

(19)日本国特許庁(JP)

(12)公表特許公報(A)

(11)公表番号

特表2022-517308
(P2022-517308A)

(43)公表日 令和4年3月8日(2022.3.8)

| (51)国際特許分類 | F I | テーマコード(参考) |
|-------------------------|----------------------|------------|
| A 6 1 B 6/03 (2006.01) | A 6 1 B 6/03 3 6 0 G | 4 C 0 9 3 |
| G 0 6 T 15/08 (2011.01) | A 6 1 B 6/03 3 6 0 D | 5 B 0 5 0 |
| G 0 6 T 19/00 (2011.01) | A 6 1 B 6/03 3 6 0 Q | 5 B 0 8 0 |
| | G 0 6 T 15/08 | |
| | G 0 6 T 19/00 A | |

審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全27頁)

| | | | |
|-------------------|---|---------|--|
| (21)出願番号 | 特願2021-537106(P2021-537106) | (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 5 6 5 6 アーヘー アイ ドーフエン ハイテック キャンパス 5 2 High Tech Campus 5 2 , 5 6 5 6 AG Eindhoven , N etherlands |
| (86)(22)出願日 | 令和2年1月10日(2020.1.10) | (74)代理人 | 100122769 弁理士 笛田 秀仙 |
| (85)翻訳文提出日 | 令和3年6月24日(2021.6.24) | (74)代理人 | 100163809 弁理士 五十嵐 貴裕 |
| (86)国際出願番号 | PCT/EP2020/050604 | (72)発明者 | スレッケンベルフ マルクス 最終頁に続く |
| (87)国際公開番号 | WO2020/148195 | | |
| (87)国際公開日 | 令和2年7月23日(2020.7.23) | | |
| (31)優先権主張番号 | 19152222.6 | | |
| (32)優先日 | 平成31年1月17日(2019.1.17) | | |
| (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,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,A T,BE,BG,CH,CY,CZ,DE,DK,EE,ES,FI,FR ,GB,GR,HR,HU,IE,IS,IT,LT,LU,LV,MC, 最終頁に続く | | |

(54)【発明の名称】 動的解剖学的構造を視覚化する方法

(57)【要約】

(a)期間(T)にまたがるダイナミック構造(1)の三次元医療画像のシーケンスを提供すること、(b)動的モデル(14)を提供すること、(c)三次元画像の各々内の関心ボリューム(3)を有する関心ボリューム(40)を決定すること、関心ボリューム(40)が期間にわたる関心解読機能(3)の位置及び/又は形状に従い、関心ボリューム(40)が三次元医療画像の完全な視野(M1, M2, M3, ... MZ)より小さいこと、及び(d)三次元視覚化環境(50, 70)を提供することを含み、特定の時点に対応する可視化(45)は、(i)三次元画像の関心ボリューム(40)のボリュームレンダリングを有すること、及び(ii)動的モデルの可視化を有することを有する。三次元視覚化環境(50, 70)はシネモードの期間にわたる各三次元画像について、動的モデル(14)及びボリュームレンダリングされる関心ボリューム(40)を表示することを可能にする。

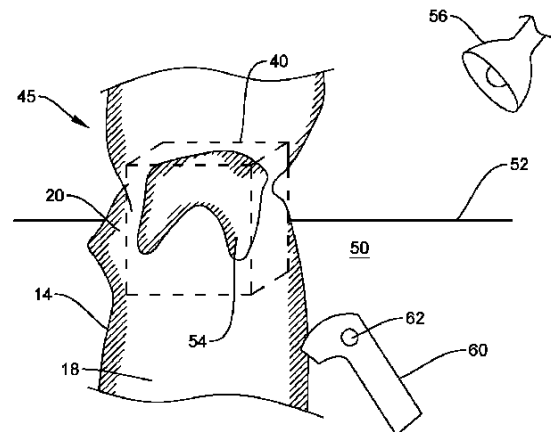


FIG. 7

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

動的解剖学的構造を視覚化する方法であって、前記方法は、

a) ある期間にわたる三次元医用画像のシーケンスを提供するステップであって、前記シーケンスの各三次元医用画像は前記期間中の時点における動的解剖学的構造を示す、ステップと、

b) 前記解剖学的構造の少なくとも一部の動的モデルを提供するステップであって、前記動的モデルは前記三次元医用画像の前記シーケンスから導出され、レジストレーションされる、ステップと、

c) 前記三次元画像の各々の中に関心解剖学的特徴を含む関心ボリュームを決定するステップであって、前記関心ボリュームは前記期間の間に前記関心解剖学的特徴の前記位置及び / 又は前記形状に従い、前記関心ボリュームは前記三次元医用画像の前記完全な視野よりも小さい、ステップと、

d) 前記期間の間に前記動的解剖学的構造を表示するための三次元視覚化環境を提供するステップであって、前記期間内の特定の時点に対応する視覚化は、

(i) 前記特定の時点に対応する前記三次元画像の前記関心ボリュームのボリュームレンダリングと、

(ii) 前記特定の時点及び前記関心ボリュームの前記ボリュームレンダリングと同じ座標系における前記動的モデルの視覚化と

を有する、ステップと

を有する、方法。

【請求項 2】

前記三次元視覚化環境は仮想現実環境である、請求項 1 に記載の方法。

【請求項 3】

前記動的解剖学的構造は人間又は動物の心臓であり、前記関心解剖学的特徴は前記心臓の一部である、請求項 1 乃至 2 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 4】

前記動的モデルは 1 つ又は複数の心腔の動的表面モデルであり、前記解剖学的特徴は心臓弁である、請求項 3 に記載の方法。

【請求項 5】

前記動的モデルは動的表面モデルであり、全ての三次元画像にわたるセグメント化によって、又は 1 つの三次元画像及び前記後続する画像におけるスペックル又は特徴追跡におけるセグメント化によって、前記三次元医用画像のシーケンスから導出される、請求項 1 乃至 4 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 6】

前記関心ボリュームの位置及び / 又は方向は、前記動的モデルにおける前記関心特徴の対応する位置及び / 又は方向を識別することによって、前記期間の間で決定される、請求項 1 乃至 5 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 7】

前記関心ボリュームは、前記動的モデル又は前記三次元画像における前記解剖学的特徴のランドマーク点のセットを識別することによって決定され、前記ランドマーク点は前記期間の間に前記関心解剖学的特徴の前記位置及び / 又は前記形状に従い、各三次元画像に対して前記ランドマーク点のセットにわたる近似表面を定義することによって決定され、前記関心ボリュームを、前記近似表面の上及び / 又は下及び / 又は側面に延在するボリュームとして決定することによって決定される、請求項 1 乃至 6 の何れか一項に記載の方法。

【請求項 8】

前記三次元視覚化環境を提供するステップは、

医用装置、特にインプラントに対応するコンピュータグラフィックオブジェクトを前記ボリュームレンダリングと同じ座標系で表示するステップであって、前記動的モデル及び前記ボリュームレンダリングされる VOI がシネモードで表示されるとき、前記コンピュータ

10

20

30

40

50

グラフィックオブジェクトは前記動的モデル内の位置にロックされる、ステップと、
入力ツールをユーザに提供するステップであって、前記入力ツールは、前記ユーザが前記
ボリュームレンダリング及び前記動的モデルの前記視覚化に対して前記医用装置に対応し
て前記コンピュータグラフィックオブジェクトを移動及び傾斜させることを可能にする、
ステップと

を有する、請求項1乃至7の何れか一項に記載の方法。

【請求項9】

前記三次元視覚化環境を提供するステップは、
入力ツールをユーザに提供するステップであって、前記入力ツールは、前記ユーザが前記
解剖学的構造内の点を選択し、前記解剖学的構造上で測定することを可能にする、ステッ
プ

10

を有する、請求項1乃至8の何れか一項に記載の方法。

【請求項10】

前記仮想現実環境は、少なくとも1つの入力ツールを有し、前記入力ツールは、仮想現実
コントローラによって実現され、ユーザが手のジェスチャを使用して前記仮想現実環境内
の対象物を把持し、移動させることを可能にする、請求項2に記載の方法。

【請求項11】

前記仮想現実環境は、少なくとも1つの入力ツールを有し、前記入力ツールは、仮想現実
コントローラによって実現され、ユーザがジェスチャ制御によって前記視覚化に使用され
るパラメータを調整すること、特に、前記関心ボリュームにボリュームレンダリングを実
行する際に使用される閾値のような設定を調整することを可能にする、請求項2又は10
に記載の方法。

20

【請求項12】

プロセッサによって実行されるとき、前記プロセッサが請求項1乃至11の何れかに記載
の方法を実行できるようにするプログラムコード命令を有するコンピュータプログラム。

【請求項13】

動的解剖学的構造を視覚化するように構成されるユーザインターフェースであって、前記
動的解剖学的構造は、期間にわたる三次元医用画像のシーケンス上に捕捉され、前記シー
ケンスの各三次元医用画像は、前記期間中の時点における前記動的解剖学的構造を示し、
前記ユーザインターフェースは、

30

a) 期間の間に前記動的解剖学的構造の三次元視覚化を提供するように構成される三次元
視覚化環境と、

前記期間内の特定の時点に対応する視覚化を生成するように構成されるプロセッサであっ
て、前記視覚化は、

(i) 前記特定の時点に対応する前記三次元画像内の関心ボリュームのボリュームレンダリ
ングの表示であって、前記関心ボリュームは関心解剖学的特徴を含む、表示と、

(ii) 前記関心ボリュームの前記ボリュームレンダリングと同じ座標系及び前記特定の時点
における前記動的解剖学的構造の少なくとも一部の動的モデルの表示であって、前記関心
ボリュームは、前記期間の間の前記関心解剖学的特徴の前記位置及び/又は前記形状に従
い、前記関心ボリュームは、前記三次元医用画像の前記完全な視野よりも小さい、表示と
を有する、ユーザインターフェース。

40

【請求項14】

前記三次元視覚化環境は仮想現実環境であり、前記ボリュームレンダリング及び前記動的
モデルの前記表示は、仮想現実表示、特に仮想現実ヘッドセット上にある、請求項13に
記載のユーザインターフェース。

【請求項15】

前記仮想現実環境は少なくとも1つの入力ツールを有し、前記入力ツールは、ユーザが、
前記仮想現実環境に表示される対象物の把持及び移動する動作、

前記解剖学的構造を測定する動作、

ジェスチャ制御によって前記視覚化に使用されるパラメータを調整する動作、及び

50

前記解剖学的構造に注釈を付ける動作であって、前記注釈は、前記動的モデル及び前記ポリリウムレンダリングされる関心ポリリウムがシネモードで表示されるとき、前記動的モデル内の位置にロックされる、動作の一つ又はそれより多くを実行することを可能にする仮想現実コントローラである、請求項13又は14に記載のユーザインターフェース。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、動的解剖学的構造を視覚化する方法、関連するコンピュータプログラム、及びユーザインターフェースに関する。

10

【背景技術】

【0002】

医用撮像技術は、人間又は動物の身体の三次元(3D)画像データを提供する。しかしながら、画像は通常、二次元(2D)スクリーン上で見られる。したがって、3Dデータセットが2Dスクリーン上の直交平面内で観察され、分析されるとき、医用3Dデータ上に表される解剖学的構造間の相対的な空間的關係を誤って解釈する全現象的なリスクがある。誤差の頻繁な原因は解剖学的構造の分析及び測定値を行うために、不正確に配置される、又はねじれた測定値面を選択することである。

