



(19) 대한민국특허청(KR)

(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년09월27일

(11) 등록번호 10-2711269

(24) 등록일자 2024년09월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

A61B 34/20 (2016.01) A61B 17/17 (2006.01)

A61B 17/34 (2006.01) A61B 34/00 (2016.01)

A61B 34/10 (2016.01) A61B 34/30 (2016.01)

A61B 90/00 (2016.01) A61F 2/46 (2006.01)

G16H 20/40 (2018.01) G16H 50/50 (2018.01)

(52) CPC특허분류

A61B 34/20 (2016.02)

A61B 17/175 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2021-7031969

(22) 출원일자(국제) 2020년03월05일

심사청구일자 2021년10월05일

(85) 번역문제출일자 2021년10월05일

(65) 공개번호 10-2021-0137500

(43) 공개일자 2021년11월17일

(86) 국제출원번호 PCT/US2020/021173

(87) 국제공개번호 WO 2020/181076

국제공개일자 2020년09월10일

(30) 우선권주장

62/814,057 2019년03월05일 미국(US)

(56) 선행기술조사문헌

US20170258526 A1*

US05806518 A

US20080010706 A1

WO2018045086 A1

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자

마코 서지컬 코포레이션

미국 33331 플로리다주 웨스턴 엔터프라이즈 애비뉴 3365

(72) 발명자

우 주

미국 33331 플로리다주 웨스턴 엔터프라이즈 애비뉴 3365 마코 서지컬 코포레이션 내

톰슨 매튜

미국 33331 플로리다주 웨스턴 엔터프라이즈 애비뉴 3365 마코 서지컬 코포레이션 내

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

유미특허법인

전체 청구항 수 : 총 19 항

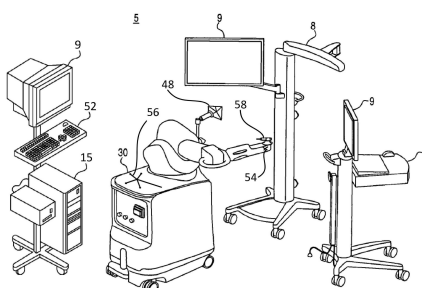
심사관 : 권보람

(54) 발명의 명칭 수술용 레지스트레이션을 위한 시스템 및 방법

(57) 요약

수술용 레지스트레이션을 위한 시스템. 이러한 시스템은 수술용 네비게이션 시스템 및 수술용 디바이스와 통신하는 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스를 포함할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는: a) 대퇴골의 외부 표면 상의 위치에 대응하는 외부 골 레지스트레이션 데이터를 수신하고; b) 외부 골 레지스트레이션 데이터에 기 (뒷면에 계속)

대표도



반하여 제 1 레지스트레이션 변환을 계산하며; c) 수술 계획의 제 1 골 제거 계획을 제 1 레지스트레이션 변환에 기반하여 수술 좌표계로 변환하고; d) 대퇴골의 내부 도관으로부터의 위치 또는 배향 데이터 중 적어도 하나에 대응하는 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터를 수신하며; e) 제 2 레지스트레이션 변환을 외부 및 내부 골 도관 골 레지스트레이션 데이터 양자 모두에 기반하여 계산하고; 및 f) 수술 계획의 제 2 골 제거 계획을 제 2 레지스트레이션 변환에 기반하여 수술 좌표계로 변환한다.

(52) CPC특허분류

A61B 17/3403 (2013.01)

A61B 34/10 (2016.02)

A61B 34/25 (2016.02)

A61B 34/30 (2016.02)

A61B 34/74 (2016.02)

A61B 34/76 (2016.02)

A61B 90/50 (2016.02)

G16H 20/40 (2021.08)

G16H 50/50 (2018.01)

(72) 발명자

미텔스타트 브렌트

미국 33331 플로리다주 웨스턴 엔터프라이즈 애비

뉴 3365 마코 서지컬 코포레이션 내

엘바나 자밀

미국 33331 플로리다주 웨스턴 엔터프라이즈 애비

뉴 3365 마코 서지컬 코포레이션 내

명세서

청구범위

청구항 1

디바이스 및 대퇴골을 레지스트레이션하기 위한 시스템으로서,

상기 대퇴골은 외부 표면 및 내부 도관(canal)을 포함하고, 상기 대퇴골 및 디바이스는 공통 좌표계 안에 있으며, 상기 시스템은,

네비게이션 시스템 및 상기 디바이스와 통신하는 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스를 포함하고,

상기 네비게이션 시스템은 상기 디바이스를 추적하도록 구성되며,

상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 가상 좌표 공간에서의 수술 계획을 저장하고, 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는,

- a) 대퇴골의 외부 표면 상의 위치에 대응하는 외부 골 레지스트레이션 데이터를 수신하고,
- b) 상기 외부 골 레지스트레이션 데이터에 기반하여 제 1 레지스트레이션 변환을 계산하며,
- c) 상기 수술 계획의 제 1 골 제거 계획을 상기 제 1 레지스트레이션 변환에 기반하여 공통 좌표계로 변환하고 - 상기 제 1 골 제거 계획은 가상 좌표 공간에서 규정되며 대퇴골의 내부 도관을 나타내는 가상 내부 도관으로부터의 골 제거의 제 1 부분에 대한 제 1 좌표 위치를 포함하고, 상기 제 1 골 제거 계획은 대퇴골 임플란트의 스템(stem)의 이식을 위해 필요한 전체 도관 준비보다 적은 부분 대퇴골 도관 준비 계획만을 포함함 -,
- d) 대퇴골의 내부 도관으로부터의 위치 또는 배향 데이터 중 적어도 하나에 대응하는 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터를 수신하며,
- e) 상기 외부 골 레지스트레이션 데이터 및 상기 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터 양자 모두에 기반하여 제 2 레지스트레이션 변환을 계산하고,
- f) 상기 수술 계획의 제 2 골 제거 계획을 상기 제 2 레지스트레이션 변환에 기반하여 공통 좌표계로 변환하고, 상기 제 2 골 제거 계획은 가상 좌표 공간에서 규정되며 대퇴골의 내부 도관을 나타내는 가상 내부 도관으로부터의 골 제거의 제 2 부분에 대한 제 2 좌표 위치를 포함하는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 골 제거 계획으로부터의 골 제거의 제 1 부분 및 상기 제 2 골 제거 계획으로부터의 골 제거의 제 2 부분은 총괄하여 전체 도관 준비 계획이 되는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 3

제 2 항에 있어서,

상기 제 2 골 제거 계획은 로봇식 골 제거 부분 및 수동 골 제거 부분을 포함하는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 4

제 3 항에 있어서,

상기 수동 골 제거 부분은 브로치(broach)에 대해서 계획되는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 5

제 1 항에 있어서,

상기 골 제거의 제 2 부분에 대한 제 2 좌표 위치는, 상기 골 제거의 제 1 부분에 대한 제 1 좌표 위치를 포함

하는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 골 제거 계획으로부터의 상기 골 제거의 제 2 부분에 대한 제 2 좌표 위치는, 상기 제 1 골 제거 계획으로부터의 상기 골 제거의 제 1 부분에 대한 제 1 좌표 위치를 포함하는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 7

제 1 항에 있어서,

상기 네비게이션 시스템은,

추적 디바이스 및 이동 중에 상기 추적 디바이스에 의해 추적되도록 구성되는 적어도 하나의 툴을 포함하는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 8

제 1 항에 있어서,

상기 수술 계획은 대퇴골의 목부 에치(neck etch)에 대한 위치 및 배향을 포함하고, 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는,

g) 상기 대퇴골의 목부 상의 물리적 마크에 대응하는 대퇴골 목부 에치 데이터를 수신하고,

상기 물리적 마크는 상기 대퇴골의 목부의 전절제(complete resection)보다 적은, 레지스트레이션 시스템.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 추가로,

g) 상기 제 1 레지스트레이션 변환을 상기 제 2 레지스트레이션 변환과 비교하고, 비교 결과에 기반하여 상기 제 1 레지스트레이션 변환 또는 상기 제 2 레지스트레이션 변환 중 하나로 진행하는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 10

디바이스 및 대퇴골의 레지스트레이션을 위한 컴퓨터-구현 방법으로서,

상기 대퇴골은 외부 표면 및 내부 도관을 포함하고,

상기 디바이스 및 대퇴골은 공통 좌표계에 있으며, 상기 컴퓨터-구현 방법은,

대퇴골의 외부 표면 상의 위치에 대응하는 외부 골 레지스트레이션 데이터를 수신하는 단계;

상기 외부 골 레지스트레이션 데이터에 기반하여 제 1 레지스트레이션 변환을 계산하는 단계;

수술 계획의 제 1 골 제거 계획을 상기 제 1 레지스트레이션 변환에 기반하여 공통 좌표계로 변환하는 단계 - 상기 제 1 골 제거 계획은 적어도 일부의 골 제거이지만 대퇴골 임플란트의 스템을 수용하기 위해 필요한 전체 도관 준비 계획보다 적은 골 제거를 포함하는 부분 대퇴골 도관 준비 계획을 포함함 -;

상기 대퇴골의 내부 도관으로부터의 위치 또는 배향 데이터 중 적어도 하나에 대응하는 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터를 수신하는 단계;

상기 외부 골 레지스트레이션 데이터 및 상기 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터 양자 모두에 기반하여 제 2 레지스트레이션 변환을 계산하는 단계; 및

상기 수술 계획의 제 2 골 제거 계획을 상기 제 2 레지스트레이션 변환에 기반하여 공통 좌표계로 변환하는 단계를 포함하는, 컴퓨터-구현 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 방법은,

대퇴골의 골 모델에 상대적인 임플란트 모델의 계획된 임플란트 배치를 결정하는 단계를 더 포함하고,

상기 대퇴골의 골 모델은 대퇴골을 나타내는, 컴퓨터-구현 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 방법은,

계획된 임플란트 배치를 달성하기 위하여 수술 계획을 결정하는 단계를 더 포함하고,

상기 수술 계획은 제 1 골 제거 계획 및 제 2 골 제거 계획을 포함하는, 컴퓨터-구현 방법.

청구항 13

제 10 항에 있어서,

상기 제 1 골 제거 계획은 상기 대퇴골을 나타내는 대퇴골의 골 모델에 상대적으로 가상 좌표계 내에서 계획되고,

상기 가상 좌표계는 상기 공통 좌표계와 다르며,

상기 제 1 골 제거 계획을 상기 제 1 레지스트레이션 변환에 기반하여 공통 좌표계로 변환하는 단계는,

상기 제 1 골 제거 계획을, 가상 좌표계 내의 대퇴골의 골 모델에 상대적인 상기 제 1 골 제거 계획과 동일한 위치 및 배향으로 상기 공통 좌표계 내의 대퇴골에 매핑하는 것을 포함하는, 컴퓨터-구현 방법.

청구항 14

제 10 항에 있어서,

상기 제 2 골 제거 계획은 상기 대퇴골을 나타내는 대퇴골의 골 모델에 상대적으로 가상 좌표계 내에서 계획되고,

상기 가상 좌표계는 상기 공통 좌표계와 다르며,

상기 제 2 골 제거 계획을 상기 제 2 레지스트레이션 변환에 기반하여 공통 좌표계로 변환하는 단계는,

상기 제 2 골 제거 계획을, 가상 좌표계 내의 대퇴골의 골 모델에 상대적인 상기 제 2 골 제거 계획과 동일한 위치 및 배향으로 상기 공통 좌표계 내의 대퇴골에 매핑하는 것을 포함하는, 컴퓨터-구현 방법.

청구항 15

제 14 항에 있어서,

상기 제 2 골 제거 계획은 상기 대퇴골의 내부 도관으로부터 골을 제거하는 것을 포함하고,

상기 제 2 골 제거 계획은 상기 제 1 골 제거 계획으로부터의 골 제거를 포함하는, 컴퓨터-구현 방법.

청구항 16

제 14 항에 있어서,

상기 제 2 골 제거 계획은 상기 제 1 골 제거 계획에서의 골을 넘는 추가적인 골의 제거를 포함하는, 컴퓨터-구현 방법.

청구항 17

제 1 좌표계 내의 제 1 골의 환자 데이터를 상기 제 1 좌표계와 다른 제 2 좌표계 내의 제 1 골과 연관된 수술 계획과 레지스트레이션하기 위한 시스템으로서,

상기 제 1 골은 헤드부 및 상기 헤드부로부터 연장되는 샤프트부를 포함하고, 상기 시스템은,

a) 추적 디바이스 및 이동 중에 상기 추적 디바이스에 의하여 추적되도록 구성되는 적어도 하나의 톨을 포함하는 네비게이션 시스템과 통신하는 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스를 포함하며,

상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 제 2 좌표계에서의 수술 계획을 저장하고, 상기 수술 계획은 상기 제 1 골을 나타내는 가상 골 모델, 상기 가상 골 모델과 연관된 제 1 골 제거 계획, 및 상기 가상 골 모델과 연관된 제 2 골 제거 계획을 포함하고, 상기 제 1 골 제거 계획은 가상 골 모델의 가상 도관으로부터 골의 부분적인 제거를 위한 제1 계획을 포함하고, 상기 제 1 골 제거 계획은 적어도 일부의 골 제거이지만 제2 골 제거 계획보다 적은 골 제거를 포함하고,

상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는,

i) 상기 제 1 골과 연관된 데이터의 제 1 포인트-클라우드를 수신하고 - 상기 데이터의 제 1 포인트-클라우드는 상기 제 1 골의 헤드부와 연관되는 제 1 데이터를 포함함 -,

ii) 제 1 레지스트레이션 변환을 상기 데이터의 제 1 포인트-클라우드로부터 계산하며,

iii) 상기 제 1 레지스트레이션 변환을 사용하여, 상기 수술 계획의 제 1 골 제거 계획을, 상기 가상 골 모델에 상대적으로 상기 제 2 좌표계 내에 존재했던 상기 제 1 골 제거 계획과 같은 상기 제 1 골에 상대적인 위치 및 배향으로 상기 제 1 좌표계로 변환하고,

iv) 상기 제 1 골과 연관된 데이터의 제 2 포인트-클라우드를 수신하며 - 상기 데이터의 제 2 포인트-클라우드는 상기 제 1 골의 샤프트부의 내부 부분과 연관된 제 2 데이터를 포함함 -,

v) 상기 데이터의 제 1 및 제 2 포인트-클라우드로부터 제 2 레지스트레이션 변환을 계산하고,

vi) 상기 제 2 레지스트레이션 변환을 사용하여, 상기 수술 계획의 제 2 골 제거 계획을, 상기 가상 골 모델에 상대적으로 상기 제 2 좌표계 내에 존재했던 상기 제 2 골 제거 계획과 같은 상기 제 1 골에 상대적인 위치 및 배향으로 상기 제 1 좌표계로 변환하는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 데이터의 제 1 및 제 2 포인트-클라우드는, 이동 중에 상기 네비게이션 시스템의 추적 디바이스에 의해서 추적되는 수술용 디바이스를 통하여 수술 중에 수집되는, 레지스트레이션 시스템.

청구항 19

제 17 항에 있어서,

상기 제 2 골 제거 계획은 상기 가상 골 모델의 가상 도관으로부터의 골의 완전 제거를 위한 제 2 계획을 포함하고,

상기 제 1 및 제 2 골 제거 계획은 대퇴골 임플란트의 스템의 이식의 준비를 위한 것인, 레지스트레이션 시스템.

청구항 20

삭제

청구항 21

삭제

청구항 22

삭제

청구항 23

삭제

청구항 24

삭제

청구항 25

삭제

청구항 26

삭제

청구항 27

삭제

청구항 28

삭제

청구항 29

삭제

청구항 30

삭제

청구항 31

삭제

청구항 32

삭제

청구항 33

삭제

청구항 34

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은, 본 명세서에서 그 전체가 원용에 의해 포함되는 2019 년 3 월 5 일에 출원된 미국 가출원 번호 제 62/814,057에 대한 우선권을 주장한다.

[0003] 본 발명은 정형 관절 교체 수술에 관한 것이고, 특히 수술용 레지스트레이션 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0004] 로봇 시스템은 고도의 정확도 및/또는 정밀도를 요구하는 애플리케이션, 예컨대 수술 프로시저 또는 다른 복잡한 태스크에서 흔히 사용된다. 이러한 시스템은 자율, 원격조종, 및 쌍방향과 같은 다양한 타입의 로봇을 포함할 수 있다.

