な説明は、詳細な説明でさらに説明される概念の選択を簡略化した形で紹介するために提供されていることを理解されたい。特許請求される主題の重要なまたは本質的な特徴を特定することは意図されておらず、その主題の範囲は詳細な説明に添付される特許請求の範囲によって一義的に定義される。さらに、特許請求される主題は、上記のまたは本開示の任意の部分に記載の欠点を解決する実施態様に限定されない。

【００２６】

図面は、本開示を実施するための現在考えられる最良の形態を示す。

30

【図面の簡単な説明】

【００２７】

【図１】本発明の例示的な実施形態によるＤＸＡ撮像システムの概略図である。

【図２】図２Ａ～２Ｃは、図１のＤＸＡ撮像システムのスキャン形状の概略図である。

【図３】図１に示すＤＸＡ撮像システムと関連して利用される先行技術の画像解析システムのブロック概略図である。

【図４】図１に示すＤＸＡ撮像システムと関連して利用される先行技術の画像解析システムのブロック概略図である。

【図５】本発明の一実施形態による図１のＤＸＡ撮像システムを使用するスキャン方法の概略図である。

40

【図６】図５のスキャン方法に関連して利用される画像解析システムの一実施形態のブロック概略図である。

【図７】図５のスキャン方法に関連して利用される画像解析システムの一実施形態のブロック概略図である。

【図８】図５のスキャン方法に関連して利用される画像解析システムの一実施形態のブロック概略図である。

【図９】図９Ａおよび９Ｂは、図５のスキャン方法に関連して身体組成を判定するために利用される先行技術の身体組成画像解析システムおよび画像解析システムの一実施形態のブロック概略図である。

50

【発明を実施するための形態】**【0028】**

以下の詳細な説明では、本明細書の一部を形成する添付の図面を参照し、例示のために実施可能な特定の実施形態を示す。これらの実施形態は、当業者が実施形態を実施できるように十分詳細に記載されており、他の実施形態も利用することができること、ならびに論理的、機械的、電気的およびその他の変更を、実施形態の範囲から逸脱せずに行うことができることを理解すべきである。したがって、以下の詳細な説明は、限定的な意味で解釈すべきではない。

【0029】

図1を参照すると、本発明の1つの例示的な実施形態による二重エネルギーX線吸収(DXA)撮像システムおよび/またはスキャナ100が示されている。前述のように、DXAスキャナ100は、患者101を支持するためのテーブル102を含み、患者101の下にX線源104が配置されている。テーブル102はまた、テーブル102に対して移動可能なテーブル102の上方に離間されたアーム108内に配置されたX線検出器106を含む。X線源104および検出器106の位置は、必要に応じて逆にすることもできる。テーブル102は、検出器106およびX線源104およびアーム108とともに、X線源104および/またはアーム108の動作を制御することができて、患者101を通過し検出器106に衝突するX線源104からのX線から得られる検出器106からの撮像データを受信することができる、コンピュータシステム110に動作可能に接続される。

【0030】

図1および図5を参照すると、X線投影データを取得するためにスキャンを実行する際に、アーム108の動きならびにX線源104および/または検出器106の動作は、DXAスキャナ100の制御機構/コンピュータシステム110によって調節される。制御機構110は、X線源104に電力およびタイミング信号を供給するX線コントローラ112と、アーム108の速度および位置を制御するアームモータコントローラ114とを含む。制御機構110内のデータ収集システム(DAS)116は、検出器が直接デジタル信号を供給しない場合、検出器106からのアナログデータをサンプリングし、そのデータをその後の処理のためにデジタル信号に変換する。画像再構成装置118は、DAS116からサンプリングされデジタル化されたX線データを受け取り、高速再構成を実行する。再構成画像は、入力として、データベース/大容量ストレージデバイス122に画像を記憶する、コンピュータ120に適用される。

【0031】

さらに、コンピュータ120はまた、キーボード126などの入力デバイスを有することができるオペレータコンソール124を介してオペレータからコマンドおよびスキャンパラメータを受信する。関連するディスプレイ128によって、オペレータは、コンピュータ120からの再構成データおよび他のデータを見ることが可能になる。オペレータによって供給されたコマンドおよびパラメータは、DAS116、X線コントローラ112、およびアームモータコントローラ114に制御および信号情報を提供するためにコンピュータ120によって使用される。