【0003】

3Dポリリウムレンダリングは、3D画像データセットの2D投影を表示するために使用される技術のセットである。しかしながら、3Dポリリウムレンダリングは解剖学的構造のメンタル3Dモデルを形成するのに役立つが、選択される設定(閾値、平滑化など)だけでなく、画質にも強く依存する。これは、しばしば、画像エラーを組み込み、したがって、ユーザがもはや解剖学的構造のポリリウムレンダリングされる表現にクリティカルな質問をしたり検証したりしない危険性を伴う。それにもかかわらず、1つ以上の閾値で3D体積を分割するアプローチは複雑な病理(例えば、腫瘍、索状断裂又は石灰化生体弁)に用いる場合、依然として興味深い。

20

【0004】

一方、解剖学的構造の単純化されるモデルは悪い画質を補うことができ、より容易かつより速い解釈できるため、臨床現場で高い評価を楽しんでいる。動的表面モデルの一例は、右心室腔の動的表面モデルであるTOMTEC Imaging Systems GmbHによる市販のソフトウェア4D LV - ANALYSIS(登録商標)又は4D MVの特徴であるTOMTEC Beutel(登録商標)である。しかし、複雑で微細な構造は捕捉されず、適切に表示されないため、これらは全ての病理に適しているわけではない。

30

【0005】

したがって、複雑な解剖学的構造の医用画像データ、例えば心臓3Dポリリウムデータをセグメント化し、表示するための現在のアプローチは、表面モデル又は形状モデルを使用することによって解剖学的特性を過度に単純化するか、又は誤った結論を導き得る閾値ベースのセグメント化を使用するかの何れかである。したがって、例えば心臓介入を計画する際に必要な重要な幾何学的相関及び情報は、失われたり見落とされることがある。

40

【0006】

いくつかの研究は、CT又は3Dエコーデータに基づく医用モデルの3Dプリンティングで機能する。しかしながら、3Dプリンティングプロセスは多くの時間及び専門知識を要し、高価であり、毎日の臨床ルーチンに含めることができず、解剖学的構造(特に3Dエコーの場合)の動的な動きを表すことができない。

【0007】

仮想現実(VR)は、医用画像データを視覚化する際に使用されてきた。例えば、Thomas S. Sorensenらは「心臓介入の計画のための新しい仮想現実アプローチ」(Artificial Intelligence in Medicine 22(2001), 193乃至2014)において、心臓磁気共鳴(MR)データの仮想現実視覚化を開示している。開示される方法は最適化される呼吸補償3

50

D MRスキャン、セグメンテーション、モデル生成、及びインタラクティブな仮想現実視覚化を含む。セグメンテーションは心臓血管系の異なる解剖学的部分を規定する平行平面内の一組の輪郭をもたらした。3Dモデルがこれらの輪郭を接続することによって作成される。モデルが互いに90度の角度をなす2つのディスプレイのセットアップである「ホロベンチ」と組み合わせてシャッター眼鏡を使用して観察される。

【0008】

Cristian A. Linteらは「virtual reality enhanced ultrasound guidance心臓内介入のための新技術」(Computer Aided Surgery、2008年3月、13(2)、82乃至94)に、リアルタイムの術中心エコー検査を可視化するための仮想現実環境を開示している。術前画像及び磁氣的に追跡される手術器具の位置は、手術中の超音波画像を強調するために外科医に提示され得る。術前画像は、特徴に基づく位置合わせ技術を用いて、術中TEE(経食道心エコー検査)データと位置合わせされる。

10

【0009】

米国特許出願公開第2014/052001号明細書は機械学習分類器を用いて僧帽弁を自動的に検出するために、組織を表すBモードデータと逆流ジェットを表すフローデータとの両方を使用することを開示している。一連の分類器を使用することができ、例えば、1つの分類器を用いて弁領域の位置及び方向を決定し、別の分類器を用いて逆流オリフィスを決定し、第3の分類器を用いて僧帽弁の解剖学的構造を位置決めする。いくつかの分類器についての1つ以上の特徴は、弁領域の方向に基づいて計算されてもよい。僧帽弁が検出されると、それはメッシュモデルとしてレンダリングされ、心臓のレンダリング上にオーバーレイされる。

20

【0010】

US 2016220311 A1は、医用イメージングシステムから画像データを取得するプロセッサを開示している。プロセッサは、画像データから最初のモデルを生成する。プロセッサは、第1のモデルから推定される心臓電気生理学及び心臓力学を含む計算モデルを生成する。プロセッサは治療の結果を決定するために、計算モデル上でテストを実行する。プロセッサは、介入画像上に転帰をオーバーレイする。インターベンショナルイメージングを用いて、最初の心臓モデルを治療中に更新/重ね合わせて、患者の心臓に対するその効果を可視化することができる。US2008194957 A1は、対象物の三次元画像を生成する方法を開示している。この方法は、対象物のモデルを提供するステップと、対象物の外部のソーストランスデューサから対象物の領域を超音波照射するステップと、対象物の外部の受信トランスデューサにおいて対象物から帰還エコーを受信するステップと、帰還エコーを処理するステップと、対象物のモデルに応答する対象領域と、帰還エコーに応答する対象物領域とを含む対象物のハイブリッド画像を生成するステップとを含む。

30

【0011】

Lin W. et al. in "Visualisation of cardiac dynamics using physics based deformable mode" (visual communications and image processing 20.1.2004 20.1.2004 San Jose, vol. 3976, 200年2月15日(2000.02.15)、210乃至217頁、XP008019251、DOI 10.1117/12.383043 ISBN 978 1 62841 730 2)は、左心室の動的運動を表示する画像を生成することを開示している。

40

【0012】

従って、表面モデルがクレーティングされる最初の方法を提供する。さらに、連続する時間点表面モデルにおいて、接続される対応する頂点の軌跡に従うことによって表面メッシュが変形される物理ベースの変形可能モデルが提供される、第2の方法が提供される。

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0013】

したがって、本発明の目的は、動的な解剖学的構造を視覚化する方法であって、画像データを解釈する危険性、特に解剖学的特徴間の相対的な空間的關係を誤って解釈するか、又は不正確に測定する危険性を最小限に抑える方法を提供することである。

50

【課題を解決するための手段】

【0014】

本発明の第1の態様によれば、上記の問題のうちの1つ又は複数をもより良く解決するために、動的な解剖学的構造を視覚化する方法が提供される。この方法は、

a)ある期間にわたる三次元医用画像のシーケンスを提供するステップであって、前記シーケンスの各三次元医用画像は前記期間中の時点における動的解剖学的構造を示す、ステップと、

b)前記解剖学的構造の少なくとも一部の動的モデルを提供するステップであって、前記動的モデルは前記三次元医用画像の前記シーケンスから導出され、レジストレーションされる、ステップと、

c)前記三次元画像の各々の中に関心解剖学的特徴を含む関心ボリュームを決定するステップであって、前記関心ボリュームは前記期間の間に前記関心解剖学的特徴の前記位置及び/又は前記形状に従い、前記関心ボリュームは前記三次元医用画像の前記完全な視野よりも小さい、ステップと、

d)前記期間の間に前記動的解剖学的構造を表示するための三次元視覚化環境を提供するステップであって、前記期間内の特定の時点に対応する視覚化は、

(i)前記特定の時点に対応する前記三次元画像の前記関心ボリュームのボリュームレンダリングと、

(ii)前記特定の時点及び前記関心ボリュームの前記ボリュームレンダリングと同じ座標系における前記動的モデルの視覚化と

を有する、ステップと

を有する。好ましくは三次元視覚化環境が「シネモード」、すなわち「シネマティックモード」又は動画において、それぞれの三次元画像について動的モデル及びボリュームレンダリングされる関心ボリュームを表示することを可能にし、これは一連の視覚化が例えば毎秒5乃至100回の視覚化のフレーム速度で動的に示されることを意味する。したがって、本発明は、医用3Dボリュームデータを見る時に2つの重要なアプローチを組み合わせる第1のアプローチが解剖学的構造の少なくとも部分動的なコンピュータ生成モデルである。このようなモデルは解剖学的構造のより単純なバージョン/抽象化を示し、解剖学的構造をナビゲート及び解釈することをより容易にし、画質にあまり依存せず、「ホール」を有さず、すなわち、アーチファクトを組み込まないなどの利点を有する。第2のアプローチはボリュームレンダリングであり、これは、TOMTECによって4D MVのようなソフトウェアによってモデル化することができない、より複雑な/異常な解剖学的構造、又は弁尖、狭窄、石灰化、生体プロテゼ、破裂した索などの非常に個別の構造に適しているという利点を有する。さらに、閾値、不透明度、コントラストのようなパラメータは「ライブ」に、すなわち、ボリュームレンダリングの動的シーケンスを見ながら即座の効果で調整することができる。他方、ボリュームレンダリングは画像品質に強く依存し、したがって、容易な解釈には複雑すぎる可能性がある

【0015】

本発明は両方のアプローチの利点を提供する組み合わせを提供する体積レンダリングがそれが実際に有用であり、必要である解剖学的構造の部分に対してのみ使用される。ボリュームレンダリングが使用される領域(=VOI)は実際の関心特徴に対して最小化することができ、その結果、関心特徴(例えば、弁)が焦点から外れることなく、より良好な概観が得られる。これは、動的モデルの点を使用してVOIの位置を動的にも調整することによって行うことができる。従って、本発明は動的モデル、例えば形状/表面モデルによって提供される優れた概観及びナビゲーションの機会を、ボリュームレンダリングによって提供される調整可能で高度に個別の利点と組み合わせて提供し、一方、ボリュームレンダリングは、必要な場合にのみ使用される。

【0016】

動的解剖学的構造は、人間又は動物の体内の任意の移動物体であってもよい。特に、呼吸運動や心拍などの周期的な動きの影響を受ける構造である。したがって、この方法は、心

10

20

30

40

50

臓、肺、肋骨、肝臓、腎臓などの胴体内の解剖学的構造を視覚化するのに特に適している。解剖学的構造は心臓など人間又は動物の身体の器官又は器官の一部であってもよいが、血管又は骨構造であってもよい。本発明の方法は、心臓などの空洞を含む中空器官及び器官に特に適している。

【0017】

動的解剖学的構造はある期間にわたる人間の被験者から取得される一連の三次元医用画像で捕捉され、画像は術前画像であってもよいが、術中画像であってもよい。一連の3D医用画像は、4D画像と呼ぶことができる。三次元(3D)画像は通常、例えばDICOM規格におけるデジタル画像であり、すなわち、ボクセルの三次元アレイを含み、各ボクセルはグレースケール値を含む。このような3D医用画像は、典型的にはMR、コンピュータトモグラフィ(CT)、陽電子放射断層撮影(PET)又は超音波(US)などの医用撮像モダリティを用いて、動的解剖学的構造を含む視野から得られている。解剖学的構造が心臓である場合、超音波、特に経食道心エコー検査(TEE)を有利に使用することができる。3D画像の時シーケンスからの1つの3D画像は、以下では「フレーム」とも呼ばれる。3D画像は動的に動く解剖学的構造の滑らかな表現を可能にするために、例えば5乃至100、好ましくは20乃至60画像/秒のフレームレートで取得されてもよく、この場合、シネモードで表示される。期間は通常、周期運動の少なくとも1つのサイクル、例えば、少なくとも1つの心拍である。