[0005] 쌍방향 로봇 시스템은 일부 타입의 수술, 예컨대 관절 교체 수술에 대해서 선호될 수 있는데, 그 이유는 의사가 높은 정도의 정확도 및/또는 정밀도를 여전히 달성하면서 수술 프로시저를 직접적이고 즉시 제어할 수 있게 되

기 때문이다. 예를 들어, 무릎 교체 수술에서, 의사는 관절 임플란트, 예컨대 무릎 임플란트를 수용하기 위한 골을 조형하기 위해서 쌍방향, 축각식으로 유도되는 로봇 암을 수동적인 방식으로 사용할 수 있다. 골을 조형하기 위하여, 의사는 손으로 로봇 암을 잡고 이것을 조작하여 로봇 암에 커플링되는 절개 툴(예를 들어, 회전하는 버얼(burr))을 이동시켜 골 내에 포켓을 절개한다. 의사가, 예를 들어 햅틱 객체에 의하여 버얼의 끝을 미리 규정된 가상 절개 경계 또는 규정된 햅틱 경계 내에 유지시키는 한, 로봇 암은 낮은 마찰과 낮은 관성으로 자유롭게 이동하여 의사가 로봇 암이 실질적으로 무게가 없는 것으로 지각하고 필요에 따라 로봇 암을 이동시킬 수 있게 한다. 그러나, 가상 절개 경계 바깥을 절개하기 위해서 의사가 버얼의 끝을 이동시키고자 하면, 로봇 암은 의사가 버얼의 끝을 가상 절개 경계 너머까지 이동시키는 것을 막거나 방지하는 햅틱 피드백(예를 들어, 강제적인 항력)을 제공한다. 이러한 방식으로, 로봇 암은 매우 정확하고 반복가능한 골 절개가 가능해지게 한다. 외과 의사 무릎 임플란트(예를 들어, 슬개대퇴 컴포넌트)를 대응하는 골 절개부 상에 수동으로 이식하면, 임플란트는 그 구조와 절개된 골 및 무릎 임플란트 사이의 인터페이스에 기인하여 일반적으로 정확하게 정렬된다.

[0006] 전술된 쌍방향 로봇 시스템은 고관절(hip) 교체 수술에서도 사용될 수 있는데, 그러려면 상이한 기능(예를 들어, 골확장(reaming), 매몰(impacting), 상이한 구조(예를 들어, 직선형, 오프셋), 및 상이한 무게를 가지는 여러 수술용 툴이 사용되어야 할 수 있다. 다양한 툴을 수용하도록 설계된 시스템은, 2010 년 9 월 29 일 출원되고 발명의 명칭이 "SURGICAL SYSTEM FOR POSITIONING 보철 COMPONENT AND/OR FOR CONSTRAINING MOVEMENT OF SURGICAL TOOL"인 미국 특허 출원 번호 제 12/894,071에 기술되는데, 이것은 그 전체가 원용에 의해 본원에 포함된다.

[0007] 고관절 교체 수술, 및 다른 로봇 보조 또는 완전히 독자적인 수술 프로시저 중에, 골반 및 대퇴골을 포함하는 환자의 뼈는 수술 중에 대응하는 가상 또는 컴퓨터 골 모델과 레지스트레이션되어 실제의 물리적 골의 자세(즉, 위치 및 회전 배향)를 가상 골 모델과 상관시킨다. 환자의 뼈(물리적 공간)는 또한 수술용 로봇, 햅틱 디바이스, 또는 수술용 툴에 상대적으로 추적되는데, 이것은 적어도 하나의 자유도(예를 들어, 회전하는 버얼)를 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 컴퓨터를 통하여 가상 골 모델 상에서 제어되고 규정되는 가상 절삭 또는 햅틱 경계는, 환자의 뼈(물리적 공간)에 작용할 때에 햅틱 디바이스가 그 물리적 이동에 있어서(예를 들어, 버얼링(burring)) 제약되도록 환자의 뼈(물리적 공간)에 적용될 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0008] 골반 및 대퇴골을 수술에 레지스트레이션하는 것은 어려울 수 있다. 그리고, 비록 환자의 골반 및 대퇴골의 레지스트레이션을 위한 특정 시스템 및 방법이 당업계에 존재하지만, 레지스트레이션 시간은 줄이면서 정확도를 증가시키는 레지스트레이션 방법에 대한 필요성이 당업계에 존재한다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 양태는 수술용 디바이스 및 환자의 대퇴골의 레지스트레이션을 위한 시스템을 포함할 수 있다. 대퇴골은 외부 표면 및 내부 도관을 포함할 수 있다. 환자의 대퇴골 및 수술용 디바이스는 수술 좌표계(operative coordinate system) 내에 있을 수 있다. 시스템은 수술용 네비게이션 시스템 및 수술용 디바이스와 통신하는 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스를 포함할 수 있다. 수술용 네비게이션 시스템은 수술용 디바이스를 추적할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 가상 좌표 공간에서의 수술 계획을 저장한다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 다음의 단계들을 수행하도록 구성된다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 대퇴골의 외부 표면 상의 위치에 대응하는 외부 골 레지스트레이션 데이터를 수신할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 외부 골 레지스트레이션 데이터에 기반하여 제 1 레지스트레이션 변환을 계산할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 수술 계획의 제 1 골 제거 계획을 제 1 레지스트레이션 변환에 기반하여 수술 좌표계로 변환할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 대퇴골의 내부 도관으로부터의 위치 또는 배향 데이터 중 적어도 하나에 대응하는 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터를 수신할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 외부 골 레지스트레이션 데이터 및 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터 양자 모두에 기반하여 제 2 레지스트레이션 변환을 계산할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 수술 계획의 제 2 골 제거 계획을 제 2 레지스트레이션 변환에 기반하여 수술 좌표계로 변환할 수 있다.

[0010] 특정한 경우에, 제 1 골 제거 계획은 가상 좌표 공간에서 규정될 수 있고, 환자의 대퇴골의 내부 도관을 나타낼

수 있는 가상 내부 도관으로부터의 골 제거의 제 1 부분에 대한 제 1 좌표 위치를 포함할 수 있다.

- [0011] 특정한 경우에, 제 2 골 제거 계획은 가상 좌표 공간에서 규정될 수 있고, 환자의 대퇴골의 내부 도관을 나타낼 수 있는 가상 내부 도관으로부터의 골 제거의 제 2 부분에 대한 제 2 좌표 위치를 포함할 수 있다.
- [0012] 특정한 경우에, 상기 제 1 골 제거 계획으로부터의 상기 골 제거의 제 1 부분은, 가상 도관으로부터, 결합된 제 1 및 제 2 골 제거 계획보다 적은 골 제거를 포함한다. 특정한 경우에, 상기 제 1 골 제거 계획은, 대퇴골 임플란트의 스템(stem)의 이식을 위해 필요한 전체 도관 준비보다 적을 수 있는 부분적인 대퇴골 도관 준비 계획만을 포함한다. 특정한 경우에, 상기 제 1 골 제거 계획으로부터의 골 제거의 제 1 부분 및 상기 제 2 골 제거 계획으로부터의 골 제거의 제 2 부분은 총괄하여 전체 도관 준비 계획이 된다.
- [0013] 특정한 경우에, 상기 제 2 골 제거 계획은 로봇식 골 제거 부분 및 수동 골 제거 부분을 포함한다.
- [0014] 특정한 경우에, 수동 골 제거 부분은 브로치(broach)에 대하여 계획될 수 있다.
- [0015] 특정한 경우에, 상기 골 제거의 제 2 부분에 대한 제 2 좌표 위치는, 상기 골 제거의 제 1 부분에 대한 제 1 좌표 위치를 포함한다.
- [0016] 특정한 경우에, 상기 제 2 골 제거 계획으로부터의 상기 골 제거의 제 2 부분에 대한 제 2 좌표 위치는, 상기 제 1 골 제거 계획으로부터의 상기 골 제거의 제 1 부분에 대한 제 1 좌표 위치를 망라한다.
- [0017] 특정한 경우에, 수술용 네비게이션 시스템은 추적 디바이스 및 이동 중에 추적 디바이스에 의해 추적되도록 구성되는 적어도 하나의 툴을 포함할 수 있다.
- [0018] 특정한 경우에, 상기 수술 계획은 대퇴골의 목부 에치(neck etch)에 대한 위치 및 배향을 포함할 수 있고, 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는, 상기 대퇴골의 목부 상의 물리적 마크에 대응하는 대퇴골 목부 에치 데이터를 수신하도록 구성되며, 상기 마크는 상기 대퇴골의 목부의 전절제(complete resection)보다 적다.
- [0019] 특정한 경우에, 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 추가로, 상기 제 1 레지스트레이션 변환을 상기 제 2 레지스트레이션 변환과 비교하고, 비교 결과에 기반하여 상기 제 1 레지스트레이션 변환 또는 상기 제 2 레지스트레이션 변환 중 하나로 진행하도록 구성된다.
- [0020] 본 발명의 양태들은 수술용 디바이스 및 환자의 대퇴골을 레지스트레이션하는 컴퓨터-구현 방법을 포함할 수 있다. 대퇴골은 외부 표면 및 내부 도관을 포함한다. 수술용 디바이스 및 환자의 대퇴골은 수술 좌표계에 있다. 컴퓨터-구현 방법은 후속하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 방법은 대퇴골의 외부 표면 상의 위치에 대응하는 외부 골 레지스트레이션 데이터를 수신하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 방법은 외부 골 레지스트레이션 데이터에 기반하여 제 1 레지스트레이션 변환을 계산하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 방법은, 수술 계획의 제 1 골 제거 계획을 제 1 레지스트레이션 변환에 기반하여 수술 좌표계로 변환하는 단계를 포함할 수 있고, 제 1 골 제거 계획은 대퇴골 임플란트의 스템을 수용하기 위하여 필요한 전체 도관 준비 계획 보다 적을 수 있는 부분적인 대퇴골의 도관 준비 계획을 포함한다. 이러한 방법은 대퇴골의 내부 도관으로부터의 위치 또는 배향 데이터 중 적어도 하나에 대응하는 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터를 수신하는 단계를 포함할 수 있다. 이러한 방법은 외부 골 레지스트레이션 데이터 및 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터 양자 모두에 기반하여 제 2 레지스트레이션 변환을 계산하는 단계를 포함할 수 있다. 그리고 이러한 방법은 수술 계획의 제 2 골 제거 계획을 제 2 레지스트레이션 변환에 기반하여 수술 좌표계로 변환하는 단계를 포함할 수 있다.
- [0021] 특정한 경우에, 이러한 방법은 대퇴골의 골 모델에 상대적인 임플란트 모델의 계획된 임플란트 배치를 결정하는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 대퇴골의 골 모델은 환자의 대퇴골을 나타낸다.
- [0022] 특정한 경우에, 이러한 방법은 계획된 임플란트 배치를 달성하기 위하여 수술 계획을 결정하는 단계를 더 포함할 수 있고, 상기 수술 계획은 제 1 골 제거 계획 및 제 2 골 제거 계획을 포함할 수 있다.
- [0023] 특정한 경우에, 제 1 골 제거 계획은 대퇴골을 나타내는 대퇴골의 골 모델에 상대적으로 가상 좌표계 내에서 계획될 수 있고, 가상 좌표계는 수술 좌표계와 다르다. 그리고, 제 1 골 제거 계획을 제 1 레지스트레이션 변환에 기반하여 수술 좌표계로 변환하는 단계는, 제 1 골 제거 계획을 제 1 골 제거 계획이 가상 좌표계에서 대퇴골의 골 모델에 상대적으로 가질 수 있는 것과 동일한 위치 및 배향에서 수술 좌표계 내의 대퇴골로 매핑하는 것을 포함할 수 있다.
- [0024] 특정한 경우에, 제 2 골 제거 계획은 대퇴골을 나타내는 대퇴골의 골 모델에 상대적으로 가상 좌표계 내에서 계획될 수 있고, 가상 좌표계는 수술 좌표계와 다르다. 그리고, 제 2 골 제거 계획을 제 2 레지스트레이션 변환

에 기반하여 수술 좌표계로 변환하는 단계는, 제 2 골 제거 계획을 제 2 골 제거 계획이 가상 좌표계에서 대퇴골의 골 모델에 상대적으로 가질 수 있는 것과 동일한 위치 및 배향에서 수술 좌표계 내의 대퇴골로 매핑하는 것을 포함할 수 있다.

[0025] 특정한 경우에, 상기 제 2 골 제거 계획은 상기 대퇴골의 내부 도관으로부터 골을 제거하는 것을 포함하고, 상기 제 2 골 제거 계획은 상기 제 1 골 제거 계획으로부터의 골 제거를 망라한다. 특정한 경우에, 상기 제 2 골 제거 계획은 상기 제 1 골 제거 계획에서의 골을 넘는 추가적인 골의 제거를 포함한다.

[0026] 본 발명의 양태들은 제 1 좌표계 내의 제 1 골의 환자 데이터를 상기 제 1 좌표계와 다를 수 있는 제 2 좌표계 내의 제 1 골과 연관된 수술 계획과 레지스트레이션하기 위한 시스템을 포함할 수 있다. 상기 제 1 골은 헤드부 및 상기 헤드부로부터 연장되는 샤프트부를 포함할 수 있다. 시스템은 추적 디바이스 및 이동 중에 상기 추적 디바이스에 의하여 추적되도록 구성되는 적어도 하나의 톨을 포함하는 수술용 네비게이션 시스템과 통신하는 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스를 포함할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 제 2 좌표계에서의 수술 계획을 저장한다. 상기 수술 계획은 상기 제 1 골을 나타내는 가상 골 모델을 포함할 수 있고, 제 1 골 제거 계획은 상기 가상 골 모델과 연관되며, 상기 제 2 골 제거 계획은 상기 가상 골 모델과 연관된다. 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는, 상기 제 1 골과 연관된 데이터의 제 1 포인트-클라우드를 수신하도록 구성되고, 상기 데이터의 제 1 포인트-클라우드는 상기 제 1 골의 헤드부와 연관되는 제 1 데이터를 포함할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 제 1 레지스트레이션 변환을 상기 데이터의 제 1 포인트-클라우드로부터 계산하도록 구성된다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 상기 제 1 레지스트레이션 변환을 사용하여, 상기 수술 계획의 제 1 골 제거 계획을, 상기 가상 골 모델에 상대적으로 상기 제 2 좌표계 내에 존재했던 상기 제 1 골 제거 계획과 같은 상기 제 1 골에 상대적인 위치 및 배향으로 상기 제 1 좌표계로 변환하도록 구성된다. 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는, 상기 제 2 골과 연관된 데이터의 제 2 포인트-클라우드를 수신하도록 구성되고, 상기 데이터의 제 2 포인트-클라우드는 상기 제 1 골의 샤프트부의 내부 부분과 연관되는 제 2 데이터를 포함할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 제 2 레지스트레이션 변환을 상기 데이터의 제 1 및 제 2 포인트-클라우드 양자 모두로부터 계산하도록 구성된다. 그리고, 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 상기 제 2 레지스트레이션 변환을 사용하여, 상기 수술 계획의 제 2 골 제거 계획을, 상기 가상 골 모델에 상대적으로 상기 제 2 좌표계 내에 존재했던 상기 제 2 골 제거 계획과 같은 상기 제 1 골에 상대적인 위치 및 배향으로 상기 제 1 좌표계로 변환하도록 구성된다.

[0027] 특정한 경우에, 상기 데이터의 제 1 및 제 2 포인트-클라우드는, 이동 중에 상기 네비게이션 시스템의 추적 디바이스에 의해서 추적될 수 있는 수술용 디바이스를 통하여 수술 중에 수집될 수 있다.

[0028] 특정한 경우에, 상기 제 1 골 제거 계획은 상기 가상 골 모델의 가상 도관으로부터의 골의 부분적인 제거를 위한 제 1 계획을 포함한다.

[0029] 특정한 경우에, 상기 제 2 골 제거 계획은 상기 가상 골 모델의 가상 도관으로부터의 골의 완전 제거를 위한 제 2 계획을 포함하고, 상기 제 1 및 제 2 골 제거 계획은 대퇴골 임플란트의 스템의 이식의 준비를 위한 것이다.

[0030] 본 발명의 양태들은 컴퓨팅 시스템 상에서 컴퓨터 프로세스를 수행하기 위한 컴퓨터-실행가능 명령을 저장하는 하나 이상의 유형의(tangible) 컴퓨터-판독가능 저장 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로세스는 다음 단계들을 포함한다. 컴퓨터 프로세스는 환자의 골반의 복수 개의 이미지 스캔을 수신하는 단계를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로세스는 환자의 골반의 3-차원 골 모델을 상기 복수 개의 이미지 스캔으로부터 생성하는 단계를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로세스는 상기 복수 개의 이미지 스캔과 연관된 스캔 축을 식별하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 스캔 축은 이미징 머신의 스캐닝 테이블의 장축과 나란하게 규정된다. 컴퓨터 프로세스는 환자의 골반의 3-차원 골 모델과 연관된 골 축(bone axis)을 식별하는 단계를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로세스는 상기 스캔 축과 상기 골 축 사이의 각도 오프셋을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로세스는 환자의 골반의 3-차원 골 모델에 상대적인 적어도 하나의 가상 골의 가상 회전 중심을 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로세스는 상기 각도 오프셋 및 상기 가상 회전 중심을 수술용 레지스트레이션 프로시저에 채용될 레지스트레이션 변환에서의 제약으로서 사용하는 단계를 포함할 수 있다.