【0032】

図5を特に参照すると、本発明の1つの例示的な実施形態では、患者101の頭部から爪先へのスキャン中の、患者101および検出器106に対する、X線源104の動きが概略的に示されている。図2Aから図2Cに示す先行技術のスキャン経路とは対照的に、スキャナ100は、X線源104が検出器106に垂直な平面に少なくとも部分的に沿って移動するラスタスキャンなどの様々な断層撮像スキャンモードで動作させることができ、スキャンにおいて、X線源104は、少なくとも部分的には連続運動で移動しており、やがて制限されたX線露光は、撮像物体の異なる二重エネルギー投影を生成し、および/またはX線源104は少なくとも部分的に平面Pに垂直に移動しており、だが単純な平面ではなく、任意選択的に検出器106までの距離が変化するより複雑な移動パターンでは

、異なる角度で取得された投影のセットからトモシンセシスデータを再構成する場合に画像品質の最適化を可能にする。図5に示す例示的な実施形態では、X線源104は、検出器106の入口または検出表面105に平行に配向された患者101の平面または区分Wに沿って移動され、X線源104と検出器106の中心とを通る軸と、少なくとも1つの検出器106の検出表面105の中心にあって検出表面105に垂直な軸Pとの間の角度が変化する複数の位置で停止および動作する。所望の数の画像129が患者101の特定の区分Wで得られると、アーム108は、追加の画像129を得るために、X線源104および/または検出器106を異なる、場合によっては重複する部分Wに移動させる。このプロセスは、患者101が身体の全体または身体の特定の部分にわたって適切にスキャンされるまで、何度も繰り返される。X線源104の撮像位置を複数にすることにより、X線源104が、平面Pに対して異なる角度で患者101内の同じ物体（例えば、骨）の検出器106上に複数の画像129を生成または取得することを可能にし、画像129は、二重エネルギー画像、すなわち、X線源104が動作する各位置で患者101の得られた低エネルギーおよび高エネルギー画像とすることができる。DAS116および画像再構成装置118では、これらの画像129を断層撮影により再構成して、検出器106に対して平行または他の所望の向きである患者101内の異なる高さに2D画像130、132の少なくとも1つのセットを形成することができる。

【0033】

別の例示的な実施形態では、スキャナ100は、アーム108に沿って互いに離間した複数のX線源104を含むことができる。動作中、個々のX線源104は、2D平面画像130、132のセット133への断層再構成のための二重エネルギー画像129を生成するために連続的に動作するが、X線源104の移動は検出器106の入射面に垂直な所与の平面内で動作しない。したがって、複数のX線源104の存在および動作は、X線源104が二重エネルギー画像129の各々を得るためのプロセスの間は静止したままであるので、X線源104の間で得られる二重エネルギー画像129において機械的に誘発される変動を排除することができる。

【0034】

ここで、図6に示す例示的な実施形態を参照すると、平面画像130、132の少なくとも1つのセット133の再構成を完了すると、これらの画像130、132は、個別にまたは集合的に、制御機構110に動作可能に接続されるデータベース122、136内に保持される他の患者のDXAスキャンから得られる2D断層撮影スキャン画像の1つまたは複数の記憶されたセット134と比較することができる。セット133内の取得された2D断層画像130および132の1つまたは複数と、TOMO画像のDXAスキャンセット134における1つまたは複数の記憶された2D断層画像との間に密接な比較がなされるか、または類似性が見られる場合、制御機構110は、断層画像の特定の記憶されたDXAスキャンセット134に関連してデータベース122、136に記憶された画像のCTスキャンセット137にアクセスし、画像の選択され記憶されたセット134および137に関する記憶された3D有限要素解析（FEA）モデル138を生成または配置することができる。モデル138の生成またはその修正として、取得されたDXA断層画像130、132のセット133からの情報が、FEAモデル138に含まれ、モデル138'が構成され、続いてディスプレイ128またはスキャナ100に動作可能に接続された他の同様のデバイスに示すことができる。このようにして、少なくとも1つのDXA断層画像セット133によって提供される追加情報は、モデル138の構成におけるエラーおよび、骨の皮質厚さ、皮質容積密度、および骨梁容積密度など、ならびに/もしくはモデル138'上またはモデル138によって提供される骨折リスクの評価などの、モデル138'上に表示される異なるパラメータのカラーマップの表現におけるエラーを大幅に減らす。