10

【0018】

解剖学的構造の少なくとも一部の動的モデルは特に、解剖学的構造の単純化、例えば、解剖学的構造内の特定のインターフェース、例えば、血管又は心腔の血液-組織インターフェースの三角形表面モデルである。モデルは、各フレームの線又は表面にわたるいくつかの点を含むことができる。また、スプライン曲線によって張られた表面又は体積のような、パラメータ化されるモデルのような、数学的モデルであってもよい。このモデルは動的であり、すなわち、このモデルは、この期間にわたる解剖学的構造の動きに従う。動的モデルの目的はあまりにも詳細にユーザのビューを妨げることなく、解剖学的構造の少なくとも一部、例えば、動いている心臓の1つ又はいくつかの心腔を視覚化することである。したがって、このような単純化されるモデルは例えば、介入を計画するとき、又は解剖学的構造の特定の部分について測定を行うときに、ユーザに方向を提供する際に有用である。

20

30

【0019】

動的モデルは4D超音波画像データから、例えば、スペックル追跡技術によって抽出されて、完全な心周期全体にわたって三次元心内膜輪郭を自動的に追跡し、それによって、1つ又は複数の心腔、特に左心室、及び任意選択で左心房の少なくとも一部の動的表面モデルを生成することができる。さらに、それは、それぞれの3D医用画像に適合される形状又は表面モデルであってもよい。

【0020】

本発明は通常は解剖学的構造の一部で特定の関心解剖学的特徴を観察し、分析するのに特に有用である。このような関心特徴は、3D医用画像の完全な視野よりも小さい関心ボリューム(VOI)に含まれる。それは、解剖学的構造を構成する器官の特定部分心臓弁のような複雑な解剖学的構造を有する部分であってもよい。有用な実施形態では、関心解剖学的特徴が僧帽弁、三尖弁、大動脈弁、又は肺動脈弁である。他の実施形態では、関心解剖学的特徴が冠状血管などの他の重要な血管、又は腫瘍などの別の構造であってもよい。

40

【0021】

このような関心解剖学的特徴をより詳細に見るために、本発明は前記解剖学的特徴を含むが、好ましくは関心解剖学的特徴よりはるかに多くない、すなわちVOIが可能な限り小さい、ボリュームレンダリング関心ボリューム(VOI)を提供する。言い換えれば、VOIのサイズ及び/又は形状は、関心解剖学的特徴のサイズ及び/又は形状にできるだけ近く、好ましくは画像のシーケンス全体にわたって一致するように適合される。したがって、関心解剖学的特徴を含むVOIが三次元画像のそれぞれの中で決定され、関心ボリュームは、期

50

間にわたって関心解剖学的特徴の位置及び／又は形状に従う。VOIは3D画像からのサブボリュームであり、例えば、前記VOIに属するボリュームを囲む閉じた表面のセットによって定義される。VOIは、異なるグレー値を有するボクセルを含む。VOIをボリュームレンダリングする場合、閾値などの1つ又は複数の設定／パラメータによって、VOI内のどのボクセルがどのように表示されるかが決まる。本発明によるVOIは、直方体、円筒形、回転楕円体、又は不規則な形状を有することができる。関心ボリュームは通常、関心解剖学的特徴の位置及び／又は形状に基づいて定義され、一連の画像、例えば、所定のエッジ長さ及び直径を有する箱又は円筒を横切る固定サイズを有することができる。前記所定の長さ及び直径は、好ましくはVOIのサイズが関心解剖学的特徴の予想されるサイズに対応するように選択される。いくつかの実施形態では、サイズが各3D画像上の関心解剖学的特徴のサイズに応じて、期間にわたって変化してもよい。VOIの目的は、関心特徴が含まれる各3D画像上のボリュームを定義することである。したがって、このようなVOI内の画像コンテンツのみをボリュームレンダリングすることによって、関心の少ない解剖学的構造の他のボリュームレンダリングされる部分によってビューが妨害されることなく、関心特徴の非常に良好な視覚化を得ることができる。

10

【0022】

有用な実施形態では動的モデルが関心解剖学的特徴を覆うか、又は当接する、すなわち、左心室が僧帽弁と空間的關係にあるなど、動的モデルは関心解剖学的特徴に空間的に関連する。解剖学的特徴は、動的モデルの一部であってもよい。したがって、各ボリュームレンダリングされるVOIは対応する3D医用画像に基づき、例えば、シーケンスの各ボリュームレンダリングのVOIの中心は、期間内の対応する時点における動的モデルの解剖学的特徴の位置に対して固定される相対位置にある。

20

【0023】

VOIを決定するステップは、動的モデルを提供するステップの一部として実行されてもよい。僧帽弁の場合、例えば、左心室の動的表面モデルは、僧帽弁輪上の(ランドマーク)点のセットを含む。僧帽弁輪は心室と左心房の解剖学的接合部を構成し、弁尖組織の挿入部位となる。したがって、動的モデルは僧帽弁の位置の定義を含み、これを使用して、シーケンス内の3D画像ごとにVOIを定義することができる。他の実施形態では、関心解剖学的特徴の位置がセグメンテーション技術及び特徴／スペックル追跡技術によって定義されてもよく、ここで、特定のランドマーク点が1つの画像上で識別され、次いで、画像のシーケンス全体にわたって追跡される。位置は三次元画像空間内の単一の点によって定義することができるが、点の組、又は幾何学的構造の位置、又はボリュームの位置によっても定義することができる。

30

【0024】

ユーザが関心解剖学的特徴を見て分析することを可能にするために、時間期間にわたって動的解剖学的構造を視覚化するための三次元視覚化環境が提供される。期間内の特定の時点に対応する視覚化は、少なくとも2つの異なる種類の視覚化／描写を含む。これらは同じ座標系にあり、すなわち、それらは互いに関して正しい相対空間位置及び方向で表示される。2つの異なる視覚化が空間的にオーバーラップする場合、それらは、互いにオーバーレイ又は重ね合わされてもよく、例えば、両方が透明に描かれてもよく、又は一方が他方よりも重要であると考えられ、他方を上書きしてもよい。少なくとも2つの視覚化される対象物は、(i) VOIのボリュームレンダリングである。すなわち、VOI内の三次元医療画像の画像コンテンツは、ボリュームレンダリングされ、表示される。VOIは関心解剖学的特徴の位置及び／又は形状に従うので、このボリュームレンダリングは本質的に関心解剖学的特徴(及び可能であれば、すぐ近くの周囲)のボリュームレンダリングであるべきであるが、それ以上ではない。これにより、ユーザは、ボリュームレンダリングがカウントする場所のみ適用されるので、ボリュームレンダリングの利点を失うことなく、特定の関心解剖学的特徴の詳細で妨害されないビューが与えられる。有用な実施形態では閾値、平滑化などのボリュームレンダリングのための選択される設定は自動的に及び／又はユーザによって調整可能である。少なくとも2つの視覚化される対象物は、(ii) 第2に、

40

50

動的モデルの視覚化である。特に、VOIがボリュームレンダリングされる三次元画像と同じ時点における動的モデルの三次元視覚化が示される。これにより、ユーザには、さらなる方向及びナビゲーション情報が与えられる。例えば、VOI内の僧帽弁を分析するとき、彼は同時に、左心室流出路(LVOT)を追跡することができる。これは、弁置換、例えば経カテーテル大動脈弁移植(TAVI)又は経カテーテル大動脈弁置換(TAVR)のような介入処置、又はLVOTが閉塞していない可能性のある僧帽弁の置換を計画する場合に重要である。

【0025】

このような視覚化は、シネマティックモード又はムービーモードとも呼ばれるシネモードで表示することができる。シネモードでは、ユーザが関心移動特徴と共に、動く動的モデルの良好な印象をユーザに与えるために、好ましくは毎秒5乃至100フレーム、好ましくは20乃至60フレームのオーダーの適切なフレームレートで、3D医用画像のシーケンスに対応する一連の視覚化を示される。有用な用途では、例えば、拍動する心臓及びそれぞれの弁の開閉が視覚化され、その期間は少なくとも1つの心拍である。

10

【0026】

それによって、ボリュームレンダリングされるVOI(例えば、心臓弁の部分及びLVOT)の動きは、表面モデル(例えば、僧帽弁輪)の動き構造にロックされ、したがって、心周期全体にわたって動的に動く。したがって、本発明は解剖学的構造(関心特徴)の関連部分がVOIから外れるのを防止し、現在の状況がより速く、より信頼度をもって分析、測定、及び解釈され得ることを確実にする。本発明の視覚化環境は複雑な動的解剖学的構造を観察及び分析するために、特に、介入を計画するために、及び/又は将来の介入において移植されるインプラントの正しいサイズ、形状及び位置を決定するために使用され得る。動的モデルの3D視覚化は典型的には動的形状又は表面モデルのレンダリングであり、レンダリングは、シェーディング、レイキャスティング、周囲オクルージョン等を含む、コンピュータグラフィックスから利用可能な技術によって行われてもよい。

20

【0027】

ボリュームレンダリングは例えば、参照により本明細書に組み込まれる米国特許出願公開第2005/0253841号明細書に記載されるような、当技術分野で知られている任意のボリュームレンダリング技術によって実行することができる。通常、ボリュームレンダリングを実行するためには、空間内のカメラ位置及び視聴方向を定義する必要がある。また、幾つかの技術は、全てのボクセルの不透明度及び色を定義する。いくつかのボリュームレンダリング技術では、ボリュームから等表面(等しくグレースケール値の表面)を抽出し、それらを、例えば、多角形メッシュとしてレンダリングすることによって、又はボリュームをデータのブロックとして直接レンダリングすることによって、ボリュームを見ることが出来る。マーチングキューブアルゴリズムは、ボリュームデータから等表面を抽出するための一般的な技術である。別の一般的な技術は、体積光線キャスティングである。この技術では、所望の各画像画素に対して光線が生成される。単純なカメラモデルを使用すると、光線はカメラの保護中心(通常は表示位置又は目の点)から始まり、レンダリングされるボリュームとの間に浮かぶ仮想画像平面上の画像画素を通過する。次に、光線は、ボリューム全体にわたって規則的な又は適応される間隔でサンプリングされる。データは各サンプリング点で補間され、伝達関数が適用されてRGBAサンプリングを形成し、結果が光線の累積RGBAに加算され、光線がボリュームを出るまでプロセスが繰り返される。この処理は、スクリーン上の各画素に対して繰り返され、完成した画像を形成する。

30

40

【0028】

特に有用な実施形態によれば、三次元視覚化環境は、仮想現実環境である。「仮想現実」とは、描かれた構造の真の三次元体験を提供する任意のコンピュータ生成視覚化を意味する。したがって、本発明の仮想現実(VR)環境は特に視覚フィードバックを提供するが、聴覚などの他のタイプの感覚フィードバックを可能にすることもできる。VR環境はユーザが現実の環境を静止して見る拡張現実環境であってもよいが、VRオブジェクト(例えば、ボリュームレンダリング及び動的モデル)が現実の対象物上に重ね合わされるか又は重

50

ね合わされるか、又は現実の対象物が仮想シーン上に重ね合わされる混合現実であってもよい。ポリウムレンダリングされるVOIと動的モデルの視覚化とは、一緒になって、視覚化される対象物、好ましくは仮想現実対象物を形成することができる。

【0029】

仮想現実環境は一般に、ステレオ画像をユーザに提示することによって実現され、すなわち、各目は異なる画像を見るので、脳は、2つの異なる画像を真の三次元シーンにまとめる。このような両眼画像は、シャッタ眼鏡に関連して、仮想現実ヘッドセット又はマルチプロジェクション環境のような任意のVRディスプレイ、又は2つの画像を断続的に示すスクリーン上に提示することができる。