[0031] 본 발명의 양태들은 컴퓨팅 시스템 상에서 컴퓨터 프로세스를 수행하기 위한 컴퓨터-실행가능 명령을 저장하는 하나 이상의 유형의(tangible) 컴퓨터-판독가능 저장 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로세스는 다음 단계들을 포함한다. 컴퓨터 프로세스는 수술용 네비게이션 시스템의 적어도 하나의 톨로부터 데이터의 포인트-클라우드를 수신하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 적어도 하나의 톨은 이동 중에 상기 수술용 네비게이션 시스템의 추적 디바이스에 의해 추적된다. 상기 적어도 하나의 톨은 데이터 포인트를 상기 포인트-클라우드 데이터 내에

저장하도록 구성될 수 있다. 상기 데이터의 포인트-클라우드를 공통 좌표계 내의 제 1 데이터 및 제 2 데이터를 포함할 수 있다. 상기 제 1 데이터는 수술용 테이블 상에 또는 수술용 테이블에 근접하게 위치되는 포인트들의 쌍을 포함할 수 있다. 상기 제 2 데이터는 오목부를 포함하는 제 1 골과 볼록부를 포함하는 제 2 골 사이의 밀착면(joint surface)의 오목부에 대응하는 복수 개의 포인트를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로세스는 상기 제 1 데이터의 포인트들의 쌍 사이의 벡터를 결정하는 단계를 포함할 수 있다. 컴퓨터 프로세스는 상기 제 2 데이터로부터 회전 중심을 결정하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 회전 중심은 상기 제 1 골에 상대적인 상기 제 2 골의 회전 중심이다. 컴퓨터 프로세스는 상기 데이터의 포인트-클라우드를 적어도 상기 제 1 골의 3-차원 컴퓨터 모델과 레지스트레이션하는 레지스트레이션 변환을 채용하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 벡터 및 상기 회전 중심은 상기 레지스트레이션 변환에서의 제약이다.

[0032] 본 발명의 양태들은 다음 단계들을 포함하는 수술용 레지스트레이션을 위한 컴퓨터-구현 방법을 포함할 수 있다. 이러한 방법은 수술용 네비게이션 시스템의 적어도 하나의 톨로부터 데이터의 포인트-클라우드를 수신하는 단계를 포함할 수 있고, 상기 적어도 하나의 톨은 이동 중에 상기 수술용 네비게이션 시스템의 추적 디바이스에 의해 추적된다. 상기 적어도 하나의 톨은 상기 추적 디바이스에 상대적인 자신의 위치에 기반하여 포인트-클라우드 데이터 내에 데이터 포인트를 저장하도록 구성된다. 상기 데이터의 포인트-클라우드는 제 1 좌표계 내의 제 1 데이터 및 제 2 데이터를 포함할 수 있다. 상기 제 1 데이터는 수술용 테이블 상에 또는 수술용 테이블에 가까이 위치되는 제 1 및 제 2 좌표 포인트를 포함할 수 있다. 상기 제 2 데이터는 골들의 쌍 사이에 형성된 관절의 회전-중심에 대응하는 하나 이상의 좌표 포인트를 포함할 수 있다. 이러한 방법은 데이터의 포인트-클라우드를 상기 골들의 쌍 및 관절의 3-차원 컴퓨터 모델 또는 근사화한 것과 연관된 복수 개의 좌표 포인트와 레지스트레이션하는 레지스트레이션 변환을 채용하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 복수 개의 좌표 포인트는 상기 관절의 회전-중심에 대응하는 하나 이상의 좌표 포인트를 포함할 수 있다. 상기 복수 개의 좌표 포인트는 제 2 좌표계 내에 있다.

[0033] 특정한 경우에, 상기 수술용 테이블 상에 또는 수술용 테이블에 가까이 위치되는 상기 제 1 및 제 2 좌표 포인트는 상기 수술용 테이블의 장축과 평행하게 정렬된다.

[0034] 특정한 경우에, 상기 제 1 데이터는 상기 수술용 테이블 상에 또는 수술용 테이블에 가까이 위치되는 제 3 좌표 포인트를 포함할 수 있고, 상기 제 3 좌표 포인트는 상기 제 1 및 제 2 좌표 포인트로부터 상기 수술용 테이블의 반대면에 위치될 수 있다.

[0035] 특정한 경우에, 상기 골들의 쌍 및 관절의 상기 3-차원 컴퓨터 모델 또는 근사화한 것은 상기 골들의 쌍 및 관절의 수술전 이미지 스캔으로부터 생성될 수 있다.

[0036] 특정한 경우에, 상기 골들의 쌍 및 관절의 상기 3-차원 컴퓨터 모델 또는 근사화한 것은 상기 골들의 쌍 및 관절을 근사화하는 총괄적인 골 모델을 포함할 수 있다.

[0037] 특정한 경우에, 상기 골들의 쌍 및 관절의 상기 3-차원 컴퓨터 모델 또는 근사화한 것은 상기 골들의 쌍 및 관절을 근사화하는 통계적인 골 모델을 포함할 수 있다.

[0038] 본 발명의 양태들은 다음을 포함하는 수술용 레지스트레이션 시스템을 포함할 수 있다. 원위의 텀 및 근위의 발광 다이오드(LED) 광학 마커를 포함할 수 있는 레지스트레이션 바늘 - 상기 근위의 LED 광학 마커는 수술용 네비게이션 시스템의 추적 디바이스에 의해 추적되도록 구성됨 -. 관통하여 연장되는 복수 개의 스루홀을 가지는 템플릿 블록을 포함할 수 있는 바늘 템플릿 - 상기 복수 개의 스루홀은 상기 템플릿 블록 상에서 서로 이격되고, 상기 복수 개의 스루홀 각각은 상기 레지스트레이션 바늘을 궤적에 따라서 유도하도록 구성됨 -. 그리고, 상기 바늘 템플릿에 커플링되는 광학적 국지화 추적기 - 상기 광학적 국지화 추적기는 상기 수술용 네비게이션 시스템의 추적 디바이스에 의해 추적되도록 구성됨.

[0039] 본 발명의 양태들은 척추골의 수술 중에 수집된 환자 데이터를 좌표계 내에서 척추골의 컴퓨터 모델과 레지스트레이션하기 위한 시스템을 포함할 수 있다. 상기 척추골은 외부 표면 및 내부 표면을 가지는 피질 골격(cortical bone shell), 및 피질 골격의 해면 골 내부(cancellous bone interior)를 포함할 수 있다. 상기 척추골은 상기 피질 골격에 의하여 경계지어지는 척수관(spinal cord canal)을 규정할 수 있다. 상기 시스템은 추적 디바이스 및 이동 중에 상기 추적 디바이스에 의해 추적되도록 구성되는 적어도 하나의 톨을 포함하는 수술용 네비게이션 시스템을 포함할 수 있고, 상기 적어도 하나의 톨은 원단부에 절삭 요소를 가지는 엔드 이펙터, 및 상기 절삭 요소 상의 로드를 감지하도록 구성되는 로드 셀을 포함할 수 있다. 상기 시스템은 상기 수술용 네비게이션 시스템과 통신하는 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스를 더 포함할 수 있는데, 상기 적어도 하

나의 컴퓨팅 디바이스는 좌표계 내에서의 척추골의 컴퓨터 모델을 저장한다. 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 상기 절삭 요소가 상기 피질 골격 및 해면 골과 접촉하면 상기 엔드 이펙터의 원단부에서 상기 절삭 요소에 의해 경험되는 로드와 연관된 로드 데이터를 수신하도록 구성된다. 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 상기 로드 데이터에 기반하여, 상기 절삭 요소가 상기 피질 골격의 내부 표면에 언제 접촉하는지를 식별하도록 구성된다. 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 상기 척추골과 연관된 데이터의 포인트-클라우드를 수신하도록 구성되고, 상기 데이터의 포인트-클라우드는 상기 피질 골격의 내부 표면 상의 좌표 위치를 포함할 수 있으며, 상기 데이터의 포인트-클라우드는 상기 엔드 이펙터의 원단부에서 상기 절삭 요소를 통해 수집된다. 상기 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 상기 척추골과 연관된 데이터의 포인트-클라우드를 공통 좌표계 내의 상기 척추골의 컴퓨터 모델과 레지스트레이션하기 위한 변환을 실행하거나 업데이트하는 것 중 하나를 위해서 구성된다.

도면의 간단한 설명

도 1a는 대퇴골 및 골반의 사시도이다.

도 1b는 도 1a의 대퇴골 및 골반에 의해 형성된 고관절의 사시도이다.

도 2a는 전체 고관절 교체 프로시저를 위한 대퇴부 구성 요소 및 관골구의(acetabular) 구성 요소의 분해 사시도이다.

도 2b는 도 2a의 대퇴부 구성 요소 및 관골구의 구성 요소의 도 1a의 대퇴골 및 골반에 상대적인 배치를 각각 나타내는 사시도이다.

도 3a는 수술 시스템의 일 실시예의 사시도이다.

도 3b는 도 3a의 수술용 시스템의 로봇 암의 로봇식 암의 사시도이다.

도 4는 수술 프로시저 중에 사용하기 위한 컴퓨터 디스플레이의 일 실시예를 예시한다.

도 5는 고관절 교체 프로시저의 단계의 일 실시예를 예시한다.

도 6 및 도 7은 디스플레이 스크린 상에 표시된 골반 레지스트레이션 방법의 일 실시예를 예시한다.

도 8은 대퇴골의 레지스트레이션 방법을 단계들을 예시한다.

도 9의 (a)는 세그먼트화를 거치고 있는 근위의 대퇴골의 수술전 이미지를 도시한다.

도 9의 (b)는 도관이 부분적으로 절제된 근위의 대퇴골을 도시한다.

도 9의 (c)는 대퇴골의 도관을 따라서 내부로 탐침되는 근위의 대퇴골을 도시한다.

도 9의 (d)는 대퇴골의 도관을 따라서 완전히 절제된 근위의 대퇴골을 도시한다.

도 10은 대퇴골의 레지스트레이션 방법의 단계를 예시한다.

도 11의 (a)는 세그먼트화를 거치는 근위의 대퇴골의 수술전 이미지를 도시한다.

도 11의 (b)는 대퇴골의 도관이 부분적으로 절제된 근위의 대퇴골을 도시한다.

도 11의 (c)는 대퇴골의 도관이 부분적으로 절제되고, 대퇴골의 내부 표면이 엔드 이펙터의 버얼로 탐침되는 근위의 대퇴골을 도시한다.

도 11의 (d)는 대퇴골의 도관이 완전히 절제된 근위의 대퇴골을 도시한다.

도 12는 대퇴골의 레지스트레이션 방법의 단계를 예시한다.

도 13의 (a)는 세그먼트화를 거치는 근위의 대퇴골의 수술전 이미지를 도시한다.

도 13의 (b)는 대퇴골의 도관이 부분적으로 절제되고 레지스트레이션 톨이 대퇴골의 도관 내로 연장되는 근위의 대퇴골을 도시한다.

도 13의 (c)는 대퇴골의 도관이 부분적으로 절제되고, 레지스트레이션 톨이 대퇴골의 도관 내로 연장되며, 톨이 내부 골 표면으로 확장된 근위의 대퇴골을 도시한다.

도 13의 (d)는 대퇴골의 도관이 완전히 절제된 근위의 대퇴골을 도시한다.

- 도 13e는 근위의 대퇴골 상에 수술 프로시저를 계획하고 수행하기 위한 예시적인 흐름도를 도시한다.
- 도 13f는 근위의 대퇴골 상에 수술 프로시저를 계획하고 수행하기 위한 예시적인 흐름도를 도시한다.
- 도 14a는 이미징 테이블 상에서의 환자의 배향으로부터의 정보를 활용하는 레지스트레이션 방법의 수술전 단계를 예시한다.
- 도 14b는 이미징 테이블 상에서의 환자의 배향으로부터의 정보를 활용하는 레지스트레이션 방법의 수술중 단계를 예시한다.
- 도 14c는 레지스트레이션 방법의 수술전 및 수술중 단계를 예시한다.
- 도 14d는 레지스트레이션 방법의 수술전 및 수술중 단계를 예시한다.
- 도 15의 (a)는 이미징 테이블 상에 있는 환자의 부감도(overhead view)를 도시한다.
- 도 15의 (b)는 수술실 테이블 상의 환자의 부감도를 도시한다.
- 도 15의 (c)는 수술실 내에서 결정된 벡터 및 이미징 테이블 상에서의 환자의 배향으로부터 결정된 골반 축 사이의 각도 오프셋을 도시한다.
- 도 15d는 이미징 테이블 상에 있는 환자의 부감도(overhead view)를 도시한다.
- 도 15e는 수술실 테이블 상의 환자의 부감도를 도시한다.
- 도 15f는 이미징 테이블 상에 있는 환자의 부감도를 도시한다.
- 도 15g는 수술실 테이블 상의 환자의 부감도를 도시한다.
- 도 16의 (a)는 다양한 길이 및 직경의 바늘, 및 바늘 템플릿을 도시한다.
- 도 16의 (b)는 바늘 기반 레지스트레이션 시스템의 제 1 실시형태에 따른 대퇴골의 전면도를 도시한다.
- 도 16의 (c)는 바늘 기반 레지스트레이션 시스템의 제 2 실시형태에 따른 대퇴골의 전면도를 도시한다.
- 도 17의 (a) 및 도 17의 (b)는 대퇴골의 중간-원위의 부분(mid-distal portion) 상에서 사용되는 바늘 기반 레지스트레이션 시스템을 도시한다.
- 도 17의 (c)는 경골(tibia)의 중간-원위의 부분 상에서 사용되는 바늘 기반 레지스트레이션 시스템을 도시한다.
- 도 18은 장골릉선(iliac crest) 상에서 활용되는 바늘 기반 레지스트레이션 시스템이 있는 장골(ilium)의 측면도를 도시한다.
- 도 19a 및 도 19b는 척추 상에서 활용되는 바늘 기반 레지스트레이션 시스템의 측면도 및 단면 축상 뷰를 각각 도시한다.
- 도 20a(선행 기술)는 육경(pedicle) 내에 위치한 골 앵커가 있는 척추골의 축상 단면 이미지이다.
- 도 20b는 육경의 목부 영역 내에 위치한 버얼이 있는 척추골의 축상 단면 이미지이다.
- 도 20c는 육경의 목부 영역 내에 위치한 버얼이 있는 척추골의 축상 단면 이미지이다.
- 도 20d는 육경의 목부 영역을 통해 깊은 내부 피질 벽에 위치한 버얼이 있는 척추골의 축상 단면 이미지이다.
- 도 21은 본 명세서에서 논의되는 다양한 시스템 및 방법을 구현할 수 있는 하나 이상의 컴퓨팅 유닛을 가지는 예시적인 컴퓨팅 시스템이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0041]

본 출원은 다음 출원들을 그들의 전체로서 원용에 의하여 포함한다: 국제 출원 제 PCT/US2017/049466, 출원일 2017년 8월 30일, 발명의 명칭 "SYSTEMS AND METHODS FOR INTRA-OPERATIVE PELVIC REGISTRATION"; 미국 특허 출원 번호 제 12/894,071, 출원일 2010년 9월 29일, 발명의 명칭 "SURGICAL SYSTEM FOR POSITIONING PROSTHETIC COMPONENT AND/OR FOR CONSTRAINING MOVEMENT OF SURGICAL TOOL"; 미국 특허 출원 번호 제 13/234,190, 출원일 2011년 9월 16일, 발명의 명칭 "SYSTEMS AND METHOD FOR MEASURING PARAMETERS IN JOINT REPLACEMENT SURGERY"; 미국 특허 출원 번호 제 11/357,197, 출원일 2006년 2월 21일, 발명의 명칭

"HAPTIC GUIDANCE SYSTEM AND METHOD"; 미국 특허 출원 번호 제 12/654,519, 출원일 2009 년 12 월 22 일, 발명의 명칭 "TRANSMISSION WITH FIRST AND SECOND TRANSMISSION ELEMENTS"; 미국 특허 출원 번호 제 12/644,964, 출원일 2009 년 12 월 22 일, 발명의 명칭 "DEVICE THAT CAN BE ASSEMBLED BY COUPLING"; 및 미국 특허 출원 번호 제 11/750,807, 출원일 2007 년 5 월 18 일, 발명의 명칭 "SYSTEM AND METHOD FOR VERIFYING CALIBRATION OF A SURGICAL DEVICE".

I. 개관

고관절은 대퇴골 및 골반 사이의 관절이고 주로 정적(예를 들어, 서 있는 것) 및 동적(예를 들어, 보행) 자세에서 신체의 체중을 지지하는 역할을 한다. 도 1a는 좌측 골반 또는 장골(12) 및 좌측 대퇴골(14)의 근단부를 포함하는, 고관절(10)의 기능측의 골을 도시한다. 우측 골반 및 우측 대퇴골의 근단부가 도 1a에는 도시되지 않지만, 본 명세서의 설명은 제한이 없이 우측 및 좌측 대퇴골 및 골반 양자 모두에 적용가능하다. 계속하면, 대퇴골(14)의 근단부는 대퇴경부(18) 상에 배치된 대퇴골두(femoral head; 16)를 포함한다. 대퇴경부(18)는 대퇴골두(16)를 대퇴골 간부(femoral shaft; 20)에 연결한다. 도 1b에 도시된 바와 같이, 대퇴골의 헤드부(16)는 관골구(22)라고 불리는 골반(12) 내의 오목 소켓 내에 맞춤되고, 이를 통하여 고관절(10)을 형성한다. 관골구(22) 및 대퇴골두(16) 양자 모두는 충격을 흡수하고 관절(10)의 결구(articulation)를 촉진하는 관절 연골에 의해 덮인다.