【0035】

ここで図7を参照すると、本発明の代替実施形態では、DXA断層画像130、132の少なくとも1つの取得されたセット133が、データベース122、136に配置され

10

20

30

40

50

る計算された記憶されたD X A断層画像1 4 2のセットと比較される。計算されたD X A断層画像1 4 2のセットは、取得されたD X A断層画像1 3 0、1 3 2の少なくとも1つのセット1 3 3との比較のために、および記憶されたC Tスキャン画像1 4 4のセットと取得されたD X Aスキャン断層画像1 3 0、1 3 2からの情報とを用いてF E Aモデル1 3 8を形成するために、データベース1 3 6に記憶されている先の患者のC Tスキャン画像1 4 4のセットから再構成される。この例示的な実施形態では、D X Aスキャン断層画像1 3 0、1 3 2の得られたセット1 3 3と比較したD X A画像1 4 2が、モデル1 3 8を構成するために使用される患者のC Tスキャン画像1 4 4から直接再構成されるので、他の患者について先行するD X Aスキャンは行われない。

【0036】

図8に示される本発明の別の例示的な実施形態では、取得されたD X Aスキャン断層画像1 3 0、1 3 2の少なくとも1つのセット1 3 3が、前の患者のC Tスキャン画像1 4 8のセットから構成される再フォーマットされたC Tスキャン画像1 4 6のセットと比較され、データベース1 2 2、1 3 6に記憶される。再フォーマットされたC Tスキャン画像1 4 6のセットは、患者の様々な冠状面に沿うなどの、少なくとも1つの取得されたD X Aスキャン断層画像1 3 0、1 3 2の画像平面に対応するC Tスキャン画像1 4 8のセットから再構成される画像である。次いで、選択された再フォーマットされた画像1 4 6は、F E Aモデル1 3 8を生成するために、C Tスキャン画像1 4 8および取得されたD X Aスキャン断層画像1 3 0、1 3 2の少なくとも1つのセット1 3 3からの情報と共に利用される。

【0037】

ここで図9 Aを参照すると、D X Aスキャナ1 0 0と、図2 Aから図2 Cのうちの1つに示されたスキャン方法とを用いて得られるようなD X Aスキャン画像1 5 0が示されている。画像1 5 0において、各ピクセル1 5 2は、ピクセル1 5 2が、脂肪組織1 5 8および/または赤身組織1 6 0（筋肉、非脂肪、および非ミネラル組織）から構成される骨ピクセル1 5 4または軟組織ピクセル1 5 6であるかどうかに基づいて解析される。軟組織ピクセル1 5 6において、解析は、低エネルギーおよび高エネルギーD X A画像の組み合わせから、脂肪組織割合1 5 8および赤身組織割合1 6 0を測定する。しかしながら、骨ピクセル1 5 4では、2つの異なるエネルギーで取得された2つの画像のみから3つの異なる物体の割合（脂肪、赤身、骨）を導き出すことができないため、骨ピクセル1 5 4内の軟組織の組成が、近傍の軟組織ピクセル1 5 6内の軟組織組成に類似しており、それに応じて、骨、脂肪、および赤身組織の割合が導出されると仮定される。解析が完了すると、骨組織割合、脂肪組織割合1 5 8、および赤身組織割合1 6 0の値が、スキャンされる個体の全身および関心領域にわたって加えられる。

【0038】

ここで図9 Bを参照すると、本発明の別の例示的な実施形態では、図5に概略的に示されるD X Aスキャナ1 0 0および関連する断層撮影スキャン方法を使用して体組成測定が実行され、身体、または身体内にある関心領域、複数の2 D断層撮影スライス1 6 1を得る。その結果、各断層画像/スライス1 6 1内の個々のピクセル1 6 2は同様に骨ピクセル1 6 4と軟組織ピクセル1 6 6とにセグメント化されるが、脂肪組織割合1 6 8および赤身組織割合1 7 0の定量化は、各スライス1 6 1において実行することができる脂肪組織割合1 6 8および赤身組織割合1 7 0の容積測定によりより正確になり、それにより、より正確な結果が各スライス1 6 1の結果の組み合わせから得られる。