【0030】

VR環境では、ポリウムレンダリングされるVOI及び動的モデルが立体レンダリングによって表示されてもよい。ここではポリウムレンダリングされる(又は他の方法でレンダリングされる)視覚化/画像がわずかな空間オフセットを有する2つの視聴位置、すなわち、左眼用の1つの視聴位置及び右眼用の1つの視聴位置について、2回計算される。このようにして計算される2つの視覚化が、各目に1つずつ、例えばVRヘッドセット上でユーザに示されると、ユーザは真の三次元(VR)印象を得る。これにより、ポリウムレンダリングされるVOIと動的曲面モデルとをVRに変換することができる。

【0031】

好ましい実施形態では、本発明のVR環境を使用する人が人工世界を「見回し」、その中を動き回り、仮想対象物、特徴、又は項目と対話することができる。この効果は一般に、各目の前に小さなスクリーンを有するヘッドマウントディスプレイを備えるVRヘッドセットによって生成されるが、複数の大きなスクリーンを有する特別に設計される部屋を通して生成することもできる。ユーザがVR環境内で動き回るためには、視覚化がユーザの頭部の動きと一貫して動くように、位置及び方向の情報がヘッドセットによってVR環境を生成する電子デバイス(例えば、コンピュータ)に送信されなければならない。ユーザがVR環境内の仮想特徴と対話するためには、ハンドヘルドVRコントローラによって行うことができる手の動きも追跡しなければならない。しかしながら、この最後の特徴はユーザが仮想シーン内を歩き回るための位置/方向情報の伝送と同様に、オプションである。

【0032】

有用な実施形態では、ユーザがVR環境内の視覚化/モデルをズーム/スケーリングし、視覚化パラメータ及びレンダリング設定を調整し、及び/又は表示される対象物、特にポリウムレンダリングされるVOI及び/又は動的モデルの視覚化を捕捉することができる。それらは互いにロックされるので、それらは好ましくは掴まれて一緒に動かされる。さらに、有用な実施形態では、VR環境がポリウムレンダリングされるVOI及び表面の照明に影響を及ぼすように、ユーザがVR環境内で掴んで移動することができるランプを含む。有用な実施形態では、また、シーンの明るさ、特に可動ランプの明るさを調節してもよい。さらなる有用な実施形態は、いくつかのユーザが1つのシーンと一緒になり得るVR環境を使用する。

【0033】

仮想現実環境は、ユーザが解剖学的構造の真の三次元ビューを得るので、ユーザが視覚化される対象物を高い信頼性で見て分析することができるという利点を提供する。さらに、ユーザはその周囲を歩き回ることができ、場合によってはその中まで歩くことができるので、ユーザの前の空間を完全に満たすように、視覚化される対象物(例えば、人間の心臓の視覚化)を非常に拡大して表示させることができる。したがって、ユーザは特に良好な概観を有し、高い精度で測定を行うことができる。さらに、ユーザ入力イベントの処理は、VR環境において特に容易かつ直感的である。ポリウムレンダリングされるVOIの設定を回転及び/又は調整するなどの動作は、2次元スクリーン上では非常に扱いにくく、VRコントローラを使用するVR環境では非常に直感的かつ高速である。

【0034】

しかし、本発明は、非VR視覚化環境で有利に使用することもできる。VR(仮想現実)が

10

20

30

40

50

特に言及されていない場合、以下の特徴及び実施形態は、VR及び非VR視覚化環境の両方に有用である。

【0035】

有用な実施形態では動的解剖学的構造がヒト又は動物の心臓であり、関心解剖学的特徴は心臓弁又は冠状血管などの心臓の一部である。3D画像のシーケンスがTEEのような超音波によって取得される場合、この技術は高いフレームレートで動的画像を提供し、CT又はMRIのような他の撮像モダリティと比較して安価であり、患者に対するリスク及び放射線被曝が最小限であるため、特に有用である。さらなる有用な用途では動的モデルが1つ又はいくつかの心腔の動的表面モデルであり、解剖学的特徴は心臓弁である。有用な実施形態では、動的表面モデルが左心室の心内膜及び左心房(の部分)のモデルであり、関心特徴は僧帽弁である。

10

【0036】

本発明は、心臓弁の手術又は心臓弁置換術などの最小侵襲性心臓手術を計画する際に特に使用され得る。経カテーテル弁置換術のような新しい低侵襲法は、以前は手術不能及び/又は開心術に適さないと考えられていた患者に用いることができる。いくつかの経カテーテル弁置換(例えば、TAVR)は、完全に折り畳み可能な生体人工弁を使用する。しかしながら、既存の病理学/形状が分析され、完全に理解され、新しい弁が適切に作動し、LVOT又は冠動脈を閉塞しないことを保証するために注意深く選択され、サイズ及び位置が決定されることは、これらの介入の成功度にとって極めて重要である。これは、バルブインバルブ(ViV)介入に特に当てはまる。それにより、機能不全の弁プロシージャに生体僧帽弁は、低侵襲性ViV法で新しい弁に置換される。これにより、交換バルブが古いバルブの内側に配置され、古いバルブが展開しながら破壊される。したがって、バルブを正しい位置に配置し、正しいサイズにすることが重要である。特に、新しい僧帽弁が左室流出路(LVOT)を閉塞しないことが重要である。したがって、弁介入計画における弁については、ボリュームレンダリングされるVOIは僧帽弁を含み、好ましくはLVOTも含む。左心室は、動的表面モデルによって表され、僧帽弁輪上のランドマーク点の組の定義を含む。これらの点はVOIを定義するための基礎として使用することができ、VOIはそれに応じて心拍と共に移動し、それによって僧帽弁が関心ボリュームから外れるのを防止する。有用な実施形態では、ユーザが例えば僧帽弁の直径を測定し、したがってライブラリから最適な弁を選択することができる。

20

30

【0037】

したがって、解剖学的特徴が心臓弁である場合、本発明は、VOIにされる表面における弁の優れた視覚化を可能にする。心腔の残りの部分、例えば左心室又は右心室及び/又は心房は単純化される表面モデルによってのみ表され、この表面モデルは心拍と共に動的にポンピングするが、関心解剖学的構造、弁上の視界を妨害しない。有用な実施形態では、動的モデルは動的表面モデルであり、三次元画像にわたる画像セグメンテーションによって、又は1つの三次元画像における画像セグメンテーション及び後続画像におけるスペックル又は特徴追跡によって、三次元医用画像のシーケンスから導出される。画像セグメンテーションはデジタル画像をピクセル/ボクセルの複数のセグメント又はセットに分割するプロセスであり、典型的には境界を突き止めるために使用される。したがって、セグメンテーションは同じラベルを有するボクセルが特定の特性を共有するように、3D画像内のすべてのボクセルにラベルを割り当てるプロセスである。画像セグメンテーションは閾値化を使用して実行されてもよく、すなわち、ある閾値より上又は下のすべてのボクセルには、同じラベルが割り当てられる。他の方法には、クラスタリング方法、エッジ検出又は領域成長方法が含まれる。心臓の場合、セグメント化は、血液で満たされる腔、特に心室及び心房を、心臓壁及び弁などの心臓組織から分離するのに役立つことがある。例えば、血液で満たされる腔と心臓壁の組織との間の境界が検出されると、表面モデルは例えば、境界上の多数のボクセルを選択し、それらをワイヤメッシュモデル又は三角測量される表面モデルに接続することによって構築されてもよい。この処理は、シーケンス内の各3D画像に対して実行されてもよい。別の有用な方法によれば、例えば静的表面モデルを抽出

40

50

するために、例えば上述のように、シーケンス内の1つの画像のみがセグメント化される。次いで、動的モデルは、特徴追跡によってこの静的モデルから導出される。これにより、解剖学的構造の特定の特性が、シーケンスの1つの3D画像において選択される。次いで、そのような特徴は、好ましくは特徴追跡アルゴリズムを使用して自動的に行われるシーケンスにわたって画像から画像へ追跡される。超音波画像の場合、好ましくは3Dスペckル追跡が使用される。これは、スペckルが重なり合うエコー間の干渉効果によるものであり、したがって、スペckルの発生がそれぞれの解剖学的構造に関連するので、追跡のためにMモード超音波画像の特性スペckルアーチファクトを使用する特徴追跡方法である。したがって、3D超音波スペckルは画像から画像への任意の解剖学的特徴のように追跡することができ、それによって、解剖学的構造の動的モデルを導出するために使用することができる。特に有用な実施形態では、スペckル追跡を使用して、左心室の動的表面モデルを導出する。このような表面モデルは僧帽弁輪を含み、僧帽弁輪は関心解剖学的特徴、すなわち僧帽弁を含むVOIを規定し、ロックするために使用される。

10

【0038】

有用な実施形態によれば、関心ボリュームの位置及び/又は方向は、動的モデルにおける関心特徴の対応する位置及び/又は方向を識別することによって、期間にわたって決定される。したがって、関心特徴が動的モデルによってモデル化される構造の一部である場合、動的モデルを使用することによって、例えば、モデルの一部である特定のランドマーク点を使用することによって、一連の画像にわたるVOIの位置及び/又は方向の追跡が簡略化される。

20

【0039】

より一般的には有用な実施形態によれば、関心ボリュームは解剖学的特徴のランドマーク点のセットを識別することによって、ランドマーク点のセットにわたる近似表面を定義することによって、及び近似表面の上及び/又は下及び/又は側面に延在するボリュームを定義することによって定義され得る。これにより、関心ボリュームは解剖学的特徴にロックされ、解剖学的特徴が動的表面モデルによってモデル化される構造の一部である場合、VOIは動的モデルと共に、特に関心解剖学的特徴と共に移動する。ランドマーク点のセットは例えば、特徴的な表面又は境界、例えば、心内膜又は心外膜上のいくつかの点であってもよい。好ましい実施形態によれば、ランドマーク点のセットは、僧帽弁輪、又は別の心臓弁の弁輪上の点である。ランドマーク点のセットは、ポイントクラウドと呼ばれることもある。近似表面は好ましくは球形、球形、楕円形又は楕円形のような所定の形状を有することができ、点群に対する最良の適合(例えば、最小二乗)を得るために、フィッティング技術によって点群にフィッティングされる表面である。表面は有利には効率的な取り扱いのために平面であってもよいが、ランドマーク点の集合に最もフィットするように、非平面であってもよい。次いで、このように定義される近似表面を使用して、近似表面を包含し、好ましくは、近似表面の上方及び/又は下方及び/又は側方に、所定の長さだけ延在する体積を定義することによって、VOIを決定する。有用な実施形態では、VOIが関心特徴がVOI内に完全に含まれることを確実にするために、関心特徴に特徴的な所定の長さ、例えば僧帽弁の場合、近似表面の上下1cm、及び側面に対して例えば1cmのセキュリティ幅まで延在する。所定の長さ/幅を使用することによって、視覚化を制御するプロセッサ又はコンピュータは、シーケンスの各3D画像について、関心特徴上のランドマーク点のセットからVOIを自動的に定義することができる。関心特徴が僧帽弁である場合、近似表面は、僧帽弁の平面内の近似円となる。したがって、前記近似表面の上下に所定の長さだけ延び、場合によっては所定の幅だけ側面に向かって延びるボリュームを画定することによって、僧帽弁及び場合によってはLVOTをさらに含むが、それ以上妨害する解剖学的構造は含まれないVOIを選択することができる。それによって、ボリュームレンダリングは、関心解剖学的特徴、例えば僧帽弁の妨害されない正確なビューを提供する。