시간이 지남에 따라서, 고관절(10)은 퇴화하고(예를 들어, 골관절염 때문에), 통증과 감소된 기능성이 생긴다. 결과적으로, 총 고관절 관절성형(arthroplasty) 또는 고관절 치환(resurfacing)과 같은 고관절 교체 프로시저가 필요할 수 있다. 고관절 교체 중에, 의사는 환자의 고관절(10)의 일부를 인공 구성 요소로 교체한다. 총 고관절 성형에서, 의사는 대퇴골두(16) 및 경부(18)를 제거하고, 있던 골을 두부(26a), 경부(26b), 및 스템(26c)(도 2a에 도시되는)을 포함하는 보철 대퇴부 요소(26)로 교체한다. 도 2b에 도시된 바와 같이, 대퇴골의 컴포넌트(26)는 대퇴골(14)의 수관(intramedullary canal) 내에 외과가가 생성하는 체강 내에 고정된다. 또는, 병이 대퇴골두(16)의 표면에만 한정되어 있으면, 의사는 대퇴골두가 재생되고(예를 들어, 원통형 골 확장기(reamer)를 사용) 보철 대퇴골두 컵(미도시)과 맞춤되는 더 적게 침습적인 접근법을 선택할 수도 있다. 유사하게, 골반(12)의 천연 관골구(22)가 마모되고 질병을 얻으면, 외과가는 관골구(22)를 골 확장기를 사용하여 치환하고, 원래의 표면을 라이너(28b)를 포함할 수 있는 반구형 컵(28a)(도 2a에 도시됨)을 포함하는 보철 관골구 컴포넌트(28)로 교체한다. 관골구 요소(28)를 설치하기 위하여, 의사는 컵(28a)을 임팩터 툴의 원단부에 연결하고, 나무망치로 반복적으로 가격함으로써 임팩터 툴의 근단부를 확장된 관골구(22) 내에 이식한다. 관골구 요소(28)가 라이너(28b)를 포함하면, 의사는 컵(28a)을 이식한 후에 컵(28a) 내로 라이너(28b)를 스냅(snap)한다. 외과가가 수술을 위해서 환자를 배치하는 위치에 의존하여, 외과가는 관골구(22)를 확장하기 위하여 직선형 또는 오프셋 골 확장기를 사용하거나 관골구 컵(28a)을 이식하기 위해서 직선형 또는 오프셋 임팩터를 사용할 수 있다. 예를 들어, 후측방향 접근법을 사용하는 의사는 직선형 골확장과 매복(impaction)을 선호할 수 있는 반면에, 전측방향 접근법을 사용하는 의사는 오프셋 골확장 및 매복을 선호할 수 있다.

II. 예시적인 로봇 시스템

본 명세서에서 설명되는 수술 시스템은 고관절 교체 및 다른 수술 프로시저를 수행하기 위하여 이용될 수 있다. 도 3a에 도시된 바와 같이, 외과적 애플리케이션을 위한 수술 시스템(5)의 일 실시예는 컴퓨터-지원 네비게이션 시스템(7), 추적 디바이스(8), 컴퓨터(15), 디스플레이 디바이스(9)(또는 다수의 디스플레이 디바이스(9), 및 로봇 암(30)을 포함한다.

로봇 암(30)은 고관절 교체 프로시저와 같은 수술 프로시저를 환자에게 수행하기 위해서 외과가에 의해 대화형 방식으로 사용될 수 있다. 도 3b에 도시된 바와 같이, 로봇 암(30)은 베이스(32), 관절형 암(34), 포스(force) 시스템(미도시), 및 제어기(미도시)를 포함한다. 수술용 툴(58)(예를 들어, 도 3a에서 볼 수 있는 바와 같은 회전식 버얼링 디바이스, 도 3b에서 볼 수 있는 바와 같은 동작 부재를 가지는 단부 이펙터(40))은 관절형 암(34)의 단부에 커플링되고, 의사는 손으로 쥐고 관절형 암(34) 및/또는 수술용 툴을 수동으로 이동시킴으로써 수술용 툴(58)을 조작한다.

포스 시스템 및 제어기는 수술용 툴을 조작하는 동안 의사를 제어하고 유도하도록 구성된다. 포스 시스템은 적어도 일부의 힘을 관절형 암(34)을 통해 수술용 툴에 제공하도록 구성되고, 제어기는 포스 시스템을 제어하기 위한 제어 신호를 생성하도록 프로그래밍된다. 일 실시형태에서, 포스 시스템은, 예를 들어 미국 특허 출원 일련 번호 제 11/357,197(공개 번호 제 US 2006/0142657), 출원일 2006 년 2 월 21 일, 및/또는 미국 특허 출원 일련 번호 제 12/654,519 호, 출원일 2009 년 12 월 22 일에 설명된 바와 같이, 햅틱 대상물에 의해 규정되는

미리 정의된 가상 경계를 넘어서 외과의가 수술용 툴을 수동으로 이동시키는 것을 제약하거나 방지하기 위하여 햅틱(또는 힘) 피드백을 제공하는 액추에이터 및 역구동가능한 트랜스미션을 포함하는데, 이들 각각은 그 전체로서 본 명세서에서 원용에 의해 통합된다. 어떤 실시예에서, 수술 시스템은 플로리다 포트 라우더데일(Fort Lauderdale)의 MAKO Surgical Corp에 의해 제작된 RIOTM, Robotic Arm Interactive Orthopedic System이다. 포스 시스템 및 제어기는 로봇 암(30) 내에 수용될 수 있고, 또는 독자적인 유닛 또는 핸드헬드 유닛의 일부일 수 있다. 일반적으로, 수술용 레지스트레이션 방법은 자율적으로, 또는 햅틱 제어 하에서 외과의에 의해 유도되는 수술용 로봇의 로봇 암으로써 수행될 수 있다. 이와 유사하게, 수술용 레지스트레이션 방법은 허용 동작 구역 내에서 동작하는 핸드헬드 유닛을 통해서 수행될 수 있다.

[0049] 추적 디바이스(8)는 수술용 툴(58)(로봇 암(30)에 커플링된) 및 환자의 해부학적 구조의 상대적인 위치를 추적하도록 구성된다. 수술용 툴(58)은 추적 디바이스(8)에 의해 직접적으로 추적될 수 있다. 또는, 수술용 툴의 자세는, 로봇 암(30)의 베이스(32)의 위치를 추적하고, 수술용 툴(58)의 자세를 로봇 암(30)의 관절로부터의 관절 인코더 데이터 및 수술용 툴 및 로봇 암(30) 사이의 알려진 기하학적 관계에 기반하여 계산함으로써 결정될 수 있다. 특히, 네비게이션 시스템(7)이 툴과 해부학적 구조 사이의 상대적인 관련성을 알 수 있도록, 추적 디바이스(8)(예를 들어, 광학식, 기계식, 전자기식, 또는 다른 공지된 추적 시스템)는 수술용 툴의 자세(즉, 위치 및 배향) 및 환자의 해부학적 구조를 추적한다(또는 그 결정을 가능하게 함).

[0050] 수술 중에, 사용자(예를 들어, 의사)는 환자에게 수술 태스크, 예컨대 골 절개 또는 임플란트 설치를 수행하기 위하여, 로봇 암(30)을 이동시켜 수술용 툴(58)(예를 들어, 회전식 버얼링 디바이스, 동작 부재가 있는 엔드 이펙터(40))를 조작한다. 의사가 툴(58)을 조작할 때, 추적 디바이스(8)는 수술용 툴의 위치를 추적하고, 로봇 암(30)은 의사가 툴(58)을 환자의 해부학적 구조에 맞게 레지스트레이션된(또는 매핑된) 미리 규정된 가상 경계를 넘어서 이동시킬 수 없게 제한하는 햅틱(또는 힘) 피드백을 제공하며, 그 결과 매우 정확하고 반복가능한 골 절개 및/또는 임플란트 설치가 이루어진다. 로봇 암(30)은 수동 방식으로 동작하고, 의사가 수술용 툴(58)을 가상 경계를 넘어 이동시키려고 할 경우 햅틱 피드백을 제공한다. 햅틱 피드백은 로봇 암(30) 내의 하나 이상의 액추에이터(예를 들어, 모터)에 의해 생성되고, 케이블 드라이브 송신과 같은 탄력적 송신을 통해 의사에게 전파된다. 로봇 암(30)이 햅틱 피드백을 제공하지 않으면, 로봇 암(30)은 의사에 의해 자유롭게 이동되고, 의사가 요구할 때 활성화될 수 있는 가상 브레이크를 포함하는 것이 바람직하다. 수술 프로시저 중에, 네비게이션 시스템(7)은 수술 프로시저에 관련된 이미지를 디스플레이 디바이스(9) 중 하나 또는 양자 모두에 디스플레이한다.

[0051] 시스템 내의 다양한 장비를 추적하는 것을 돕기 위해서, 로봇 암(30)은 로봇 암(30)의 광역 또는 그로스 위치를 추적하기 위한 디바이스 마커(48), 관절형(articulating) 암(34)의 원단부를 추적하기 위한 툴 단부 마커(54), 및 레지스트레이션 프로세스에서 사용하기 위한 무구속(free-hand) 네비게이션 프로브(56)를 포함할 수 있다. 이러한 마커(48, 54, 56) 각각(환자의 뼈 내에 위치된 네비게이션 마커와 같은 것들 중에서)은, 예를 들어 광학 카메라가 있는 추적 디바이스(8)에 의해 추적될 수 있다.

[0052] 컴퓨터(15)는 디스플레이 및 입력 디바이스(예를 들어, 키보드, 마우스)를 포함할 수 있고, 시스템 내의 네비게이션 시스템(7), 추적 디바이스(8), 다양한 디스플레이 디바이스(9), 및 로봇 암(30)과 통신하도록 구성된다. 더욱이, 컴퓨터(15)는 특정 수술 프로시저에 관련된 정보를 수신하고 수술 프로시저를 수행하는 데에 관련된 다양한 기능을 수행할 수 있다. 예를 들어, 컴퓨터(15)는 이미지 분석, 수술 계획설정, 레지스트레이션, 네비게이션, 이미지 유도, 및 햅틱 유도에 관련된 기능을 수행하기 위하여 필요한 소프트웨어를 포함할 수 있다. 본 명세서에서 논의되는 다양한 시스템 및 방법을 구현할 수 있는 하나 이상의 컴퓨팅 유닛을 가지는 예시적인 컴퓨팅 시스템의 더 상세한 분석은 도 14를 참조하여 후술된다.

[0053] 도 3b는 로봇 보조 고관절 성형에서 사용하기에 특히 적합한 엔드 이펙터(40)를 도시한다. 엔드 이펙터(40)는 로봇 암(30)의 단부에 탑재되도록 구성된다. 엔드 이펙터(40)는 장착부(50), 하우징, 커플링 디바이스, 및 해체 부재를 포함한다. 엔드 이펙터(40)는 다수의 동작 부재를 로봇 암(30)에 상대적으로 개별적으로 그리고 상호교환가능하도록 지지하고 정확하게 위치설정하도록 구성된다. 도 3b에서 볼 수 있는 바와 같이, 엔드 이펙터(40)는 동작 부재(100)에 커플링된다. 엔드 이펙터(40) 및 관련된 툴, 시스템, 및 방법은 2010 년 9 월 29 일 출원된 미국 특허 출원 번호 제 12/894,071에 기술되는데, 이것은 그 전체가 원용에 의해 본원에 통합된다.

[0054] 바람직하게는, 장착부(또는 마운트)(50)가 엔드 이펙터(40)를 로봇 암(30)에 커플링한다. 특히, 장착부(50)는 하우징으로부터 연장되고, 예를 들어 기계적 패스너를 사용하여 엔드 이펙터(40)를 로봇 암(30)의 대응하는 장착부(35)로 커플링함으로써 장착부가 서로에 대해 고정되게 구성된다. 장착부(50)는 하우징에 부착되거나 하우

징과 일체화되어 형성될 수 있고, 로봇 암(30)에 상대적으로 엔드 이펙터(40)를 정확하게 그리고 반복적으로 위치시키도록 구성된다. 일 실시형태에서, 장착부(50)는 그 전체가 본 명세서에 원용에 의해 통합되는 미국 특허 출원 일련 번호 제 12/644,964, 출원일 2009 년 12 월 22 일에 설명된 바와 같은 반-운동(semi-kinematic) 마운트이다.

[0055] 도 3b의 엔드 이펙터(40)는 추적되고 수술용 로봇 암(30)에 의해 사용될 수 있는 수술용 툴의 하나의 예이다. 당업계에 공지된 바와 같은 다른 툴(예를 들어, 드릴, 버얼)이 주어진 수술 프로시저를 위해서 로봇 암에 부착될 수 있다.

[0056] III. 수술 프로시저의 수술전 계획설정

[0057] 수술 프로시저에 앞서서, 환자의 골반(12) 및 대퇴골(14)의 수술전 CT(computed tomography) 스캔이 의료용 이미징 디바이스를 사용하여 생성된다. 이러한 논의가 CT 스캔에 중점을 둘 것이지만, 다른 이미징 모달리티(예를 들어, MRI)도 유사하게 채택될 수 있다. 추가적으로 및 대안적으로, CT 스캔 및/또는 3 차원 모델(512, 514)이 수술 계획설정을 위해서 사용될 수 있는데, 그러면 CT 기초 모델이 아니라 실제 x-선 이미지를 사용하여 임플란트 배치를 계획하는 데에 익숙한 의사에게 도움이 될 수 있다. 또한, 골의 총괄적 모델 또는 골의 통계적 모델이 사용될 수 있다. 이러한 모델은 레지스트레이션 프로세스를 사용하여 환자의 뼈에 모핑될 수 있다(morphed). 추가적으로 또는 대안적으로, 환자 특정한 골 모델은 레지스트레이션 도중에 수집된 환자 데이터가 있거나 없는 2-차원 x-선 이미지의 조합(예를 들어, 2D로부터 3D 모델까지)을 사용해서도 생성될 수 있다.

[0058] CT 스캔은 의사에 의해서 또는 독립적 이미징 설비에서 수행될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 환자의 골 모델을 생성하기 위하여 수술중 이미징 방법이 채용될 수 있다. 예를 들어, 관심 대상인 다양한 골면이 추적된 프로브로 탐침되어 관심 표면의 표면 프로파일을 생성할 수 있다. 표면 프로파일은 환자의 골 모델로서 사용될 수 있다. 따라서, 본 발명은 환자의 골 모델 또는 그 일부를 생성하기 위한 모든 방법에 적용가능하다.

[0059] 도 4에 도시된 바와 같이, CT 스캔 또는 CT 스캔에서 얻은 데이터는 구획되어 골반(12)의 3 차원 모델(512) 및 대퇴골(14)의 3 차원 모델(514)을 얻는다. 3 차원 모델(512, 514)은 수술 계획을 구성하기 위해서 의사에 의해 사용된다. 외과의는 환자의 해부학적 구조의 모델(512, 514)에 상대적인 관골구 컴포넌트 및 대퇴골의 컴포넌트의 소망되는 자세(즉, 위치 및 배향)를 지정함으로써 수술 계획을 생성한다. 예를 들어, 관골구 컵의 계획된 자세(500)가 지정되고 컴퓨터 디스플레이, 예컨대 디스플레이 디바이스(9) 상에 디스플레이된다. 수술 프로시저 중에, 물리적 공간에서의 환자의 해부학적 구조 및 수술용 툴의 움직임이 추적 디바이스(8)에 의해 추적되고, 이렇게 추적된 객체들이 네비게이션 시스템(7)(이미지 공간) 내의 대응하는 모델로 레지스트레이션된다. 결과적으로, 물리적 공간 내의 객체가 이미지 공간 내의 대응하는 모델과 상관된다. 그러므로, 수술용 시스템(5)은 환자의 해부학적 구조 및 계획된 자세(500)에 상대적인 수술용 툴의 실제 위치를 알고 있으며, 이러한 정보가 수술 프로시저 중에 디스플레이 디바이스(9) 상에 그래픽으로 디스플레이된다.

[0060] 어떤 실시예에서는, 모델(512, 514)은 각각 전체 골면(12, 14)에 대한 것일 수 있다. 특정 실시형태들에서, 모델(512, 514)은 관골구(22) 및 대퇴골의 헤드부(16)와 같은 중요한 관심 영역만을 제공하는 트리밍된 3 차원 모델일 수도 있다. 즉, 트리밍된 3차원 모델은 전체 골 모델(512, 514) 중 일부만을 표시한다. 특정 실시형태들에서, 모델(512, 514)은 다수의 모델들의 조합일 수도 있다. 예를 들어, 모델(512)은 동작성(operative) 골반, 비-동작성 골반, 및 척추의 개별적인 3 차원 모델의 조합일 수 있다.