【0039】

本明細書は、本発明を開示するために実施例を用いており、最良の形態を含んでいる。また、いかなる当業者も本発明を実施することができるように実施例を用いており、任意の装置またはシステムを製作し使用し、任意の組み込まれた方法を実行することを含んでいる。本発明の特許可能な範囲は、特許請求の範囲によって定義され、当業者に想起される他の例を含み得るものである。このような他の実施例が特許請求の範囲の字義通りの文言と異なる構造要素を有する場合、または、それらが特許請求の範囲の字義通りの文

10

20

30

40

50

言と実質的な差異がない等価な構造要素を含む場合には、このような他の実施例は特許請求の範囲内であることを意図している。

【符号の説明】

【 0 0 4 0 】

1 0	2 D D X A 画像	
1 2	基準データベース	
1 4	2 D D X A 画像	
1 6	2 D D X A 画像	
1 8	画像の C T スキャンセット	
2 0	3 D 有限要素解析 (F E A) モデル	10
2 0 '	修正された F E A モデル	
5 0	コンピュータシステム	
1 0 0	D X A スキャナ	
1 0 1	患者、患者の身体	
1 0 2	D X A テーブル	
1 0 4	X 線源	
1 0 5	検出表面	
1 0 6	X 線検出器	
1 0 8	アーム	
1 1 0	コンピュータシステム、制御機構	20
1 1 2	X 線コントローラ	
1 1 4	アームモータコントローラ	
1 1 6	データ収集システム (D A S)	
1 1 8	画像再構成装置	
1 2 0	コンピュータ	
1 2 2	データベース / 大容量ストレージデバイス	
1 2 4	オペレータコンソール	
1 2 6	キーボード	
1 2 8	ディスプレイ	
1 2 9	二重エネルギー画像	30
1 3 0	2 D 断層画像、D X A スキャン断層画像	
1 3 2	2 D 断層画像、D X A スキャン断層画像	
1 3 3	D X A 断層画像セット	
1 3 4	D X A スキャンセット	
1 3 6	データベース	
1 3 7	画像の C T スキャンセット	
1 3 8	3 D 有限要素解析 (F E A) モデル	
1 3 8 '	モデル	
1 4 2	D X A 断層画像	
1 4 4	C T スキャン画像	40
1 4 6	再フォーマットされた C T スキャン画像	
1 4 8	C T スキャン画像	
1 5 0	D X A スキャン画像	
1 5 2	ピクセル	
1 5 4	骨ピクセル	
1 5 6	軟組織ピクセル	
1 5 8	脂肪組織割合、脂肪組織	
1 6 0	赤身組織割合、赤身組織	
1 6 1	2 D 断層撮影スライス	
1 6 2	ピクセル	50

- 1 6 4 骨ピクセル
- 1 6 6 軟組織ピクセル
- 1 6 8 脂肪組織割合
- 1 7 0 赤身組織割合

【図面】

【図 1】

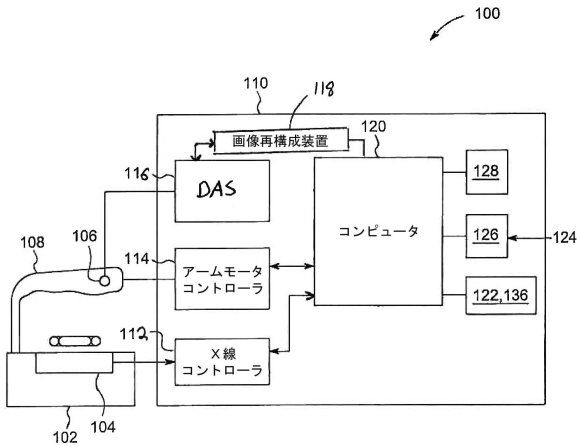
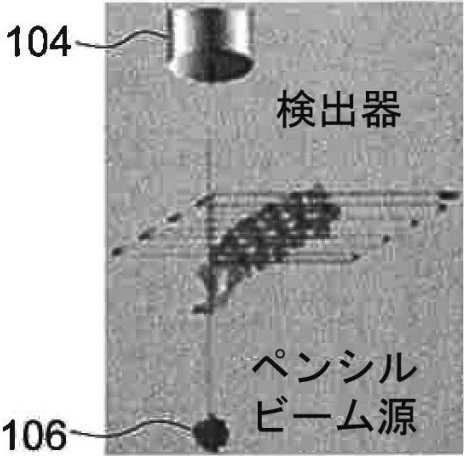