30

40

【0040】

有用な実施形態によれば、入力ツールが三次元視覚化環境と共に提供される。

【0041】

50

非VR視覚化環境では入力ツールがキーボード、マウス、トラックボール、タッチパッド、又はタッチセンシティブディスプレイなどのポインティングデバイスとすることができ、これらは通常、画面上で見られるボタン、スライダなどを備える対話型パネルと共に使用される。このようなボタン又はスライダは例えば、ユーザが自分の指又はポインティングデバイスで作動させることができ、例えば、ユーザは、入力ツールを作動させるためにスクリーン上でカーソルを移動させることができる。このような入力ツールによって、ユーザは例えば、視覚化のズームイン及びズームアウトを行い、ポリウムレンダリング閾値、平滑化、照明及びコントラストのような視覚化パラメータ/設定を適応させ、シネモードを開始及び保持し、ポリウムレンダリングされるVOIに対して測定を実行することができる。特に有用な実施形態では、入力ツールがユーザが点を選択し、解剖学的構造上で測定を行うことを可能にする。例えば、ユーザはポリウムレンダリング上の2つのポイントを選択することができる、そのようなポイント間の距離は自動的に計算される。この特徴は介入を計画する場合、例えば、インプラントを選択する場合に有用である。いくつかの実施形態では、ユーザがポインティングデバイス、すなわち、タッチセンシティブディスプレイ上のマウス又はタッチによって、視覚化される物体を「掴む」ことができ、それによって、それを移動又は傾斜させることができる。

10

【0042】

VR環境では、そのような入力ツールが好ましくはユーザが手のジェスチャによって仮想現実環境内の対象物を少なくとも掴んで動かすことを可能にする仮想コントローラによって実現される。さらに、VRコントローラは、ユーザが選択をとることができるボタン又はスライダを含むことができる。VR環境ではVRヘッドセットを装着し、一方の手に少なくとも1つのVRコントローラ(好ましくは各手のVRコントローラ)を保持するユーザがVR環境において、ポリウムレンダリングされるVOI及び動的モデルからなる解剖学的構造の静的又は動的視覚化を見る。好ましくは、ユーザが現在の手の位置及び方向に対応する位置及び方向でコントローラを見ることもできる。したがって、VR環境はユーザが実世界の対象物のように、ユーザがコントローラを視覚化に向かって移動させ、特定のボタンを押すことによってコントローラを掴み、視覚化される対象物を手の動きで動かし、回転させ、又は傾斜させる可能性を提供する。これにより、ユーザは18自由度(6自由度、すなわち、VRヘッドセット及び2つのVRコントローラのそれぞれについて3回転及び3並進自由度)を有し、視覚化される対象物を正確かつ直感的にビュー及び分析する。これは、対象物と対話する自然な方法に非常に似ている。

20

30

【0043】

有用な実施形態によれば、上述の入力ツールは、ユーザが視覚化される三次元ポリウム内の平面を選択することを可能にする。次いで、本方法は好ましくはシーケンスの三次元医用画像のうちの少なくとも1つの選択される平面のマルチプレーナ再構成(MPR)を、特に、選択される平面に対応する三次元視覚化環境内の位置に表示するステップを含む。マルチプレーナ再構成とは、いくつかの原画像面から再構成される画像である。例えばCTでは、通常は横断方向の画像の積層が取得される。従って、横断方向とは異なる方向で画像の積み重ねと交差する断面が見られる場合、ユーザは所望の方向を選択することができる、MPRは例えば、様々な横断スライス内のそれぞれの最も近い画素から補間することによって作成される。ポリウムレンダリングされるVOI及び動的モデルに加えてMPRを表示することにより、ユーザは、解剖学的構造をより詳細に見ることができる。仮想現実環境では、18自由度(VRヘッドセットと2つのコントローラ)のおかげで、3Dポリウム内でグリッパ可能なMPRプレーンの正しい位置決めが非常に高速になり、検証可能になり、MPRプレーン上又はポリウムレンダリングされる部分内での測定がより正確になり、信頼性が高くなる。

40

【0044】

有効な実施形態によれば、VRコントローラは、ユーザがジェスチャ制御によってパラメータを調整することを可能にする。例えば、ユーザは、VR環境における手の動きを使用して、あるパラメータに触れることによって、あるパラメータを選択する。次いで、ユー

50

ザは、ジェスチャを使用して、例えば仮想スライダを作動させるか、又は単にコントローラを水平(又は垂直)に移動させて、任意のスライダを参照せずにパラメータを調整することができる。適切なパラメータは視覚化に関連し、ボリュームレンダリング閾値、平滑化、光強度、サイズ、視覚化される対象物の不透明度、シネモードの開始及び保持などから選択されてもよい。

【0045】

有用な実施形態では、三次元視覚化環境がボリュームレンダリング及び動的モデルと同じ座標系で、医用装置、特にインプラントに対応するコンピュータグラフィックオブジェクトを表示することも含む。コンピュータグラフィックオブジェクトは例えば、幾何学的データの三次元表現、例えば、多面体のような頂点によって定義される3D構造である。コンピュータグラフィックオブジェクトは好ましくは解剖学的構造の動きにロックされ、すなわち、それは、任意の1つのフレームにおいてボリュームレンダリングされるVOIに関して特定の位置及び方向に一旦配置される。ユーザがシネモードを開始すると、視覚化を制御するプロセッサはボリュームレンダリングされるVOIに関するコンピュータグラフィックオブジェクトの相対位置及び方向を記憶し、この相対位置及び方向を維持する。コンピュータグラフィックオブジェクトが新しい弁を表す場合、このような新しい弁は、弁輪、例えば僧帽弁輪の動きにロックされ得る。好ましくは、これは上で説明したように、3Dスペックルを使用して行うことができる。それによって、心周期全体にわたる重要な動的情報が送達され、弁を最適に位置決めすることができ、それによって、流出のいかなる閉塞も回避又は制限することができる。コンピュータグラフィックオブジェクトの位置を動的モデル内の位置にロックすることは、ランドマーク点のセットの1つ又はいくつかをコンピュータグラフィックオブジェクトに割り当てることによって行うことができ、コンピュータグラフィックオブジェクトはそのとき、時間期間にわたってそのようなランドマーク点に対して固定される相対位置を有する。

10

20

【0046】

さらなる実施形態によれば、ユーザに入力ツールが提供され、この入力ツールは、ユーザがボリュームレンダリングされるVOI及び/又は動的モデルの視覚化に対してコンピュータグラフィックオブジェクトを移動及び傾斜させることを可能にする。それによって、ユーザは選択されるインプラント又はインプラントサイズ、例えば置換弁を測定するだけでなく「試す」ことができ、それが、例えば僧帽弁などの解剖学的特徴に適合するかどうかを見ることができる。例えば、ユーザはライブラリから最適なバルブを選択し、初期検査のために、バルブ、又はバルブに対応するコンピュータグラフィックオブジェクトを視覚化される対象物の内側に配置することができる。特に有用な実施形態では、コンピュータグラフィックオブジェクトが最小限の侵襲的介入がほとんど常にX線透視制御下で行われるので、介入X線画像(X線透視画像)上で医用装置が見えるものと同様に見える。したがって、ユーザはシーンを三次元で視覚化することができ、しかも、蛍光透視画像上でインプラントがどのように見えるかについてのアイデアを得ることができる。コンピュータグラフィックオブジェクトは好ましくは三次元であり、例えば、ワイヤメッシュの形態のインプラントの単純化されるモデル、又は単純な表面のセットによって規定される対象物であり得る。

30

40

【0047】

コンピュータグラフィックオブジェクトは、測定テープ又はヤードスティックのような測定装置であってもよい。

【0048】

本明細書に記載される全ての実施形態は、コンピュータスクリーン、タブレットコンピュータ又は表示上で実現され得る「従来の」視覚化環境、ならびにVR環境の両方に適用可能である。しかし、VR環境は、ユーザが視覚化される対象物に対して移動することができる6、12、又は18の自由度だけでなく、真の3Dビュー及び最も直感的/迅速なユーザ体験/ハンドリングを提供するので、特に有利である。

【0049】

50

好ましくは、本発明による方法がディスプレイ、特にVRヘッドセット又は投影ディスプレイなどのVRディスプレイを制御することができる任意の電子デバイスに組み込まれ得るプロセッサによって実行される。そのようなデジタルデバイスは、コンピュータ、PC、サーバ、テレビセット、タブレットコンピュータ、スマートフォン、ラップトップ、ハンドヘルドデバイスなどであってもよい。プロセッサは、クラウドコンピュータ、ワークステーション、又は医療画像装置、特に超音波スキャナの制御コンソールの一部であってもよい。

【0050】

別の態様によれば、本発明は、プロセッサによって実行されると、プロセッサに本発明の方法を実行させるプログラムコード命令を含むコンピュータプログラムを提供する。コンピュータプログラムは、任意のコード、特にコンピュータグラフィックアプリケーションに適したコード、特にVRプログラミングに適したコードであってもよい。

10

【0051】

さらなる態様では、本発明が上記で定義されるコンピュータプログラムを備えるコンピュータ可読媒体を対象とする。コンピュータ可読媒体は、USBスティック、ハードディスク、CRROM、SDカード又はSSDカードのような任意のデジタルデータ記憶装置であってもよい。当然ながら、コンピュータプログラムはユーザに供給するために、そのようなコンピュータ可読媒体に記憶される必要はないが、インターネットを介してダウンロード可能であってもよい。さらなる態様によれば、本発明は、動的な解剖学的構造を視覚化するように構成されるユーザインターフェースを対象とする。動的解剖学的構造はある期間にわたる3D医用画像のシーケンス上に取り込まれており、シーケンスの3D医用画像のそれぞれは、その期間中のある時点における動的解剖学的構造を示す。ユーザインターフェースは、

20

a) 期間の間に前記動的解剖学的構造の三次元視覚化を提供するように構成される三次元視覚化環境と、

前記期間内の特定の時点に対応する視覚化を生成するように構成されるプロセッサであって、前記視覚化は、

(i) 前記特定の時点に対応する前記三次元画像内の関心ボリュームのボリュームレンダリングの表示であって、前記関心ボリュームは関心解剖学的特徴を含む、表示と、

(ii) 前記関心ボリュームの前記ボリュームレンダリングと同じ座標系及び前記特定の時点における前記動的解剖学的構造の少なくとも一部の動的モデルの表示であって、前記関心ボリュームは、前記期間の間の前記関心解剖学的特徴の前記位置及び/又は前記形状に従い、前記関心ボリュームは、前記三次元医用画像の前記完全な視野よりも小さい、表示とを有する。

30

【0052】

本発明の方法に関連して説明される任意の特徴又は有用な実施形態は、ユーザインターフェースにも適用される。

【0053】

ユーザインターフェースは例えば、少なくとも画面又はディスプレイ(VR又は非VRディスプレイ)と、通常は入力ツールとを備えるシステムであり、上述のように、ユーザが例えば、視覚化パラメータ/設定を調整すること、ズームすること、注釈を付けること、及び/又は表示される対象物を動かすこと、又は傾けることによって、ディスプレイのコンテンツと対話することを可能にする。

40

【0054】

好ましい実施形態では三次元視覚化環境が仮想現実環境であり、ボリュームレンダリング及び動的モデルの表示は特に仮想現実ヘッドセット上の仮想現実表示である。

【0055】

有利な実施形態では、仮想現実環境は少なくとも1つの入力ツールを有し、前記入力ツールは、ユーザが、

【0056】

50

前記仮想現実環境に表示される対象物の把持及び移動する動作、

【0057】

前記解剖学的構造を測定する動作、

【0058】

ジェスチャ制御によって前記視覚化に使用されるパラメータを調整する動作、及び

【0059】

前記解剖学的構造に注釈を付ける動作であって、前記注釈は、前記動的モデル及び前記ポリウムレンダリングされる関心ポリウムがシネモードで表示されるとき、前記動的モデル内の位置にロックされる、動作