[0061] IV. 수술중 프로시저

[0062] A.

[0063] 도 5는 전체 고관절 교체(total hip replacement)를 수행하는 수술중 단계의 일 실시형태를 예시한다. 이러한 실시예에서, 단계 S1-S7, S9, S11, 및 S12는 로봇의 지원과 함께 또는 지원이 없이 수행될 수 있다. 다른 실시예들에서, S1-S2는 요구되지 않을 수 있고, S3-S5는 S1-S2 이전에 수행될 수 있으며, S7은 S8 이전의 임의의 시점에 수행될 수 있다. 단계 S8 및 S10은 로봇 암(30)을 사용하여 수행되는 것이 바람직하다. 예를 들어, 단계 S8(확장)은 엔드 이펙터(40)가 작동 부재(100)에 커플링된 도 3의 로봇 암(30)을 사용하여 수행될 수 있고, 단계 S10(임팩팅)은 엔드 이펙터(40)가 다른 작동 부재에 커플링된 로봇 암(30)을 사용하여 수행될 수 있다.

[0064] B. 대퇴골의 추적 및 레지스트레이션

[0065] 수술 프로시저의 단계 S1에서, 추적 디바이스(8)가 대퇴골(14)의 움직임을 추적할 수 있게 하기 위해서 추적 레이가 대퇴골(14)에 부착된다. 단계 S2에서, 대퇴골(14)은 대퇴골(14)(물리적 공간)의 자세를 대퇴골(14)의 3

차원 모델(514)과 네비게이션 시스템(7)(이미지 공간) 내에서 상관시키도록 레지스트레이션된다. 추가하여, 대퇴골 체크포인트가 부착될 수 있다. 단계 S3에서, 대퇴골은 수술을 위해 준비된다.

[0066] 후속하는 설명은 환자의 고관절에 이루어지는 수술 프로시저에서 대퇴골을 준비 및 레지스트레이션하는 예시적인 방법을 제공한다. 특정한 경우에, 대퇴골의 준비 및 레지스트레이션 방법은 도 8 내지 도 13을 참조하여 설명될 것이다. 추가하여, 대퇴골 이식 및 대퇴골 준비의 수술전 플래닝의 특정 단계들도 역시 설명될 것이다.

[0067] 시작하자면, 도 8 및 도 9의 (a) 내지 (d)를 참조한다. 특정한 경우에, 레지스트레이션 방법(800)은 대퇴골의 근위의 부분의 외부 표면, 및, 예를 들어 대퇴골 임플란트 컴포넌트의 스템의 이식을 위해서 준비되어야 하는 골수 체강(medullary cavity)과 나란한 것과 같은 내부 골 표면 양자 모두 상의 포인트를 피킹(picking)하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 방식으로, 레지스트레이션 변환은 변환의 정확도를 증가시키기 위해서 내부 및 외부 골 정보를 포함할 수 있다. 도 8에서 볼 수 있는 바와 같이, 레지스트레이션 방법(800)은 802에서 대퇴골의 외부 및 내부 골 표면을 세그먼트화 또는 모델링하는 것을 포함할 수 있다. 근위의 대퇴골(902)의 단일 의료용 이미지(900)가 도 9의 (a)에 도시되는데, 여기에서는 외부 골 표면(904) 및 내부 골 표면(906) 양자 모두가 세그먼트화를 위하여 식별된다. 오직 하나의 의료용 이미지(900)만이 도시되지만, 레지스트레이션 방법(800)은 전체 골을 망라하는 복수 개의 의료용 이미지를 세그먼트화하는 것을 포함할 수 있다. 따라서, 복수 개의 의료용 이미지 각각의 내부 및 외부 골 표면이 세그먼트화될 수 있다.

[0068] 레지스트레이션 방법(800)은 도 8의 802에서 근위의 대퇴골에서 포인트-클라우드를 식별하는 것을 더 포함할 수 있다. 도 9의 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이, 일련의 포인트(908) 및 그들의 각각의 위치가 식별되고 포인트-클라우드 내에 저장된다. 도면에 보이는 바와 같이, 일련의 포인트(908)는 대퇴골의 목부, 대퇴골의 헤드부, 및 더 큰 전절(trochanter) 상에 위치된다.

[0069] 레지스트레이션 방법(800)의 단계(802)가 수술 프로시저 이전에 일어나지만, 단계 804 내지 808은 수술 중에 일어난다. 레지스트레이션 방법(800)은 도 8의 804에서, 계획된 것보다 작은 햅틱 볼륨 내에서 버얼 엔드-이펙터에 의하여 근위의 대퇴골을 절제하여 골 공동(bone cavity)을 포인트 피킹을 위해서 비우는 것을 포함할 수 있다. 도 9의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 근위의 대퇴골(902)은 임플란트의 스템을 배치시키기 위한 후속 절제에 대한 볼륨(912)보다 작은 볼륨(910) 내에서 절제되었다.

[0070] 다시 도 8을 참조하면, 레지스트레이션 방법(800)은 806에서 외과위가 골수 도관을 따라서 내부 골 표면 상에서 포인트를 피킹, 로깅(logging), 또는 캡처하는 것을 포함할 수 있다. 도 9의 (c)에서 볼 수 있는 바와 같이, 근위의 대퇴골(902)의 골수 도관을 따라서 내부 골 표면 상의 포인트를 캡처하기 위하여 뾰족한 팁을 가지는 추적된 프로브(914)가 사용될 수 있다. 프로브 팁은 캡처하기 위한 포인트(916)를 향하여 과소절삭된 볼륨(910)을 통해서 그리고 스템 볼륨(912) 내로 연장될 수 있다. 레지스트레이션 방법(800)은 806에서, 예를 들어 새로운 및 현존 포인트-클라우드 데이터가 결합된 반복 최근접 포인트(iterative closest point; ICP) 변환과 같은 최적화 방법을 실행하는 것을 더 포함할 수 있고, 레지스트레이션 변환이 업데이트될 수 있다.

[0071] 레지스트레이션 방법(800)의 단계 808에서, 대퇴골의 준비가 대퇴골의 컴포넌트의 스템의 후속 이식을 위하여 계획된 볼륨으로 완료될 수 있다(즉, 버얼 엔드-이펙터를 사용함). 도 9의 (d)에서 볼 수 있는 바와 같이, 전체 볼륨(912)이 대퇴골의 컴포넌트의 스템의 이식을 위해서 절제되었다.

[0072] 다른 대퇴골 레지스트레이션 방법(1000)이 도 10 및 도 11의 (a) 내지 (d)에 도시된다. 도 10에서 볼 수 있는 바와 같이, 레지스트레이션 방법(1000)은 단계 1002에서 대퇴골의 외부 및 내부 골 표면을 세그먼트화하는 것을 포함할 수 있다. 단계 1002는 골 레지스트레이션을 위하여 근위의 대퇴골에서 포인트-클라우드를 피킹하는 것을 더 포함한다. 도 11의 (a)는 근위의 대퇴골(1102)의 의료용 이미지(1100)를 예시하는데, 여기에서 외부 골 표면(1104) 및 내부 골 표면(1106)의 양자 모두가 세그먼트화를 위하여 식별된다. 의료용 이미지(1100)는 포인트-클라우드 내에 저장되는 일련의 포인트(1108)를 더 포함한다. 도면에 보이는 바와 같이, 일련의 포인트(1108)는 대퇴골의 목부, 대퇴골의 헤드부, 및 더 큰 전절(trochanter) 상에 위치된다.

[0073] 레지스트레이션 방법(1000)의 단계(1002)가 수술 프로시저 이전에 일어나지만, 단계 1004 내지 1008은 수술 중에 일어난다. 도 10의 단계 1004는 근위의 대퇴골을 대퇴골 임플란트 컴포넌트의 스템의 이식을 위해서 궁극적으로 계획된 것보다 작은 볼륨 내에서 엔드-이펙터의 버얼을 사용하여 절제하는 것을 포함한다. 이러한 더 작은 볼륨은 포인트 피킹을 위하여 내부 대퇴골의 체강을 비우게 된다. 도 11의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 엔드 이펙터의 버얼(1114)은 대퇴골(1102)의 근단부의 내부 부분 내에서 볼륨(1110)을 절제한다. 일반적으로, 버얼(1114)은 대퇴골의 목부 및 더 큰 전절을 통해서 원위의 또는 하향 궤적에 따라 절제할 수 있다. 특정한

경우에, 대퇴골의 헤드는 프로시저의 이러한 시점에서 절제되지 않은 상태로 남아 있을 수 있다. 도 11의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 절제된 볼륨(1110)은 프로시저에서 추후에 절제될 더 큰 최종 준비 볼륨(1112)의 한계 내에 속한다.

[0074] 도 10의 단계 1006은 엔드 이펙터의 버얼(또는 엔드 이펙터의 단부에 부착된 다른 툴)을 대퇴골의 도관 아래로(원위로) 이동시키고, 골의 내부 부분 상의 비손상(intact) 골 표면 상에서 포인트를 피킹, 로깅, 또는 캡처하는 것을 포함한다. 또한, 골 표면은 시스템 내의 모터의 상태를 모니터링함으로써 자동으로 검출되어, 하드 표면과의 접촉이 언제 이루어지는지를 결정할 수도 있다. 그러면, 반복 최근접 포인트(ICP) 계산이 새로운 및 현존 포인트-클라우드 데이터가 결합된 상태로 실행된다. 그러면, 레지스트레이션 변환이 업데이트된다. 도 11의 (c)에서 볼 수 있는 바와 같이, 외과의는 버얼(1114)이 내부 골 표면(1106)과 접촉할 때까지, 버얼(1114)을 과소절삭된 햅틱 볼륨(1110)을 통해서 연장시킨다. 외과의는 내부 골 표면(1106) 상의 포인트(1116)를 캡처, 로깅, 또는 피킹한다. 이러한 포인트의 위치가 레지스트레이션 변환을 업데이트하기 위하여 사용된다. 추가적으로 또는 대안적으로, 시스템은 내부 비손상 피질 골 표면과 접촉하는 버얼 TCP를 자동으로 검출할 수 있고, 또는 이것은 버얼 엔드 이펙터에 부착된 힘/토크 센서(또는 다른 타입의 센서)를 사용해서 측정될 수도 있다.

[0075] 도 10의 단계 1008은 업데이트된 골 레지스트레이션 변환을 사용하여 대퇴골 임플란트 컴포넌트의 스템을 배치하기 위한 계획된 절제 볼륨 또는 햅틱 볼륨에서 대퇴골의 도관의 절제를 마치는 것을 포함한다. 도 11의 (d)에서 볼 수 있는 바와 같이, 대퇴골의 도관은 수술 계획에 따르는 전체 절제 볼륨(1112)으로 완전히 절제된다.

[0076] 다른 대퇴골 레지스트레이션 방법(1200)이 도 12 및 도 13의 (a) 내지 도 13의 (d)에 도시된다. 도 12에서 볼 수 있는 바와 같이, 레지스트레이션 방법(1200)은 단계 1202에서, 근위의 대퇴골의 외부 골 표면을 세그먼트화하는 것, 및 근위의 대퇴골의 의료용 이미지로부터 구성된 골 모델 내에서 대퇴골 도관의 대퇴골의 도관 축 또는 대퇴골의 해부학적 Z-축을 결정하는 것을 포함할 수 있다. 또한, 단계 1202는 골 레지스트레이션을 위해서 근위의 대퇴골 외부 표면 상의 포인트-클라우드를 피킹하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 특정 대퇴골 레지스트레이션 방법(1200)은 내부 골 표면의 세그먼트화를 포함하지 않는다. 도 13의 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이, 복수 개의 의료용 이미지의 의료용 이미지(1300)가 환자의 근위의 대퇴골(1302)에 대해서 촬영된다. 의료용 이미지(1300) 내의 근위의 대퇴골(1302)의 외부 골 표면(1304)이 세그먼트화되고, 대퇴골 도관의 대퇴골의 해부학적 Z-축(1306)이 복수 개의 의료용 이미지로부터 결정된다. 도면은 근위의 대퇴골(1302) 상의 포인트-클라우드의 복수 개의 포인트(1308)도 표시한다. 복수 개의 포인트(1308)는 대퇴골의 헤드부, 대퇴골의 목부, 및 더 큰 전절의 부분들을 따라서 이격된다.

[0077] 레지스트레이션 방법(1200)의 단계 1202가 수술 전에 일어나지만, 단계 1204 내지 1208은 수술 중에 일어난다. 도 12의 단계 1204는 근위의 대퇴골을 대퇴골 임플란트 컴포넌트의 스템의 이식을 위해서 완전히 절제된 햅틱 볼륨보다 작은 볼륨 내에서 엔드-이펙터의 버얼을 사용하여 절제하는 것을 포함한다. 단계 1204의 절제의 더 작은 볼륨은 포인트 피킹을 위해서 체강을 비우도록 의도된다. 또한, 단계 1204에서, 외과의는 추적기 메커니즘을 골수 도관 내에 삽입할 수 있다. 도 13의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 대퇴골의 도관 내의 초기 볼륨(1310)은 엔드-이펙터의 버얼을 통해서 절제된다. 초기 볼륨(1310)은 대퇴골 임플란트 컴포넌트의 스템의 이식을 위해서 사용될 전체 절제 볼륨(1312)보다 적다. 초기 볼륨(1310)이 절제된 이후에, 추적기 메커니즘 또는 툴(1314)이 대퇴골의 도관 내에 삽입된다. 도 13의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 추적기 메커니즘(1314)은 원위의 확대 메커니즘, 원위의 위치설정 메커니즘으로부터 가깝게 연장되는 샤프트, 및 추적기 메커니즘의 근단부에 있는 추적기를 포함한다. 추적기 메커니즘(1314)은 위치설정 메커니즘이 초기 볼륨(1310)을 통과하여 대퇴골의 도관의 골 내로 연장되도록 대퇴골의 도관 내에 삽입될 수 있다.

[0078] 도 12의 단계 1206은 추적기 메커니즘(1314)을 대퇴골의 내측 상의 피질 골 표면과 정렬시키는 것을 포함할 수 있다. 도 13의 (c)를 참조하는데, 이것은 샤프트가 대퇴골의 해부학적 Z-축(1306)과 대체로 평행하도록 대퇴골의 도관 내에서 측방향으로 확장된 배향 상태인 추적기 메커니즘(1314)을 도시한다. 도면에 보이는 바와 같이, 원위의 위치설정 메커니즘(1314)은 대퇴골(1302)의 내부 피질 골 표면과 접촉하도록 반경방향 바깥으로 확장되도록 구성되는, 길이 방향으로(샤프트와 평행함) 연장되는 복수 개의 부재를 포함할 수 있다. 복수 개의 부재는 복수 개의 부재가 대퇴골의 피질 골 표면과 접촉하고 있다는 것을 검증하기 위하여 의료용 이미징에서 관찰될 수 있는 복수 개의 마커를 가질 수 있다. 도면에 보이는 바와 같이, 복수 개의 부재가 피질 골 표면과 접촉하는 경우, 원위의 위치설정 메커니즘으로부터 가깝게 연장되는 근위에는 대퇴골의 해부학적 Z-축(1306)과 평행하다. 특정한 경우에, 골 접촉 포인트의 위치는 추적기 메커니즘(1314) 내에서 추적될 수 있다. 메커니즘(1314)은 중심점을 임의의 주어진 위치에 레지스트레이션하기 위해서 도관 내에서 툴의 중심을 잡을 수 있는 두 개, 세 개, 또는 그 이상의 접촉 포인트를 포함할 수 있다. 이러한 실례에서, 툴 축은 필요하지 않을 수 있다.

특정한 경우에, 추적기 메커니즘(1314) 상의 접촉 포인트는 팽창가능할 수 있는 스프링일 수 있고, 틀이 도관 내에 삽입될 때 골의 내부 벽을 능동적으로 추적 및 매핑한다.