FIG. 1

【図 2 A】

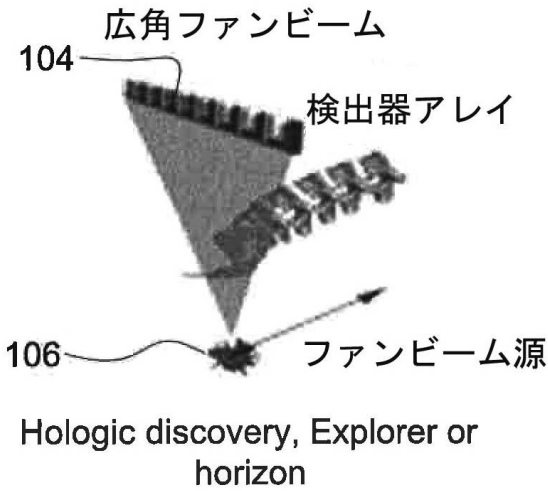
Norlandペンシルビーム



XR600またはXR800

FIG. 2A

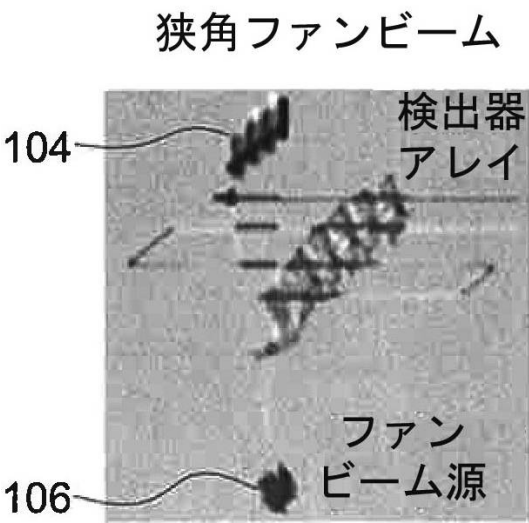
【図 2 B】



Hologic discovery, Explorer or horizon

FIG. 2B

【図 2 C】



iDXA, Prodigy

FIG. 2C

10

20

30

40

50

【図 3】

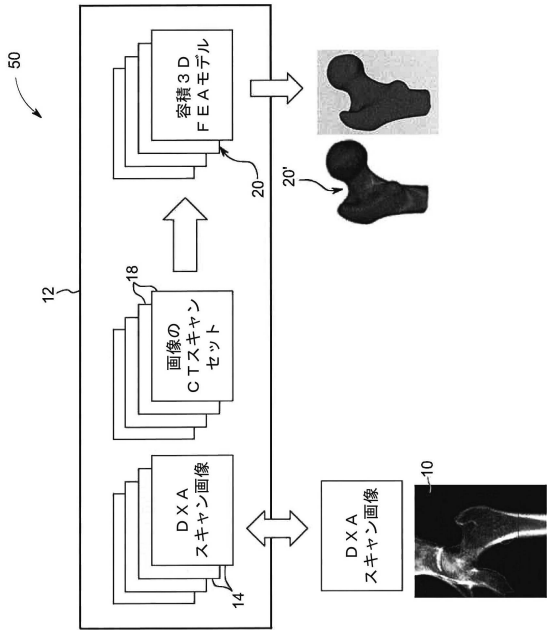


FIG. 3

【図 4】

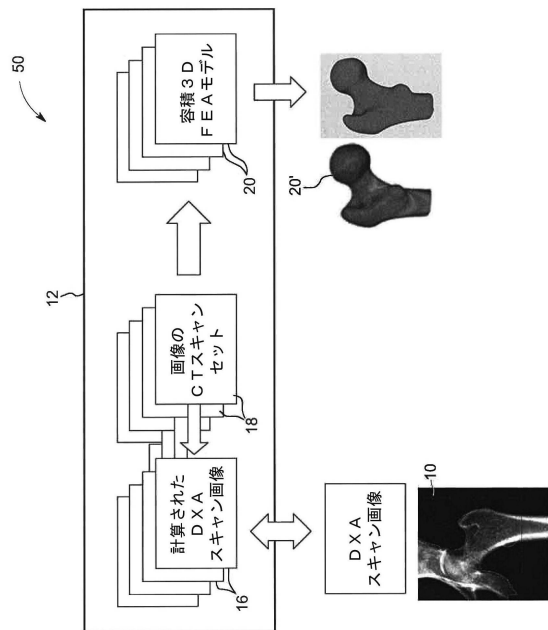