のうちの一つ又はそれより多くを実行することを可能にする仮想現実コントローラである。

【0060】

仮想現実環境は、VRヘッドセット、2つのVRコントローラ、2つの位置トラッカ、及び任意選択でラウドスピーカシステム(HTC Corporation, Taoyuan City 330, Taiwan製)を含む、HTC VIVE又はVIVE Pro仮想現実システムなどの市販のVR機器を使用して実現することができる。

【0061】

次に、本発明の有用な実施形態を添付の図面を参照して説明する。類似の要素又は特徴は、図面において同じ参照符号で示される。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】人間の心臓の概略断面図を示す(4室図)。

【図2】左心室の動的表面モデルを示す。

【図3】一連の医用画像の概略図を示す。

【図4】ポリウムレンダリングされる関心ポリウムの基準位置を含む動的表面モデルの概略図を示す。

【図5】関心ポリウムを含む心臓の三次元超音波画像のポリウムレンダリングの概略図を示す。

【図6】動的モデル及び追跡対象ポリウムの概略図を示す。

【図7】本発明の一実施形態による三次元視覚化の表現を示す。

【図8】本発明の一実施形態による仮想現実環境を示す。

【図9】本発明の一実施形態による三次元視覚化の拡大図を示す。

【図10】本発明の第1の実施形態によるユーザインターフェースを示す。

【図11】本発明の第2の実施形態によるユーザインターフェースを示す。

【図12】本発明の一実施形態による方法を示すフロー図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0063】

本発明の視覚化方法及びユーザインターフェースの好ましい適用をより良く視覚化するために、図1は、人間の心臓1の構造を示す。肺からやってくる血液は左心房2に流れ、そこから僧帽弁3を通過して左心室4に流れる。そこから大動脈弁5を通過して大動脈6に送り込まれる。この部分は左室流出路(LVOT)とも呼ばれる。体から来た血液は右心房7に流し、三尖弁8を通過して右心室9に送り込まれる。そこから、肺動脈弁10を通過して肺動脈11に送り込まれる。心臓壁12は、心腔2、4、7及び9を囲む筋肉組織でできている。左心室と右心室とは、隔壁13によって分離される。図1から明らかなように、心臓は複雑な形状を有し、さらに心拍と共に絶えず動いており、すなわち動的な解剖学的構造である。したがって、弁置換を計画するために僧帽弁3などの形状を視覚化することは困難であり、誤差が生じやすい。

【0064】

左心室活動をより良く視覚化するために、図2に示す動的表面モデル14を使用することができる。この表面モデル14は、左心室4の血液 - 組織境界の単純化されるモデルを表

10

20

30

40

50

す。これは本質的に、上部に2つの開口部16、20を有するバッグ18の形状を有し、開口部16は僧帽弁輪を表し、一方、開口部20は大動脈弁が位置する左心室流出路(LVOT)を表す。動的表面モデル14は心臓の一連の三次元超音波画像から、特に、解剖学的特徴を追跡することによって、又は1つの画像から次の画像へスペックルを追跡することによって導出することができる。これにより、三次元画像毎に、ワイヤメッシュ24にまたがる頂点22の集合からなる表面モデルを生成することができる。このような動的表面モデル14は視聴者が心拍を伴う左心室の動きの印象を得るように、シネモードで、すなわち映画のように見ることができる。明らかに、同様の動的表面モデルは、人間の解剖学的構造の他の部分、特に他の心腔又は血管から形成されてもよい。

【0065】

図3は、心臓の一連の超音波画像 $M_1, M_2, M_3, \dots, M_Z$ の概略表現を示す。Zは1つの心周期中に、すなわち時間Tで取得される画像の数であり、Tは約0.5乃至1.5秒である。図面は2次元画像を示すが、好ましくは三次元画像がそれぞれの時点 t_i で取得される。三次元医用画像は、2次元画像の積層によって形成されてもよい。このような一連の画像 $M_1, M_2, M_3, \dots, M_Z$ は例えば、TEEプローブを用いて、動く心のエコー図によって獲得することができる。

【0066】

本発明の一実施形態によれば、関心解剖学的特徴を含むVOIが、期間にわたって三次元画像上に定義される。図4に示すように、このようなVOIは、ダイナミックサーフェスモデル14上の1セットのランドマーク点又は基準位置30によって決定することができる。関心特徴が僧帽弁輪である場合、適切な基準は僧帽弁輪30のモデルである。図4において、これはリング状の物体30によって表される。僧帽弁輪30は、左心房26の表面モデルと左心室18の間にある。LVOT 20は僧帽弁の弁尖32と同様に、図4にも見られる。したがって、僧帽弁輪30の平面はボリュームレンダリングされるVOIのための基準位置を形成することができ、VOIは、それに応じて、心周期にわたって表面モデル14と共に移動する。

【0067】

図5は、三次元画像、この場合はボリュームレンダリングされる心臓36のボリュームレンダリング34を示す。図5から明らかなように、三次元超音波画像のボリュームレンダリングは、多くの解剖学的詳細を含むので、一般に解釈するのが困難である。したがって、本発明によれば、関心ボリューム40が定義され、このVOI 40内の画像コンテンツのみがボリュームレンダリングプロセスに提出される。この場合、VOIは僧帽弁3を含み、弁の開口は42で示される。VOI 40は図5に示すように、箱形又は立方体であってもよい。また、他の任意の三次元形状を有していてもよく、球体、楕円体、シリンダ等の形状を有していてもよい。関心解剖学的特徴が僧帽弁であるアプリケーションでは、VOIがボックス又は円柱の形状、又は僧帽弁輪の平面の上下に規定される長さだけ延びる不規則な形状を有する可能性がある。解剖学的特徴の位置に対して、特に期間内の各時点での動的モデルに対して、固定される相対位置でVOIを定義することによって、VOIは、全期間、例えば心周期を通して、表面モデル内の動く関心解剖学的特徴(例えば僧帽弁輪)の動きにロックされる。これにより、関心特徴(例えば僧帽弁3)は、ボリュームレンダリングされるVOI 40から外れない。

【0068】

したがって、本発明の一実施形態による三次元視覚化環境によって提供される特定の時点に対応する視覚化45は図6に示すように見えることがあり、視覚化45は、左心室18及び左心房26のバッグ形状表面モデルを含む動的モデル14の視覚化を含む。僧帽弁輪30は例えば、1つの3D画像上での分割によって、及びさらなる画像上での特徴追跡又はスペックル追跡法によって、三次元画像の各々上で決定される。これにより、僧帽弁輪に対して1セットのランドマーク点31が画定される。僧帽弁輪のリング形状モデル30はランドマーク点のセットにフィットされ、それによって、フィットされるリング30がまたがる平面である近似表面を規定し、この場合、近似表面は球形又は楕円形であり、平面である

10

20

30

40

50

。VOIボックス40は三次元画像の各々において僧帽弁輪リング30の接近表面30に対して画定され、それによって、矢印44によって示されるように、動いている心臓と共に動く。ボックス形状のVOIの内側では三次元画像が好ましくは調整可能な閾値でボリュームレンダリングされ、したがって、ボリュームレンダリングはシネモードで見たときに僧帽弁輪にロックされる。

【0069】

これは、本発明の一実施形態によるVR環境50を示す図7にさらに示される。このようなユーザインタフェースを使用する場合、ユーザは、例えば仮想水平線52及び仮想ランプ56を含む仮想現実環境にいることになる。あるいは、彼は閉鎖される部屋にいるかもしれない。動的解剖学的構造45の視覚化はユーザの前の自由空間内で浮遊しており、したがって、ユーザは動的表面モデル14の三次元視覚化を見ることになり、これは、左心室及び恐らくは左心房の形状を有する透明な血管のように見える。僧帽弁の位置では、VOI40は心臓の動きにロックされる。ユーザはVOIボックス40の輪郭を実際には見ないので、ボックスは破線で示される。ユーザが見ることになるのは仮想現実対象物54であり、これはVOIボックス40内の画像コンテンツのボリューム又は表面レンダリング、すなわち僧帽弁3のボリュームレンダリング54に対応する。サーフェスモデル14とボリュームレンダリング54の両方は心拍と共に移動し、ユーザは期間内の任意の時点でシネモードを開始及び停止することができ、シーケンスが及ぶ期間は、少なくとも1つの心拍である。有用な実施形態では、ユーザが入力ツール、すなわち仮想現実コントローラ60を作動させることができる。これは、ユーザがシネモードを開始及び停止するために、又は視覚化又は仮想現実対象物45を掴んで移動又は傾斜させるために押すことができるボタン62を有することができる。ユーザはVRコントローラ60を手に持ち、理想的には、実生活の手の位置に対応する位置で、ユーザの前のコントローラを見ることになる。

10

20

【0070】

VR環境50のさらなる有利な特徴を図8に示す。有用な実施形態では、ユーザがコントローラ60aと、ボリュームレンダリングされるVOI及び動的表面モデルを含む仮想現実対象物45とを見るだけでなく、さらなるツール又はVRオブジェクトも見る。例えば、ツール64は、解剖学的構造、例えば僧帽弁の寸法を測定するためのヤードスティック又は定規であってもよい。あるいはユーザの何れかの手に保持されるVRコントローラ60a、60bを、ユーザがVR空間内の点を選択することによって三次元視覚化45上で測定値を実行するために直接利用することができ、プロセッサはその間の距離を計算する。このような測定値に基づいて、最良適合バルブをライブラリから選択することができる。したがって、VR環境50はコントローラ60a、60bでユーザが掴み、視覚化45に表される僧帽弁を「試す」ことができる、移植片、この場合僧帽弁移植片を表すVR互換コンピュータグラフィカルオブジェクト66a、66bを含むことができる。これにより、ユーザは、弁66a、66bの位置を試すこともできるので、実際の介入中に弁を正しい位置に挿入することができる。したがって、VRオブジェクト66a、66bは、X線透視画像、この場合はワイヤ構造で見える弁インプラントの要素によって構成される。このような人工弁は弁内弁処置に使用することができ、最小侵襲性処置で古い弁内に直接広げられる。

30

40

【0071】

図9は、左心室の水平線52及び表面モデル14を示す、VR環境50の拡大図を示す。体積レンダリングされる弁54も示される。この視覚化45では、ユーザが新しいバルブ66(又はそれに対応するVRオブジェクト)を選択し、把持し、初期検査のために三次元視覚化45の内側にそれを配置する。次いで、新しい弁は、3Dスペックル追跡を使用して僧帽弁輪の動きにロックされる。残りのLVOT 20及び可能性のある閉塞は、心周期全体にわたって測定及び評価することができる。更に、弁に対応するVRオブジェクトの配置を動的運動において最適化することができる。弁の配置は、心周期内の動きをシミュレートしながら調整することができる。

【0072】

図10は、本発明の非VR実施形態によるユーザインタフェースを示す。この設定では、

50

動的視覚化45は従来のコンピュータスクリーン70上にあり、視覚化は単に2次元スクリーン70上のレンダリングである。画面はユーザが視覚化45を傾けたり、ズームしたり、動かしたり、又は他の方法で操作することを可能にするボタン及びスライダのパネル71を備えることができる。また、そのようなユーザインターフェースにおいて、拍動する心臓のような動的な解剖学的構造の動的モデル上の関心特徴の位置にロックされるボリュームレンダリングされるVOIを有することは有用なツールである。ディスプレイは、プロセッサ73及びハードディスク75を含むPCのようなコンピュータ72によって制御することができる。ユーザインターフェースは、キーボード74及び/又はマウス76のような入力ツールを有することができる。