- [0079] 다시 도 12로 돌아가면, 레지스트레이션 방법(1200)은 단계 1206에서 반복 현존하는 포인트-클라우드 및 대퇴골의 해부학적 Z-축 결정을 가지고 최근접 포인트(ICP) 계산을 실행하는 것을 더 포함할 수 있고, 레지스트레이션 변환은 이에 따라서 업데이트될 수 있다.
- [0080] 도 12의 단계 1208은 추적기 메커니즘(1314)을 제거하고 대퇴골의 도관의 잔여 부분을 최종 절제 볼륨으로 절제함으로써 골 준비를 마무리하는 것을 포함할 수 있고, 이것은 레지스트레이션 변환에 기반하여 업데이트되었을 수 있다. 도 13의 (d)에서 볼 수 있는 바와 같이, 근위의 대퇴골(1302)은 대퇴골 임플란트 컴포넌트의 스템의 이식을 위하여 최종 절제 볼륨(1316)으로 완전히 절제될 수 있다.
- [0081] 다른 대퇴골 레지스트레이션 방법(1330)이 도 13e에 도시된다. 도 13e에서 볼 수 있는 바와 같이, 레지스트레이션 방법(1330)은 다음 동작 또는 단계를 포함할 수 있다. 특정한 경우에, 방법(1330)은 이미징 좌표계 내의 환자의 뼈의 컴퓨터 모델에 상대적으로 임플란트의 배치를 계획하는 것(1)을 포함할 수 있다. (1)에서의 이식 계획은 계획된 초기 대퇴골 도관 준비(2a)(도관 레지스트레이션에서 사용될 것임) 및 계획된 전체 준비(2b)(임플란트 스템을 수용하기 위함)를 이미징 좌표계 내에서 제공할 수 있는데, 그 이유는 대퇴골의 도관의 두 개의 계획된 준비가 전체 이식 계획에 관련될 수 있기 때문이다. 전체 준비(2b) 및 도관 준비(2a) 사이의 차이(예를 들어, 볼륨 차이)도 이미징 공간(2c) 내에서 계산될 수 있다.
- [0082] 도 13e에서의 방법(1330)으로 계속 진행하면, 이식 플래닝(또는 수술전 플래닝이라고도 알려져 있음)(1) 이후에, 외과의는 근위의 대퇴골을 임의의 알려진 레지스트레이션 방법을 사용하여 레지스트레이션할 수 있다(3). 근위의 대퇴골 레지스트레이션(3)으로부터, 골 좌표계(골 CS A)로의 근위의 레지스트레이션 변환이 계산된다(4). (4)로부터의 근위의 레지스트레이션 변환을 사용하여, (2)로부터의 계획된 대퇴골 도관 준비가 골 CS A로 변환된다(5). (5)로부터 골 CS A에서의 대퇴골 도관 준비 계획을 알기 때문에, 시스템은 이제 대퇴골의 근위의 도관을 (2a)에서 결정된 계획된 도관 준비에 따라서 물리적으로 버얼링(burring out)함으로써 도관을 골 CS A 내에서 준비할 수 있다(6).
- [0083] 근위의 대퇴골의 도관이 버얼링되거나 다른 방식으로 준비되면, 외과의는 이제 버얼링에 의해 이제 노출되는 내부 골(7)을 레지스트레이션할 수 있다. (3)에서의 근위의 레지스트레이션은 (7)에서의 내부 골 레지스트레이션과 결합되어, 골 CS B로의 전체 골 레지스트레이션 변환을 계산할 수 있다(8). (8)로부터의 전체 골 변환이 있으면, (2a)로부터의 전체 골 준비 계획이 골 CS B로 변환된다(9).
- [0084] (10)의 판정 박스는 디자인이 전체 준비 또는 오직 잔여 준비 사이에서 분할될 수 있는 경우를 규정한다.
- [0085] 실례 #1에서: 전체 골 준비를 준비한다(이전에 준비된 도관은 무시함). (9)로부터 골 CS B에서의 전체 준비 계획을 알기 때문에, 시스템은 이제 (2b)로부터의 전체 준비 계획에 따라서 근위의 대퇴골의 도관을 물리적으로 버얼링함으로써, 골 CS B에서의 전체 준비 계획에 따라서 근위의 대퇴골을 준비한다(11). 골의 레지스트레이션 및 준비는 이러한 제 1 실례에서 완료된다.
- [0086] 실례 #2 또는 #3이 이제 설명될 것이다.
- [0087] (16)의 판정 박스는 근위의 레지스트레이션(골 CS A) 및 전체 레지스트레이션(골 CS B) 사이의 변환에 대한 정정이 있거나 없는 잔여 골의 준비 사이에서 디자인이 분할될 수 있는 경우를 규정한다.
- [0088] 실례 #2: 변환 정정과 함께 잔여 골을 준비함. (4)로부터의 골 CS A 및 (8)로부터의 골 CS B 사이의 차이가 계산된다. 전술된 변환 차이를 알기 때문에, 골 CS A에서의 대퇴골 도관 준비(5)가 골 CS B로 변환될 수 있다(13). 골 CS B에서의 잔여 골은 골 CS B에서의 도관 준비(13)를 골 CS B에서의 전체 계획된 준비(9)로부터 감산함으로써 계산될 수 있다(14). 골 CS B에서의 잔여 골을 알기 때문에, 시스템은 이제 근위의 대퇴골 도관 내의 잔여 골을 전체 준비 계획에 따라서 버얼링함으로써 잔여 골을 골 CS B(15) 내에서 준비할 수 있다. 골의 레지스트레이션 및 준비는 이러한 제 2 실례에서 완료된다.
- [0089] 실례 #3: 변환 정정이 없이 잔여 골을 준비함. (2c)로부터의 계획된 잔여 골이 (8)로부터의 변환에 대해서 알고 있으면서 골 CS B로 변환된다. 그러면, 시스템은, 골 CS A 및 골 CS B 사이의 차이가 최소이고 이러한 차이 때문에 임의의 준비되지 않은 골이 부유되고(floating) 도관으로부터 제거될 수 있다는 가정과 함께 골 CS B 내의 가정된 잔여 골을 준비할 수 있다(17). 골의 레지스트레이션 및 준비는 이러한 제 3 실례에서 완료된다.
- [0090] 다른 대퇴골 레지스트레이션 방법(1340)이 도 13f에 도시된다. 방법(1340)의 제 1 단계(1342)는, 예를 들어 전

체 고관절 교체와 같은 관절성형 프로시저를 수술 전에 계획하는 것이다. 특히, 단계 1342는 수술전 좌표계 내에서 환자의 대퇴골에 상대적인 대퇴골 임플란트의 임플란트 배치를 계획하는 것을 포함할 수 있다. 이것은 다른 변수들 중에서 임플란트 크기, 형상, 타입, 및 제조사를 선택하는 것을 포함할 수 있다. 또한, 이식의 수술전 플래닝은, 임플란트 모델(예를 들어, 제조사에 의해 제공되는 물리적 임플란트의 가상 3-차원 임플란트 모델)을 환자의 골 모델(예를 들어, 환자의 물리적 대퇴골을 나타내는 가상 3-차원 골 모델)에 상대적으로 가상적으로 위치시키고 배향하는 것을 포함할 수 있다. 임플란트 모델은 제조사에 의해 제공될 수 있다. 환자의 골 모델은 환자의 다리의 수술전 스캔으로부터 생성될 수 있다. 환자의 골 모델은 통계적 모델, 총괄적인 모델, 또는 환자의 물리적 골의 형상, 크기, 및 구조를 나타내거나 근사화하는 다른 타입의 모델로부터 생성될 수 있다.

[0091] 특정한 수술 결과를 달성하기 위하여 최종 이식 위치 및 배향이 결정되면, 최종 이식 위치 및 배향을 달성하기 위한 수술 계획이 결정될 수 있다. 예를 들어, 최종 이식 위치 및 배향은 대퇴골의 도관으로부터 제거될 골의 대응하는 위치 및 배향을 결정하여, 소망되거나 계획된 최종 이식 위치 및 배향을 얻기 위하여 대퇴골 임플란트의 스템이 그 안에서 정확하게 위치설정될 수 있게 한다.

[0092] 수술전 플래닝 단계(1342)의 일부로서, 방법(1340)은 단계 1344에서 초기 도관 준비 계획을 플래닝 또는 결정하는 것을 더 포함할 수 있다. 초기 도관 준비 계획은 수술 계획의 제 1 골 제거 계획이라고도 불릴 수 있다. 실제의 물리적 수술에서, 대퇴골의 도관은, 예를 들어 대퇴골 임플란트의 스템이 궁극적으로 위치될 위치에서 길이 방향으로 천공(boring)됨으로써 준비될 것이다. 본 명세서에서 설명된 바와 같이, 대퇴골의 도관 다음의 적어도 두 가지 단계에서 준비될 것이다: 레지스트레이션 목적을 위한 초기 도관 준비; 및 대퇴골 임플란트의 이식을 위한 최종 도관 준비. 초기 도관 준비 계획을 결정하는 단계(1344)는 대퇴골의 도관의 부분적인 골 제거를 위한 좌표 위치를 결정하는 것을 포함할 수 있다. 단계(1344)는 대퇴골의 도관으로부터 골을 제거하는 것을 가능하게 하기 위하여 수술용 디바이스를 위한 절삭 경로를 결정하는 것을 더 포함할 수 있다. 좌표 위치 및 절삭 경로는 최종 이식 위치 및 배향을 계획하기 위하여 사용되는 수술전 골 모델에 상대적으로 좌표계 내에서 규정될 수 있다. 본 명세서에서 설명된 바와 같이, 초기 도관 준비 계획은 대퇴골 임플란트의 스템의 이식을 위해 필요한 전체 도관 준비보다 더 적은 골 제거(예를 들어, 더 적은 깊이, 더 적은 직경)를 포함하는 부분적인 도관 준비만을 포함할 수 있다.

[0093] 초기 도관 준비 계획이 대퇴골의 도관의 전체 준비와 반대인 대퇴골의 도관으로부터의 부분적인 골 제거가 되어야 하는 하나의 이유는, 부분적인 골 제거가 대퇴골의 도관의 전체 준비 이전에 발생하는 대퇴골의 도관으로부터의 데이터를 수반하는 추가적 레지스트레이션 단계를 허용한다는 것이다. 이러한 내부 대퇴골의 도관의 추가적 레지스트레이션은 더 정확한 레지스트레이션 프로세스, 그리고 따라서 대퇴골의 도관의 더 정확한 전체 준비를 초래할 수 있다. 적어도 이러한 이유 때문에, 골 제거의 수술전 플래닝은 적어도, 대퇴골의 도관으로부터의 골의 부분적인 제거를 위한 계획을 포함하는 제 1 골 제거 계획(레지스트레이션 목적을 위함), 및 수술 전에 계획되었던 최종 이식 위치 및 배향을 달성하기 위하여 대퇴골의 도관으로부터 골을 완전 제거하기 위한 계획을 포함하는 제 2 골 제거 계획으로 분할될 수 있다.

[0094] 방법(1340)의 다음 단계(1346)는 최종 도관 준비 계획을 플래닝 또는 결정하는 것을 포함할 수 있다. 최종 도관 준비 계획은 수술 계획의 제 2 골 제거 계획이라고도 불릴 수 있다. 또는, 최종 도관 준비 계획은 레지스트레이션-후 도관 준비 계획이라고도 불릴 수 있다. 방법(1340)의 이러한 단계(136)는 단계(1344)로부터의 초기 도관 준비를 벗어나는 대퇴골의 도관의 준비를 위한 계획을 포함한다. 특정한 경우에, 이러한 단계(1346)는 도관이 대퇴골 임플란트의 스템을 수용하도록 충분히 천공되게끔 대퇴골의 도관을 준비하기 위한 계획을 포함한다.

[0095] 단계(1346)는 다음과 같은 여러 하위단계를 포함할 수 있다: 단계 1348에서의 무브로치(broachless) 대퇴골의 준비 계획을 플래닝하는 것; 단계 1350에서 단일 브로치 준비 계획을 플래닝하는 것; 단계 1352에서 전체 도관 준비 계획을 플래닝하는 것; 및 단계 1354에서 잔여 골 도관만의 준비 계획을 플래닝하는 것. 이러한 하위단계들 각각이 차례대로 설명될 것이다.

[0096] 단계 1346에서 최종 도관 준비 계획을 결정할 때, 이러한 방법은 단계 1348에서의 무브로치 준비 계획을 포함할 수 있다. 이러한 단계(1348)에서, 대퇴골의 도관은 외과의의 수동 브로칭(manual broaching)이 없이 완전히 로봇식으로 준비되도록 계획된다. 이러한 방식으로, 골의 부분이 외과의의 수동 준비를 위하여 남겨지지 않는다; 다르게 말하면, 전체 최종 준비 계획(전체 도관 준비이거나 잔여 골 도관만의 준비임)은 로봇식으로 준비된다.

[0097] 무브로치 준비 계획에 대한 대체예로서, 최종 도관 준비 계획은 단계 1350에서 단일 브로치 준비 계획을 포함할

수 있다. 이러한 단계(1350)에서, 대퇴골의 도관은 외과에 의해 수동으로 수행되는 최종 브로치(final broach)가 있는 로봇식 제어에 의하여 부분적으로 준비되도록 계획된다. 이러한 방식으로, 임플란트를 이식하기 위하여 필요한 골 제거의 작은 부분이 최종 도관 준비 계획으로부터 빠져나와서 외과가 최종 브로치를 수동으로 수행할 수 있게 한다. 전통적인(비-로봇식) 수술에서는, 외과가 대퇴골의 도관을 준비하기 위하여 증가하는 크기를 가지는 일련의 브로치를 사용할 수 있다. 이러한 경우에, 최종 (단일) 브로치가 활용될 수 있는데, 그 이유는 최종 도관 준비 계획이 브로치에 대한 필요성이 없이 로봇식으로 수행되었기 때문이다. 외과가 대퇴골의 도관의 최종 브로치를 수행하게 하면, 외과가 임플란트 맞춤에 대해 임의의 최종 조절을 할 수 있게 되고, 또한 외과가 브로칭(broaching)을 하면서 임플란트 맞춤을 시험할 수 있기 때문에, 로봇식 준비를 통해서 도관으로부터 너무 많은 골이 제거되는 가능성이 줄어들 수 있다.

[0098] 최종 도관 준비 계획이 단계 1348에서 무브로치 계획을 포함할 것인지, 또는 단계 1350에서 단일 브로치 계획을 포함할 것인지 여부를 결정하는 것과 별개로, 최종 도관 준비 계획(1346)은, 단계 1352에서 전체 대퇴골의 도관의 준비(초기 도관 준비의 구역으로부터의 골 제거를 포함함)를 계획할지, 또는 단계 1354에서 골 도관의 잔여 골(초기 도관 준비에 의하여 제거되지 않았던 골)만의 준비를 계획할지를 결정하는 것을 더 포함할 수 있다.

[0099] 단계 1352에서, 최종 도관 준비 계획은 전체 대퇴골의 도관의 준비를 계획하는 것을 포함할 수 있다. 이것은 이전에 초기 도관 준비 계획에 의해 준비되었던 대퇴골의 도관을 준비하는 것을 포함할 수 있다. 차이점은, 제 1 레지스트레이션과 비교할 때 더 많은 레지스트레이션 데이터(예를 들어, 대퇴골의 내부 도관 및 외부 표면 양자 모두로부터의 레지스트레이션 데이터)를 포함하는 제 2 레지스트레이션이 일어나서, 제 2 골 제거 계획을 포함하는 수술전 좌표계로부터의 수술 계획을 수술 좌표계(operative coordinate system)로 매핑하는 정확도를 높일 수 있다는 것이다. 따라서, 제 2 레지스트레이션에 후속하는 골 제거의 정확도가 개선될 수 있다. 그러므로, 전체 대퇴골의 도관의 준비를 계획하면, 초기 도관 준비 계획에서 제거될 것으로 처음에 계획되었던 골의 부분을 다시 밀링하거나 다시 제거함으로써 이점이 있을 것이다.

[0100] 단계 1344에서 초기 도관 준비 계획에서 제거될 것으로 처음에 계획되었던 골의 부분을 다시 제거하는 것에 추가하여, 단계 1352에서 전체 대퇴골의 도관에 대한 준비를 계획하는 것은 대퇴골 임플란트의 스템을 이식하기에 충분한 골의 잔여 부분의 골 제거를 위한 좌표 위치를 계획하는 것을 포함할 수 있다. 단계 1352에 따른 전체 대퇴골의 도관의 준비를 포함하는 최종 도관 준비 계획이 단계 1348에 따른 무브로치 준비 계획 또는 단계 1350에 따른 단일 브로치 준비 계획을 포함할 수 있다는 것에 주의한다.

[0101] 단계 1354에서, 최종 도관 준비 계획은 대퇴골의 도관의 잔여 골만의 준비를 계획하는 것을 포함할 수 있다. 이것은 이전에 초기 도관 준비 계획에 의해 준비되지 않았던 대퇴골의 도관을 준비하는 것을 포함할 수 있다. 특정한 경우에, 제 2 레지스트레이션으로부터 큰 정확도 개선이 없을 수 도 있다; 따라서, 단계 1352에서의 전체 도관 준비 계획에서 수행되는 것처럼 골을 재준비하기 위해서 걸리는 시간이 늘어나는 것은 정확도가 조금 증가하는 것의 가치가 없을 수도 있다. 그러나, 제 2 레지스트레이션으로부터의 정확도 개선이 크게 증가되면, 이것은 전체 도관의 준비가 유용하다는 것을 표시할 수 있다.

[0102] 단계 1354에서 대퇴골의 도관의 잔여 골만의 준비를 위해 계획하는 것은, 대퇴골 임플란트의 스템의 이식을 위해 충분한 골의 잔여 부분의 골 제거를 위한 좌표 위치를 계획하는 것을 포함할 수 있다. 단계 1354에 따른 대퇴골의 도관의 잔여 골만의 준비를 포함하는 최종 도관 준비 계획이 단계 1348에 따른 무브로치 준비 계획 또는 단계 1350에 따른 단일 브로치 준비 계획을 포함할 수 있다는 것에 주의한다.