FIG. 4

【図 5】

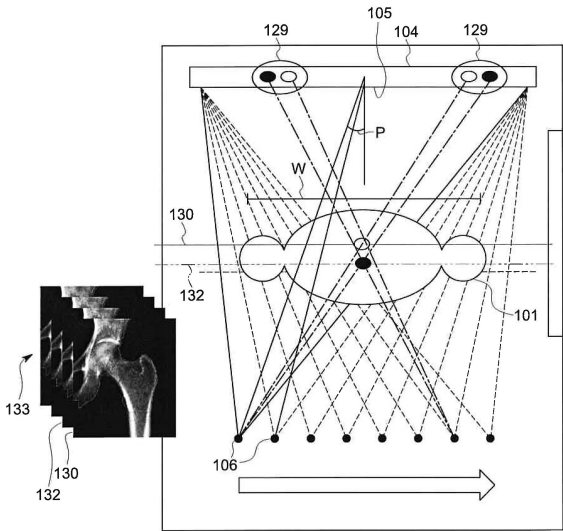


FIG. 5

【図 6】

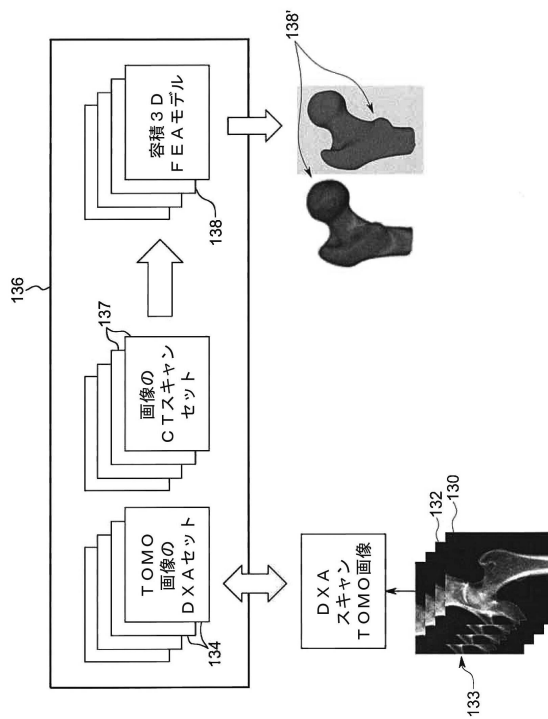


FIG. 6

10

20

30

40

50

【図 7】

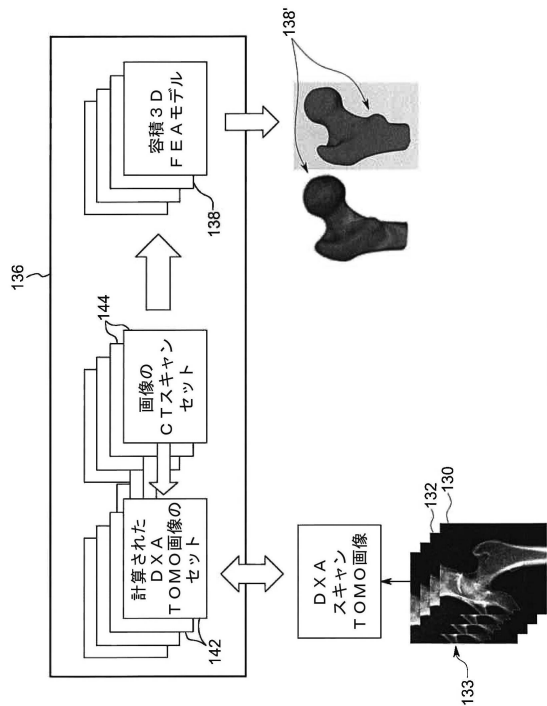


FIG. 7

【図 8】

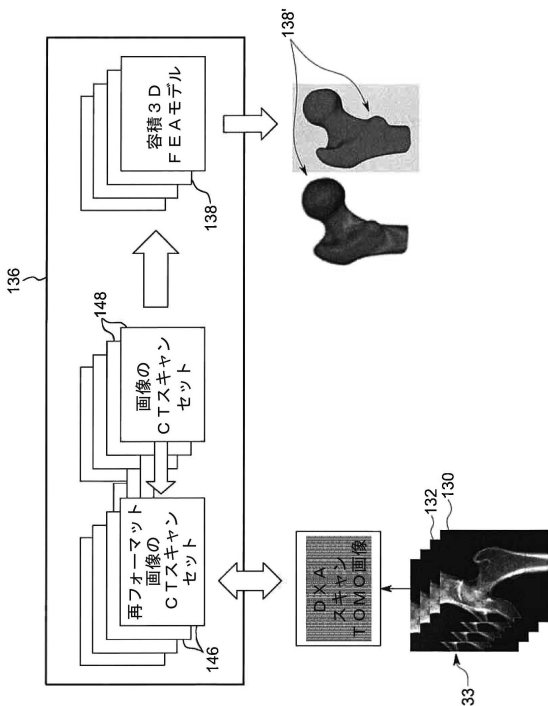


FIG. 8

【図 9 A】

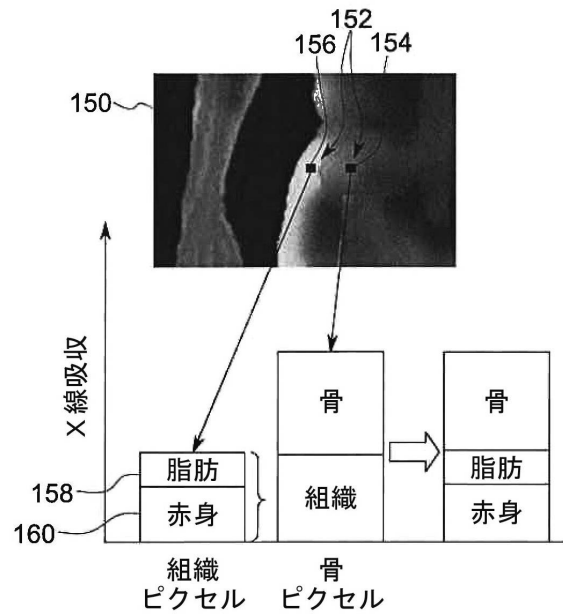


FIG. 9A

【図 9 B】

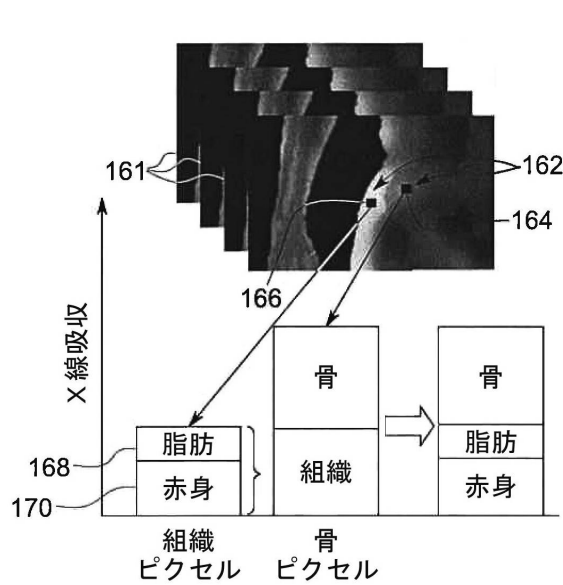


FIG. 9B

10

20

30

40

50

フロントページの続き

- (72)発明者 ポール・マークウォート
 アメリカ合衆国、ウィスコンシン州・５３７１８、マディソン、オーメダ・ドライブ、３０３０
- (72)発明者 サージ・ミュラー
 フランス、ビュク・７８５３０、リュ・ド・ラ・ミニエール、２８３
- 審査官 倉持 俊輔
- (56)参考文献 特開２００６－１０２４９１（ＪＰ，Ａ）
 特開２０１４－０１８４１３（ＪＰ，Ａ）
 米国特許出願公開第２０１１／０２３１１６２（ＵＳ，Ａ１）
 特開２０１７－１０８８５３（ＪＰ，Ａ）
 特開２０１６－２２０８５０（ＪＰ，Ａ）
- (58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
 Ａ６１Ｂ ６／０２