【0073】

しかしながら、好ましい実施例では、ユーザインターフェースが図11に示すように、仮想現実インターフェースである。このようなインターフェースは、ユーザ80が着用する仮想現実ヘッドセット82によって実現される。ヘッドセット82は、ケーブル又は無線接続の何れかを介して、コンピュータ72に接続される。このような仮想現実ヘッドセット82は頭部の動きを追跡する位置センサー84と同様に、各目別個の内部ディスプレイを含む。そのようなヘッドセットは、拡張現実環境が提示される場合にはカメラを含むこともできる。さらに、ユーザ80はVRコントローラ86を手を持っており、コントローラ86はボタン又は他の入力要素と同様に、位置センサ(図示せず)も含む。このような仮想現実コントローラ86により、ユーザは、仮想現実環境50に表示される対象物を把持して移動させることができる。VRヘッドセットは例えば、HTC VIVEヘッドセット及び対応するVRコントローラであってもよい。

【0074】

図12は、本発明の一実施形態による方法を示すフロー図を示す。ステップ90において、例えば、動いている心臓を示す一連の三次元医用画像が提供され、この一連の画像は、1つの心拍に対応する期間にわたる。ステップ92において、心臓の少なくとも一部の動的モデルが例えば、解剖学的構造の一部に表面モデルをフィッティングすることによって、又は1つの画像のセグメント化及び特徴/スペックル追跡によって表面モデルを生成することによって提供される。それによって、動的モデルは画像のシーケンスと自動的に位置合わせされ、すなわち、モデルは、3D画像上の正しい解剖学的位置に示されることができる。ステップ94において、関心解剖学的特徴の位置は、期間にわたって、特に僧帽弁輪のような参照構造によって決定されてもよい。さらに、ステップ94において、関心解剖学的特徴を含む関心ボリューム(VOI)が各三次元画像内で定義され、その結果、VOIは、期間にわたって関心解剖学的特徴の位置及び/又は形状に追従する。ステップ96では、上述したように、動的解剖学的構造を期間にわたって視覚化するための三次元視覚化環境が提供される。そのような視覚化環境は仮想現実コントローラの形態の入力ツールを含むことができ、ユーザからの入力イベントは、ステップ98で発生することができる。次に、このような入力イベントを使用して、例えば表面レンダリングの照明又は閾値を変更することによって、ステップ96に示す視覚化環境を変更することができる。このような入力イベント98によれば、ステップ100において、さらなる対象物、例えば弁インプラントの表現を視覚化環境に示すことができる。

【0075】

本発明は図面及び前述の説明において詳細に図示及び説明されてきたが、そのような図示及び説明は例示的又は例示的であり、説明的ではないと考えられるべきであり、本発明は開示される実施形態に限定されない。

【符号の説明】

【0076】

- 1 心臓
- 2 左心房
- 3 僧帽弁
- 4 左心室

10

20

30

40

50

| | | |
|--------------------|----------------------------------|----|
| 5 | 大動脈弁 | |
| 6 | 大動脈 | |
| 7 | 右心房 | |
| 8 | 三尖弁 | |
| 9 | 右心室 | |
| 10 | 肺動脈弁 | |
| 11 | 肺動脈 | |
| 12 | 心壁 | |
| 13 | セプタム | |
| 14 | 動的表面モデル | 10 |
| 18 | 左心室のバッグモデル | |
| 16 | 僧帽弁輪 | |
| 20 | LVOT | |
| 22 | 頂点定義モデル | |
| 24 | ワイヤーメッシュ | |
| M1, M2, M3, ... MZ | 医用画像のシーケンス | |
| 26 | 左心房モデル | |
| 30 | 僧帽弁輪の近似表面/モデル | |
| 31 | ランドマーク | |
| 32 | 僧帽弁のリーフレット | 20 |
| 34 | ボリューム レンダリング | |
| 36 | 心臓 | |
| 40 | ボリューム レンダリングされる VOI | |
| 42 | バルブ開度 | |
| 44 | アロー | |
| 45 | 可視化 | |
| 50 | VR環境 | |
| 52 | VRホライズン | |
| 54 | VRオブジェクトとしてのボリューム レンダリング | |
| 56 | VRランプ | 30 |
| 60、60a、60b | VRコントローラー | |
| 62 | ボタン | |
| 64 | VRの目安 | |
| 66、66a、66b | 弁インプラントに対応するコンピュータ グラフィック オブジェクト | |
| 70 | 画面 | |
| 71 | 入力パネル | |
| 72 | コンピューター | |
| 73 | プロセッサ | |
| 74 | キーボード | |
| 75 | ハードディスク | 40 |
| 76 | マウス | |
| 80 | ユーザー | |
| 82 | VRヘッドセット | |
| 84 | 位置センサー | |
| 86 | VRコントローラー | |
| 90 乃至 100 | 方法ステップ | |