[0103] 일 실례에서, 최종 도관 준비 계획은 단계 1352에 따라서 전체 대퇴골의 도관을 준비하기 위하여 계획하는 것, 및 단계 1348에 따르는 무브로치 준비 계획을 가지는 것을 포함할 수 있다. 일 실례에서, 최종 도관 준비 계획은 단계 1352에 따라서 전체 대퇴골의 도관을 준비하기 위하여 계획하는 것, 및 단계 1350에 따르는 단일 브로치 준비 계획을 가지는 것을 포함할 수 있다. 일 실례에서, 최종 도관 준비 계획은 단계 1354에 따라서 대퇴골의 도관의 잔여 골만을 준비하기 위하여 계획하는 것, 및 단계 1348에 따르는 무브로치 준비 계획을 가지는 것을 포함할 수 있다. 일 실례에서, 최종 도관 준비 계획은 단계 1354에 따라서 대퇴골의 도관의 잔여 골만을 준비하기 위하여 계획하는 것, 및 단계 1350에 따르는 단일 브로치 준비 계획을 가지는 것을 포함할 수 있다.

[0104] 단계 1342에서 수술전 플래닝이 완료된 이후에, 수술이 시작될 수 있다. 수술의 일부로서, 단계 1356에서 대퇴골의 트랙 환자의 뼈에 설치되거나 커플링될 수 있다. 대퇴골 추적기는, 수술용 로봇이 수술 좌표계에서의 환자의 뼈의 근접도를 공간적으로 알 수 있도록 수술용 네비게이션 시스템에 대한 레퍼런스를 제공한다.

[0105] 추적기가 설치되면, 대퇴골의 근위의 골이 단계 1358에서 레지스트레이션된다(이것이 고관절로부터 이미 어긋나

있다고 가정함). 좀 더 자세하게 설명하면, 대퇴골의 헤드부는 대퇴골의 헤드부의 외부 표면 상의 포인트를 수술용 디바이스(예를 들어, 추적된 포인터, 로봇 암의 엔드 이펙터)로 수집, 로깅, 캡처함으로써 레지스트레이션될 수 있다. 캡처된 포인트(레지스트레이션 데이터라고도 알려짐)는 데이터의 포인트-클라우드 내에 저장될 수 있고, 대퇴골의 헤드부의 외부 표면 상의 그들의 위치에 따라서 서로에 대해서 공간적으로 배향될 수 있다. 레지스트레이션될 표면의 형상을 근사화하기 위하여 충분한 수의 포인트가 수집된다.

[0106] 수술용 네비게이션 시스템은 캡처된 포인트를 대퇴골 추적기에 상대적으로 공간적으로 위치결정할 수 있다. 단계 1344로부터의 내부 도관 준비 계획은 환자의 대퇴골을 나타내는 수술전 골 모델에 상대적으로 규정된다. 따라서, 레지스트레이션의 목표는 수술전 수술 계획(예를 들어, 내부 도관 준비 계획)을 수술 계획이 수술전 골 모델에 상대적으로 가졌던 것과 동일한 위치 및 배향에 있는 실제 대퇴골에 상대적인 수술 좌표 공간으로 정확하게 변환하거나 매핑하는 것이다. 이러한 방식으로, 수술용 로봇 암 및 수술 계획이 동일한 좌표계에 있게 되고, 로봇 암은 단계 1342에서 수술 전에 계획된 것처럼 대퇴골의 준비를 달성하기 위해서 실제 환자의 뼈에 수술 계획을 수행하도록 작동될 수 있다.

[0107] 근위의 대퇴골 상에서 포인트가 획득되면, 시스템의 컴퓨터는 단계 1360에서 레지스트레이션 변환을 근위의 대퇴골 상의 캡처된 포인트에 기반하여 계산한다. 레지스트레이션 변환은 수술전 좌표계로부터의 초기 도관 준비 계획과 연관된 좌표 포인트를 수술 좌표계에서의 물리적 대퇴골 상의 캡처된 포인트로 매핑하는 수학적 알고리즘이다. 레지스트레이션 변환을 위하여, 초기 도관 준비 계획을 포함하는 단계 1344로부터의 수술 계획은 단계 1362에서 수술 좌표계로 변환되거나 매핑된다.

[0108] 초기 도관 준비 계획이 수술 좌표계에서 규정되면, 방법(1340)은 이제 단계 1364에서 근위의 대퇴골 내의 초기 도관을 초기 도관 준비 계획에 따라 준비하는 것을 포함한다. 단계 1344에 대해서 설명된 바와 같이, 초기 도관 준비 계획은 임플란트의 스템을 이식하기 위한 대퇴골의 도관의 전체 준비보다 적은 대퇴골의 도관의 부분적인 준비를 포함할 수 있다. 예를 들어, 수술용 로봇의 로봇 암은 더 큰 전절을 통하여 그리고 중앙 도관(즉, 대퇴골의 도관) 내로 천공하거나 밀링하기 위해서 사용될 수 있다. 예를 들어, 골은 피질 골의 내부 표면에 도달하기까지 원위에서 밀링될 수 있다. 피질 골은 피질 골에 도달하는 해면 골보다 훨씬 강하다; 따라서, 이것은 프로시저 도중에 용이하게 식별된다. 내부 피질 골도 수술전 골 모델에서 용이하게 식별된다. 그러므로, 내부 피질 골은 근위의 대퇴골 상의 레지스트레이션 포인트와 결합될 수 있는 레지스트레이션용 영역을 제공한다. 결합된 포인트들은 더 정확한 레지스트레이션 변환을 생성하기 위해서 유익할 수 있는데, 그 이유는 포인트들이 서로 이격되고, 골의 상이한 표면(내부 및 외부) 상에 있기 때문이다. 대퇴골의 헤드부가 여전히 비손상 상태이기 때문에(즉, 아직 절제되지 않음), 근위의 대퇴골 및 중앙 도관의 레지스트레이션이 가능해진다.

[0109] 중앙 도관의 초기의 부분적인 준비 이후에, 방법(1340)은 단계 1366에서 내부 도관을 레지스트레이션하는 것을 포함할 수 있다. 내부 도관은 임의의 여러 방식으로 레지스트레이션될 수도 있다. 일 예로서, 수술용 디바이스(예를 들어, 추적된 프로브, 수술용 암의 엔드 이펙터, 이전에 설명된 디바이스 중 임의의 것)는 대퇴골의 도관의 내부 피질 골 표면 상의 포인트를 수집, 로깅, 또는 캡처하기 위하여 사용될 수 있다. 다른 예로서, 수술용 디바이스(예를 들어, 추적된 프로브, 수술용 암의 엔드 이펙터, 이전에 설명된 디바이스 중 임의의 것)는 대퇴골의 도관과 연관된 배향 데이터를 수집, 로깅, 또는 캡처하기 위하여 사용될 수 있다. 배향 데이터는 대퇴골의 도관의 축, 예컨대 세로축일 수 있다. 캡처된 포인트 및/또는 배향 데이터는 레지스트레이션 데이터로서 규정될 수 있다. 레지스트레이션 데이터는 컴퓨터 내에 데이터의 포인트-클라우드로서 저장될 수 있다.

[0110] 내부 골이 레지스트레이션되면, 방법(1340)은 대퇴골의 도관으로부터의 레지스트레이션 데이터(예를 들어, 캡처된 포인트) 및 근위의 대퇴골의 외부 표면으로부터의 레지스트레이션 데이터(예를 들어, 캡처된 포인트 및/또는 배향 데이터)를 사용하여 레지스트레이션 변환을 계산하는 것을 포함할 수 있다. 단계 1368에서 제 2 레지스트레이션 변환이 단계 1360에서의 제 1 레지스트레이션과 비교할 때 내부 도관으로부터 추가 데이터를 포함하기 때문에, 레지스트레이션 변환은 제 1 레지스트레이션 변환과 비교할 때 정확도를 개선시켰을 수 있다.

[0111] 단계 1370에서, 방법(1340)은 단계 1346으로부터의 최종 도관 준비 계획을 단계 1368의 계산된 레지스트레이션 변환에 기반하여 수술 좌표계로 변환 또는 매핑하는 것을 포함할 수 있다. 이러한 단계는, 최종 도관 준비 계획에 대한 골 제거를 위한 수술전 좌표계에서의 좌표 위치 및/또는 명령을, 수술 계획이 수술전 골 모델에 상대적으로 배향되고 위치되었던 것과 동일한 위치 및 배향에 있는 수술 좌표계로 매핑한다. 이러한 방식으로, 최종 도관 준비 계획은 환자의 대퇴골 및 수술용 로봇이 있는 수술 좌표계 내에 있게 된다.

[0112] 최종 도관 준비 계획을 수술 좌표계로 변환한 이후에, 방법(1340)은 단계 1372에서 최종 도관 준비 계획에 따라서 대퇴골을 준비하는 것을 포함할 수 있다. 대퇴골이 어떻게 준비되는지는 단계 1346에서 수술 전에 정의된

바와 같은 최종 도관 준비 계획의 파라미터에 의존한다. 단계 1352에서의 전체 도관의 수술 전에 계획된 준비를 위하여, 전체 도관의 물리적 준비가 단계 1374에서 일어날 것이다. 이러한 단계에서, 전체 대퇴골의 도관은 밀링되거나 다른 방식으로 제거될 수 있다. 이것은 단계 1364에서 이전에 제거되었던 골의 이전의 부분을 밀링하는 것, 및 이전에 제거되지 않았던 잔여 골을 준비하는 것을 포함한다. 이전에 설명된 바와 같이, 단계 1364에서의 초기 도관 준비는, 도관과 연관된 골 표면 또는 축들을 레지스트레이션하기 위한 목적인 대퇴골의 도관의 오직 부분적인 준비에 해당했다. 대퇴골 도관의 최종 준비는 대퇴골 임플란트의 스템을 수용하도록 충분한 골을 제거하는 것이다. 이전에 설명된 바와 같이, 전체 도관 준비는 대퇴골의 외부 및 내부 부분으로부터의 데이터를 수반하는 제 2 레지스트레이션을 이용할 수 있다. 따라서, 전체 대퇴골 준비는 대퇴골의 처음에 준비된 부분으로부터 골을 여전히 제거할 수 있는데, 그 이유는 좌표가 후속 레지스트레이션에 기인하여 변했을 수 있기 때문이다.

[0113] 단계 1354에서의 대퇴골 도관의 오직 잔여 골의 수술 전에 계획된 준비를 위하여, 잔여 골의 물리적 준비가 단계 1376에서 일어날 것이다. 이러한 단계에서, 이전에 제거되지 않았던 대퇴골 도관의 잔여 골 또는 부분은 대퇴골 임플란트의 스템을 위한 공간을 생성하도록 준비된다(즉, 제거됨). 이것은 이전에 제거되지 않았던 골의 부분의 대퇴골의 도관 내로 밀링해 들어가는 것을 포함할 수 있다. 이러한 단계는 근위의 대퇴골 외부 상의 포인트로써 계산되었던 제 1 레지스트레이션 변환을 사용할지, 또는 근위의 대퇴골의 외부 상의 포인트 및 대퇴골의 도관으로부터 취해진 대퇴골의 도관 데이터로써 계산되었던 제 2 레지스트레이션 변환을 사용할지를 판단하는 하위단계(1378)를 포함할 수 있다.

[0114] 대퇴골의 도관의 물리적 준비에 후속하여, 그리고 대퇴골의 헤드부의 절제 이전에, 방법(1340)은 단계 1380에서 목부의 수동 절제를 위한 준비에서 대퇴골의 목부를 마킹하는 것을 포함할 수 있다. 로봇식 고관절 수술에서, 대퇴골 추적기는 대퇴골의 헤드부에 커플링될 수 있다. 그리고, 따라서 추적기가 대퇴골의 잔여 부분의 위치를 더 이상 정확하게 식별할 수 없을 것이기 때문에, 로봇식 네비게이션은 대퇴골의 헤드부가 절제될 때 기능을 중지할 것이다. 적어도 이러한 이유 때문에, 대퇴골의 목부가 로봇식으로 제어되고 네비게이션되는 유도를 통하여 마킹되어(예를 들어, 에칭되어) 목부를 수동으로 절제할 때 외과의에게 가이드를 제공한다. 대퇴골의 목부 마크는 계획된 절제 평면에 나란한 골 내의 에칭 또는 버얼일 수 있다. 에칭 또는 버얼은 골을 완전히 절제하지 않는 골 내의 절삭일 수 있다. 즉, 골 내로 절삭된 것은 피질 골을 통과해서 연장하지 않을 수 있다. 그 대신에, 절삭부는 외과의가 톱 블레이드의 정확한 배치를 사용하거나 검증하기 위한 가시적인 마크를 제공한다.

[0115] 대퇴골의 수동 준비가 단계 1382에 표시된다. 목부 절제는 단계 1384에서 표시되고, 외과의가 목부에 있는 대퇴골의 헤드부를 수동으로 절제하기 위한 추가적인 가이드 또는 지그가 있거나 없는 골 톱(bone saw)을 사용하는 것을 포함할 수 있다. 단일 브로치 준비 계획이 단계 1350에서의 단일 브로치 준비 계획에 포함되면, 외과의는 이제 대퇴골의 도관을 단계 1386에서 브로치(broach)할 수 있다. 네비게이션된 로봇이 대퇴골의 도관 준비의 나머지를 준비했기 때문에, 임플란트 시험(trialing) 및 임플란트 맞춤(fitting) 이전의 도관의 수동 준비의 유일한 남은 부분은 외과의가 단일 브로치를 사용하여 골의 마지막 잔여 부분을 제거하는 것이다. 그러면, 외과의가 브로치할 때에 외과의에게 대퇴골의 도관 및/또는 임플란트를 시험하는 것에 미소 조절을 할 수 있어서 정확한 임플란트 맞춤을 제공할 가능성이 제공된다.

[0116] 다음은 도 13f의 방법(1340)을 구현하는 예시적인 시스템의 설명이다. 시스템은 수술용 로봇과 같은 수술용 디바이스, 및 대퇴골과 같은 환자의 뼈를 레지스트레이션할 수 있다. 대퇴골은 대퇴골의 헤드부, 목부, 및 더 큰 전절 같은 외부 표면을 포함할 수 있다. 대퇴골은 내부 도관 또는 대퇴골의 도관을 더 포함할 수 있다. 수술용 디바이스 및 대퇴골은 동일한 수술 좌표계(예를 들어, 수술실) 안에 있다. 시스템은 수술용 네비게이션 시스템 및 수술용 디바이스와 통신하는 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스를 포함할 수 있다. 수술용 네비게이션 시스템은 추적 디바이스 및 이동 중에 추적 디바이스에 의해 추적되도록 구성되는 적어도 하나의 톨(예를 들어, 추적된 프로브, 수술용 로봇 및/또는 환자 위에 위치된 추적 어레이)을 포함할 수 있다. 수술용 네비게이션 시스템은 수술용 디바이스 및/또는 수술용 디바이스 상의 추적 어레이를 추적하도록 더 구성된다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 가상 좌표 공간에서의 수술 계획을 저장한다. 수술 계획은 도 13f의 방법(1340)의 단계 1342로부터의 임플란트 배치의 수술전 플래닝으로부터의 데이터를 포함할 수 있다. 수술 계획은 제 1 골 제거 계획이라고도 알려져 있는 초기 도관 준비 계획을 도 13f의 방법(1340)의 단계 1344에서 더 포함할 수 있다. 수술 계획은 제 2 골 제거 계획이라고도 알려져 있는 최종 도관 준비 계획을 도 13f의 방법(1340)의 단계 1346에서 더 포함할 수 있다. 제 2 골 제거 계획은 목부 에치 계획과 같은 다른 단계 중에서, 단계 1348에서의 무브로치 준비 계획을 위한 계획, 단계 1350에서의 단일 브로치 준비 계획, 단계 1352에서의 전체 도관 준비 계획, 및/또는 단계 1354에서의 잔여 골 준비 계획을 포함할 수 있다.

[0117] 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 다음을 수행하도록 구성된다: a) 대퇴골의 외부 표면 상의 위치에 대응하는 외부 골 레지스트레이션 데이터를 수신하는 것. 이러한 골 레지스트레이션 데이터는 도 13f의 방법(1340)의 단계 1358로부터의 근위의 골의 레지스트레이션에 대응할 수 있다. 예를 들어, 외과의는 환자의 근위의 대퇴골(예를 들어, 헤드부, 목부) 상의 포인트를 수술 좌표계 내에서 수술용 네비게이션 시스템에 의해 추적되는 추적된 프로브를 사용하여 캡처, 수집, 또는 로깅할 수 있다. 그 다음에, 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 b) 외부 골 레지스트레이션 데이터에 기반하여 제 1 레지스트레이션 변환을 계산하도록 구성된다. 이러한 단계는 도 13f의 방법(1340)의 단계 1360에 대응할 수 있다. 그러면, 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 c) 수술 계획의 제 1 골 제거 계획을 제 1 레지스트레이션 변환에 기반하여 동작 좌표계로 변환할 수 있다. 이러한 단계는 도 13f의 방법(1340)의 단계 1362에 대응할 수 있다. 또한, 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 d) 대퇴골의 내부 도관으로부터의 위치 또는 배향 데이터 중 적어도 하나에 대응하는 내부 골 도관 레지스트레이션 데이터를 수신할 수 있다. 이러한 단계는 도 13f의 방법(1340)의 단계 1366에 대응할 수 있다. 예를 들어, 외과의는 대퇴골 도관의 최종 준비를 위해서 사용될 수 있는 추가적인 레지스트레이션 데이터를 제공하기 위하여 액세스 및 레지스트레이션하기 위한 목적으로 부분적으로 준비되었던 환자의 내부 대퇴골의 도관 상의 포인트를 캡처, 수집, 또는 로깅할 수 있다.