【 図面 】
【 図 1 】

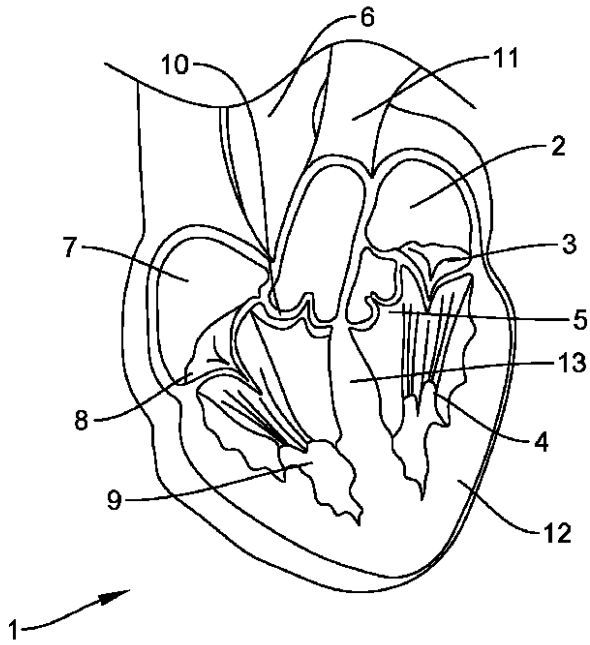


FIG. 1

【 図 2 】

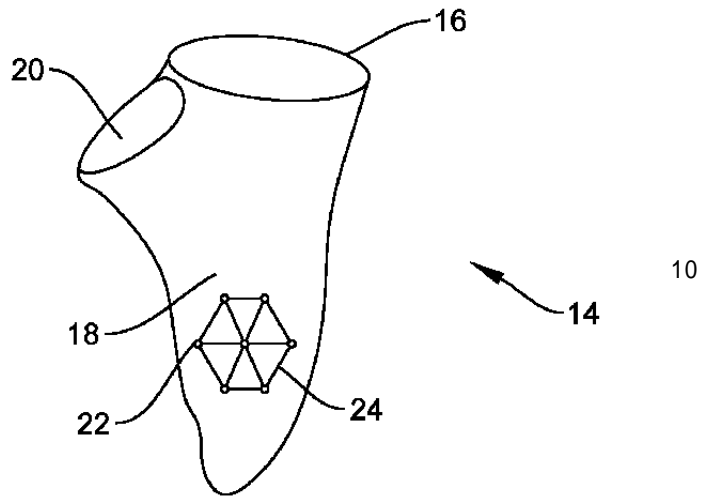


FIG. 2

【 図 3 】

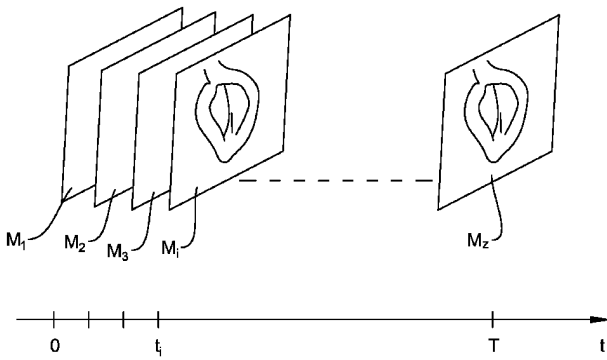


FIG. 3

【 図 4 】

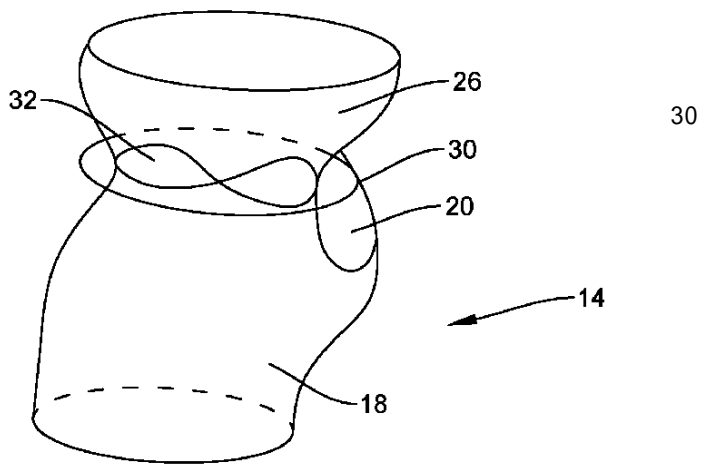


FIG. 4

10

20

30

40

50

【 図 5 】

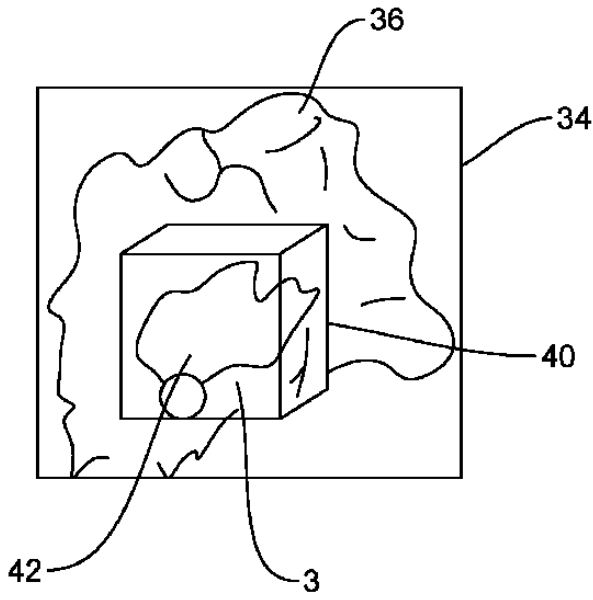


FIG. 5

【 図 6 】

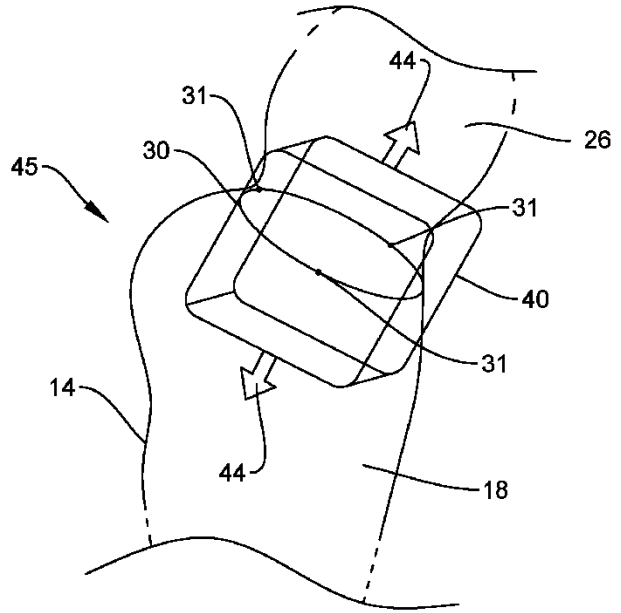


FIG. 6

【 図 7 】

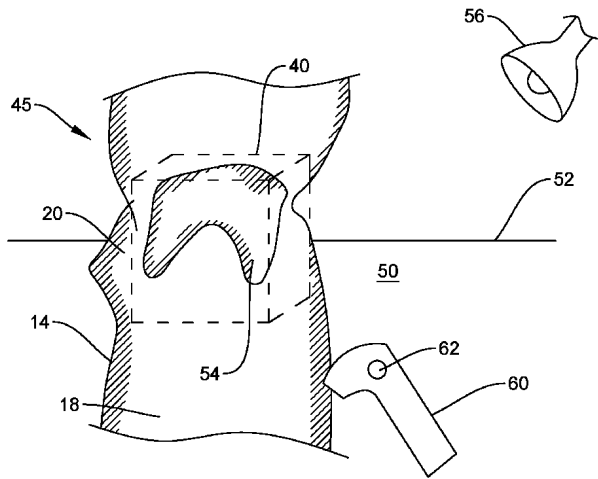


FIG. 7

【 図 8 】

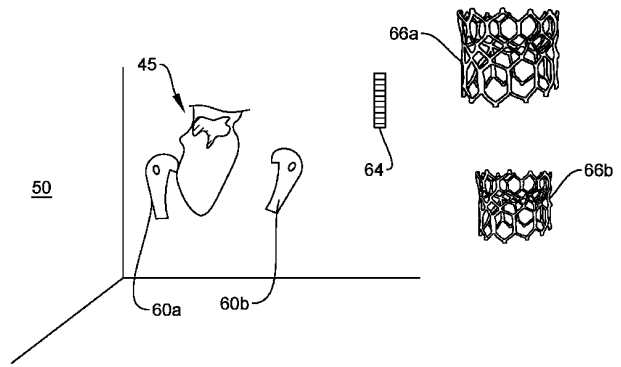


FIG. 8

10

20

30

40

50

【 図 9 】

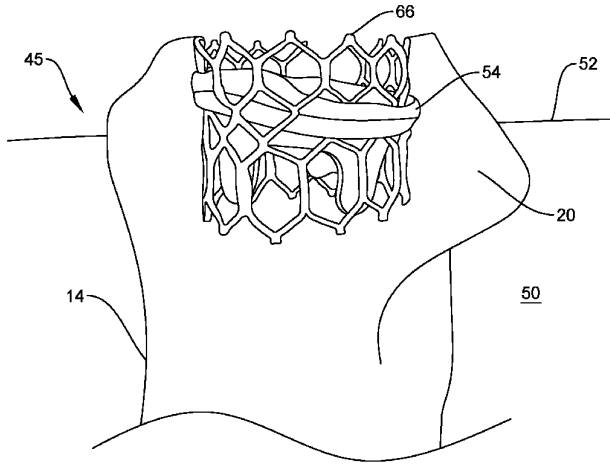


FIG. 9

【 図 10 】

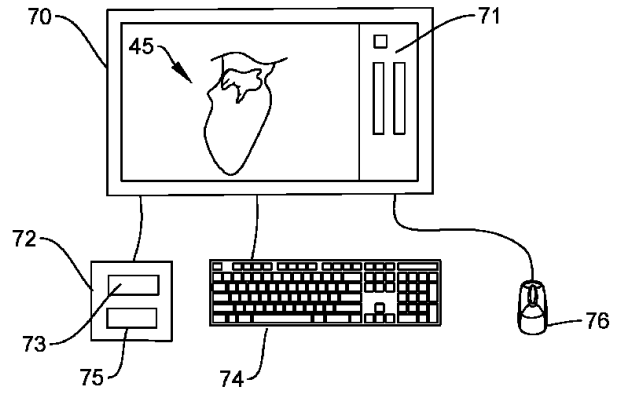


FIG. 10

10

【 図 11 】

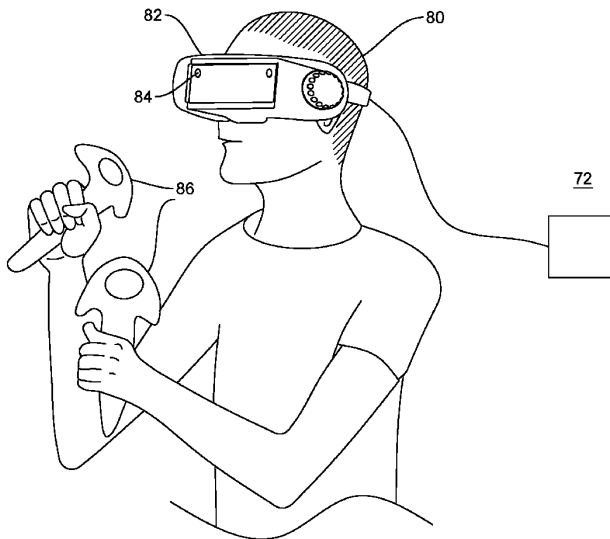


FIG. 11

【 図 12 】

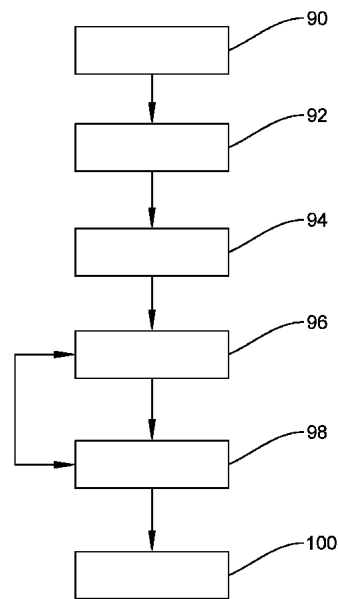


FIG. 12

20

30

40

50

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/EP2020/050604

| | | |
|---|--|--|
| A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER INV. G06T15/08 G06T19/00 G06T7/246 ADD. | | |
| 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) G06T | | |
| 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. |
| X Y | US 2014/052001 A1 (IONASEC RAZVAN IOAN [US] ET AL) 20 February 2014 (2014-02-20) the whole document | 1,3-7,9, 12,13 2,8,10, 11,14,15 |
| X Y | US 2016/220311 A1 (MANSI TOMMASO [US] ET AL) 4 August 2016 (2016-08-04) abstract; figure 4 paragraph [0070] - paragraph [0074] paragraph [0042] - paragraph [0043] paragraph [0063] - paragraph [0067] | 1-7,9-15 8 |
| X Y | US 2008/194957 A1 (HOCTOR RALPH THOMAS [US] ET AL) 14 August 2008 (2008-08-14) abstract paragraph [0059] - paragraph [0067] | 1,3-9, 12,13 2,10,11, 14,15 |
| | ----- -/-- | |
| <input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. | | <input checked="" type="checkbox"/> 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 | | *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 |
| *E* earlier application or patent but published on or after the international filing date | | *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 |
| *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) | | *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 |
| *O* document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means | | *Z* document member of the same patent family |
| *P* document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed | | |
| Date of the actual completion of the international search | Date of mailing of the international search report | |
| 11 March 2020 | 20/03/2020 | |
| Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Fax: (+31-70) 340-3016 | Authorized officer Kopilovic, Ivan | |

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

10

20

30

40

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

| |
|---|
| International application No PCT/EP2020/050604 |
|---|

| C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT | | |
|--|---|-----------------------|
| Category* | Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages | Relevant to claim No. |
| X | LIN W ET AL: "VISUALIZATION OF CARDIAC DYNAMICS USING PHYSICS-BASED DEFORMABLE MODEL", VISUAL COMMUNICATIONS AND IMAGE PROCESSING; 20-1-2004 - 20-1-2004; SAN JOSE,, vol. 3976, 15 February 2000 (2000-02-15), pages 210-217, XP008019251, DOI: 10.1117/12.383043 ISBN: 978-1-62841-730-2 | 1,3-7,9, 12,13 |
| Y | abstract section 2.5 Visualization | 2,8,10, 11,14,15 |
| X | US 2017/084023 A1 (WÄCHTER-STEHLÉ IRINA [DE] ET AL) 23 March 2017 (2017-03-23) | 1,3-7,9, 12,13 |
| Y | abstract; figures 1-6 paragraph [0046] - paragraph [0052] paragraph [0060] - paragraph [0065] paragraph [0072] | 2,8,10, 11,14,15 |
| Y | LINTE CRISTIAN A ET AL: "Virtual reality-enhanced ultrasound guidance: a novel technique for intracardiac interventions", COMPUTER AIDED SUR, TAYLOR & FRANCIS INC., PHILADELPHIA, PA, US, vol. 13, no. 2, 1 March 2008 (2008-03-01), pages 82-94, XP009183965, ISSN: 1092-9088 cited in the application abstract page 83, right-hand column, line 3 - line 26 | 2,10,11, 14,15 |
| Y | SORENSEN T S ET AL: "A new virtual reality approach for planning of cardiac interventions", ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN MEDICINE, ELSEVIER, NL, vol. 22, no. 3, 1 June 2001 (2001-06-01), pages 193-214, XP002361668, ISSN: 0933-3657, DOI: 10.1016/S0933-3657(00)00109-3 cited in the application abstract | 2,10,11, 14,15 |
| Y | US 8 103 070 B2 (ROBERTS COLIN [GB]; MELLER SEBASTIAN [GB] ET AL.) 24 January 2012 (2012-01-24) column 2, line 23 - line 40; figure 9 | 8 |

1

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

page 2 of 2

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2020/050604

| Patent document cited in search report | Publication date | Patent family member(s) | Publication date |
|--|------------------|-------------------------|---|
| US 2014052001 | A1 | 20-02-2014 | NONE |
| US 2016220311 | A1 | 04-08-2016 | NONE |
| US 2008194957 | A1 | 14-08-2008 | DE 102008008824 A1 21-08-2008 JP 5276336 B2 28-08-2013 JP 2008194476 A 28-08-2008 US 2008194957 A1 14-08-2008 |
| US 2017084023 | A1 | 23-03-2017 | CN 106133789 A 16-11-2016 EP 3120323 A1 25-01-2017 JP 6400725 B2 03-10-2018 JP 2017507754 A 23-03-2017 US 2017084023 A1 23-03-2017 WO 2015139937 A1 24-09-2015 |
| US 8103070 | B2 | 24-01-2012 | EP 2220621 A2 25-08-2010 JP 5225387 B2 03-07-2013 JP 2011504629 A 10-02-2011 US 2009136106 A1 28-05-2009 WO 2009066053 A2 28-05-2009 |

10

20

30

40

50

フロントページの続き

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,N
E,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,
CZ,DE,DJ,DK,DM,DO,DZ,EC,EE,EG,ES,FI,GB,GD,GE,GH,GM,GT,HN,HR,HU,ID,IL,IN,IR,IS,JO,JP,KE,K
G,KH,KN,KP,KR,KW,KZ,LA,LC,LK,LR,LS,LU,LY,MA,MD,ME,MG,MK,MN,MW,MX,MY,MZ,NA,NG,N
I,NO,NZ,OM,PA,PE,PG,PH,PL,PT,QA,RO,RS,RU,RW,SA,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

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

(72)発明者 ヒトスリッヒ ニクラス

オランダ国 5 6 5 6 アーエー アインドーフエン ハイ テック キャンパス 5

F ターム (参考) 4C093 AA22 AA26 CA15 DA02 FF28 FF37 FF42 FG04
5B050 AA02 BA09 CA07 EA09 EA27 FA02 FA05 FA09
5B080 AA17 FA08