[0118] 또한, 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 e) 외부 골 레지스트레이션 데이터 및 내부 골 레지스트레이션 데이터 양자 모두에 기반하여 제 2 레지스트레이션 변환을 계산할 수 있다. 이러한 단계는 도 13f의 방법(1340)의 단계 1368에 대응할 수 있다. 그리고, 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 또한 f) 수술 계획의 제 2 골 제거 계획을 제 2 레지스트레이션 변환에 기반하여 동작 좌표계로 변환할 수 있다. 이러한 단계는 도 13f의 방법(1340)의 단계 1370에 대응할 수 있다.

[0119] 앞선 문단들에서 설명된 예시적인 시스템은 수술용 디바이스 및 환자의 뼈(예를 들어 대퇴골)의 레지스트레이션을 위한 컴퓨터-구현 방법으로서 추가적으로 또는 대안적으로 설명될 수도 있다. 컴퓨터-구현 방법은 여러 가지 중에서 단계 a) 내지 f)에서 적어도 하나의 컴퓨터에 의해 설명되는 단계들을 포함할 수 있다.

[0120] 앞선 문단들에서 설명된 예시적인 시스템은 앞선 문단들에서 설명된 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스와 같은 컴퓨팅 시스템에서 컴퓨터 프로세스를 수행하기 위한 컴퓨터-실행가능 명령을 저장하는 하나 이상의 유형의(tangible) 컴퓨터-판독가능 저장 매체인 것으로 추가적으로 또는 대안적으로 설명될 수도 있다. 컴퓨터 프로세스는 여러 가지 중에서, 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스에 대해서 설명된 단계 a) 내지 f)를 포함할 수 있다.

[0121] C. 골반의 추적 및 레지스트레이션

[0122] 1. 개관

[0123] 도 5의 단계 S4에서, 관골구 추적 어레이가 골반(12)에 부착되어 추적 디바이스(8)가 골반(12)의 움직임을 추적할 수 있게 한다. 단계 S5에서, 관골구 추적 어레이가 골반(12)에 상대적으로 이동되지 않았다는 것을 검증하기 위해서 수술 프로시저 중에 사용되도록 체크포인트가 골반(12)에 부착될 수 있다. 체크포인트는, 예를 들어 그 전체가 본 명세서에 원용에 의해 통합되는 미국 특허 출원 일련 번호 제 11/750,807(공개 번호 US 2008/0004633), 출원일 2007년 5월 18일에 설명된 체크포인트일 수 있다.

[0124] 단계 S6에서, 골반(12)은 골반(12)(물리적 공간)의 자세를 골반(12)의 3차원 모델(512)과 네비게이션 시스템(7)(이미지 공간) 내에서 상관시키도록 레지스트레이션된다. 특정 실시형태들에서, 도 6에 도시된 바와 같이, 레지스트레이션은 추적된 네비게이션 프로브(56)를 사용하여 골반(12)(이미지 공간)의 3차원 모델(512) 상의 대응하는 포인트와 매칭되는 골반(12)(물리적 공간) 상의 포인트를 수집함으로써 달성된다. 어떤 실시예에서는, 레지스트레이션은 로봇 암(30)의 엔드 이펙터(40)에 커플링되는 툴을 사용하여 달성될 수 있다. 어떤 실시예에서는, 레지스트레이션은 네비게이션 시스템(7)으로 추적되는 임의의 툴 또는 디바이스로 달성될 수 있다. 골반의 3차원 모델(512)(이미지 공간) 및 골반(12)(물리적 공간)을 레지스트레이션하기 위한 두 가지 방법이 본 출원의 후속 부분에서 설명된다.

[0125] 2. 골반 레지스트레이션 방법

[0126] 도 6에 도시된 바와 같이, 디스플레이 디바이스(9)는 하나 이상의 레지스트레이션 포인트(516)를 포함하는 골반(12)의 표현(512)을 표시할 수 있다. 레지스트레이션 포인트(516)는 실제 해부학적 구조 상 어느 지점에서 추적된 프로브로 포인트를 수집할지를 의사가 이해하도록 돕는다. 레지스트레이션 포인트(516)는 의사를 더 돕기 위해서 컬러 코딩될 수 있다. 예를 들어, 추적된 프로브로 다음에 수집될 골반(12) 상의 레지스트레이션 포인트(516) 황색이 될 수 있는 반면에, 이미 수집된 레지스트레이션 포인트(516)는 녹색이 될 수 있고, 나중에 수

집될 레지스트레이션 포인트(516)는 적색이 될 수 있다. 레지스트레이션 이후에, 디스플레이 디바이스(9)는 레지스트레이션 알고리즘이 물리적으로 수집된 포인트를 골반(12)의 표현(512)에 얼마나 양호하게 근사화하는지를 외과의에게 보여줄 수 있다.

[0127] 예를 들어, 도 7에 도시된 바와 같이, 오차 포인트(518)는 표현(512)의 표면과 물리적 골반(12)의 대응하는 표면 사이의 레지스트레이션에 얼마나 많은 오차가 존재하는지를 보여주기 위해서 표시될 수 있다. 일 실시예에서, 오차 포인트(518)는, 예를 들어 최소 오차를 나타내는 오차 포인트(518)는 녹색으로 컬러 코딩될 수 있고, 오차량이 커지는 오차 포인트(518)는 청색, 황색, 및 적색으로 컬러 코딩될 수 있다. 컬러 코딩 대신에, 다른 정도의 오차를 나타내는 오차 포인트(518)는 상이한 형상 또는 크기를 가질 수 있다. 검증 포인트(519)도 표시될 수 있다. 검증 포인트(519)는 레지스트레이션을 검증하기 위해서, 추적된 프로브를 사용하여 어디에서 포인트를 수집할지를 외과의에게 예시한다. 레지스트레이션 포인트(519)가 수집되면, 네비게이션 시스템(7)의 소프트웨어는 해부학적 구조 상에서 수집된 실제 포인트와 물리적 공간에서의 표현(512)의 레지스트레이션된 위치 사이의 오차를 디스플레이한다(예를 들어, 밀리미터 단위 수치로). 레지스트레이션 오차가 너무 크면, 의사는 단계 S6의 레지스트레이션 프로세스를 반복하여 골반(12)을 다시 레지스트레이션한다.

[0128] 이러한 타입의 레지스트레이션 방법은, 정확한 포인트를 수집하기 위하여 의사에게, 하나 이상의 레지스트레이션 포인트(516)를 포함하는 골반(12)의 표현(512)을 나타내는 디스플레이 디바이스(9)로부터 환자의 물리적 골반(12)으로 그의 또는 그녀의 초점을 계속하여 전환하도록 요구한다. 초점을 전환하려면 시간이 걸리고, 레지스트레이션 포인트(516)가 환자의 물리적 골반(12) 상 어디에 있는지를 정확하게 추정하려면 더 많은 시간이 걸린다. 본 섹션에서 설명된 이러한 레지스트레이션 방법에서, 정확한 레지스트레이션을 완성하려면 적어도 43 개의 포인트가 필요할 수 있다.

[0129] 관골구의 회전 중심을 수술전 이미지 및 수술중 포인트 콜렉션에 기반하여 결정하는 것을 수반하는 추가적인 골반 레지스트레이션 방법(S6)이 본 명세서에서 그 전체가 원용에 의해 포함되는 관련 출원 제 PCT/US2017/049466, 출원일 2017 년 8 월 30 일에 설명된다. 설명된 방법은 이전에 설명된 레지스트레이션 방법과 비교할 때 수집된 포인트의 총 수를 줄일 수 있다. 예를 들어, 이러한 섹션에서 설명된 방법을 사용하면, 외과의는 서른 두 개 이하의 포인트로써 정확한 레지스트레이션을 완료할 수 있다. 또한, 본 섹션에서 설명되는 레지스트레이션의 대부분은 포인트-기초 포인트 수집이 아닌 영역-기초 포인트 수집이다. 지역-기초 포인트 수집 기법에서, 의사는 3 차원 골 모델(512) 상에서 식별된 정확한 포인트와 달리 환자의 뼈의 영역 내에서 포인트를 수집할 수 있다. 그러면, 의사는 환자의 해부학적 구조에 집중하고, 그의 또는 그녀의 초점을 디스플레이 스크린(9)으로부터 환자의 물리적 골반(12)으로 다시 전환할 필요가 없이 골 상의 허락된 영역 내에서 포인트를 수집할 수 있다. 허락된 영역 내에서 포인트를 수집하면 정확도가 향상되는데, 그 이유는 하나의 허용가능한 포인트와 비교할 때 의사가 허용가능한 포인트의 가능한 많은 위치를 망라하는 영역 내에서 포인트를 수집하는 것이 더 쉽기 때문이다.

[0130] 3. 이미징 테이블의 Z-축 및 수술 테이블의 Z-축을 활용한 골반 레지스트레이션 방법.

[0131] 수술실에 있는 동안의 수술전 이미지 스캔(예를 들어, CT, MRI) 중의 환자로부터의 관골구 회전 중심 데이터 및 환자 위치설정 데이터를 활용하는 골반 레지스트레이션 방법(1400)을 예시하는 도 14a 내지 도 14b 및 도 15의 (a) 내지 도 15의 (c)를 참조한다. 좀 더 자세하게 설명하면, 레지스트레이션 방법(1400)은, 예를 들어 수술전 이미지 스캔(예를 들어, CT, MRI)을 위해서 이미징 테이블 상의 바로 누워 있는 환자의 배향이 수술실 테이블 상의 동일한 위치(예를 들어, 이러한 예에서는 바로 누워 있음)에 누워 있는 동일한 환자의 배향과 동일하거나 유사하다고 가정한다. 이러한 환자 배향 데이터 또는 환자 위치설정 데이터는, 다른 데이터 중에서, 수술전 이미지 스캔으로부터, 그리고 환자의 관골구 상의 포인트를 수술 중에 환자의 골반의 3-차원 골 모델을 수술실 내의 환자의 물리적 골반과 레지스트레이션할 때에 캡처하는 것으로부터 결정될 수 있는 관골구 회전 중심 데이터와 결합하여 사용될 수 있다.

[0132] 시작하자면, 레지스트레이션 방법(1400)의 예시적인 단계를 예시하는 도 14a 및 도 14b를 참조한다. 단계 도 14a의 1402에서, 레지스트레이션 방법(1400)은 환자의 수술전 이미지 스캔을 생성하는 것을 포함할 수 있다. 이미지 스캔은 여러 가지 중에서 컴퓨터 단층촬영(CT), 자기 공명 이미징(MRI), 및 x-선을 포함하는 다양한 이미징 모달리티를 통해서 생성될 수 있다. 이미지 스캔을 생성하기 위하여, 이미징 테이블(1502) 상에서 바로 누워 있는 환자(1500)는, 도 15의 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이 이미징 머신(1506)의 이미징 암(1504)을 통해서 이미징될 수 있다. 도 14a의 레지스트레이션 방법(1400)의 단계 1404에서, 이미지 스캔은 이미지의 골 컨투어 라인을 따라서 세그먼트화될 수 있다. 모든 이미지 스캔이 세그먼트화되면, 질병 구역(예를 들어, 장골 및

대퇴골)의 3-차원 골 모델이 도 14a의 단계 1406에서 세그먼트화된 이미지 스캔으로부터 생성될 수 있다. 세그먼트화된 이미지 스캔으로부터 3-차원 골 모델을 생성하는 것에 대한 대체예로서, 환자의 뼈를 나타내는 총괄적인 3D 골 모델 또는 통계적 3D 골 모델이 생성될 수 있다.

[0133] 이러한 시점에서, 레지스트레이션 방법(1400)의 수술전 단계는 발산할 수 있다. 단계(1408, 1410, 및 1412)는 환자 레지스트레이션 방법(1400)의 위치설정 데이터 부분을 가리킬 수 있는 반면에, 단계(1414)는 방법(1400)의 회전 중심 계산 부분을 가리킬 수 있다.

[0134] 도 14a의 단계 1408에서, Z-축, 장축, 또는 상하 축이 스캐닝된 이미지로부터 또는 3-차원 골 모델로부터 식별될 수 있다. 도 15의 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이, Z-축(1508)은 테이블 아래로 길이 방향으로 그리고 환자의(1500) 머리부터 발까지 연장된다. Z-축(1508)은 스캐닝된 이미지에서 이미징 테이블(1502)이 이미징 암(1504)에 상대적으로 연장되는 축으로서 식별될 수 있다. 예를 들어, CT 스캔에서, 이미징 테이블(1502)은 테이블(1502) 및 그 위의 환자(1500)를 이미징 암(1504)의 개구 또는 스루-웨이(through-way; 1510)를 통해서 Z-축(1508)을 따라 병진시키기 위해서 전동화될 수 있다. 이러한 배향에서, 스캔은 Z-축(1508)에 수직으로 배향될 수 있다. Z-축(1508)은 골 모델과 함께 좌표계 내에서 식별될 수 있다.

[0135] 도 14a의 단계 1410에서, 레지스트레이션 방법(1400)은 환자(1500)의 골반 축(1512)(또는 레퍼런스 벡터)을 스캐닝된 이미지 또는 골 모델로부터 결정하는 것을 포함할 수 있다. 골반 축(1512)은 치골 결합부(pubic symphysis) 사이에서 환자의 골반을 양분하고 상반된 장골 상의 상하 장골 척추의 쌍 사이에서 대략적으로 등거리인 축일 수 있다. 본 명세서에서 설명되거나 알려져 있는 다양한 방법들이 골반 축(1512)을 결정하기 위하여 사용될 수 있다.

[0136] 도 14a의 단계 1412에서, 레지스트레이션 방법(1400)은 Z-축(1508) 및 골반 축(1512) 사이의 각도 오프셋을 결정하는 것을 포함할 수 있다. 각도 오프셋(1514)은 도 15의 (c)에서 볼 수 있고, 후술될 것이다.

[0137] 도 14a의 단계 1414에서, 레지스트레이션 방법(1400)은 관골구의 회전 중심을 골 모델로부터 결정하는 것을 포함할 수 있다. 회전 중심을 결정하는 것은 본 명세서에서 설명되는 임의의 방법 또는 당업계에 공지된 임의의 방법에 의해서 수행될 수 있다. 환자의 관골구를 수술전 이미지로부터 생성된 골 모델에서 결정하는 예시적인 방법은 본 명세서에서 그 전체가 원용에 의해 포함되는 PCT/ US2017/049466, 출원일 2017 년 8 월 30 일에 설명된다. 환자의 관골구의 회전 중심을 결정하는 다른 예시적인 방법은 골반에 상대적인 환자의 대퇴골의 운동 분석 또는 모션 분석을 통하는 것이다.

[0138] 수술 중에 발생될 수 있는 레지스트레이션 방법(1400)의 단계를 예시하는 도 14b 및 도 15의 (b)를 참조한다. 도 14b의 단계 1416에서, 레지스트레이션 방법(1400)은 추적기를 환자의 골반에 설치하는 것을 포함할 수 있다. 도 15의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 환자(1500)는 수술실에 있고, 수술실 테이블(1520)에 바로 누워 있다. 또한, 환자(1500)는 옆으로 누운 자세로 테이블(1520) 상에 누워 있을 수 있고, 똑바로 누운 자세로부터 옆으로 누운 자세로 바꾸는 것이 거의 환자(1500)의 장축 주위의 순수한 회전인 것이 타당하게 가정될 수 있다. 로봇 암(1518)은 수술실 테이블(1520)에 가까이 위치될 수 있다. 도면에 보이는 바와 같이, 추적기(1516)는 골반의 질병이 있는 측면에 설치될 수 있다.

[0139] 도 14b의 단계 1418에서, 레지스트레이션 방법(1400)은, 도 15의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같은 수술실 테이블(1520) 상의 환자(1500)를 환자가 이미징 테이블(1502) 상에 누워있던 것과 동일한 배향으로 위치설정 또는 정렬하는 것을 포함할 수 있다. 단계 1420에서, 레지스트레이션 방법(1400)은 테이블(1520)의 긴 에지(1524)를 따라서 수술실 테이블(1520) 상의 두 개의 포인트(1522)를 수집하는 것을 포함할 수 있다. 벡터(1526)가 방법(1400)의 단계 1422에서 두 개의 포인트들(1522) 사이에서 계산될 수 있다. 이러한 벡터(1526)는, 환자(1500)가 똑바른 자세로 이미징 테이블(1502) 및 수술실 테이블(1520) 상에서 동일한 배향에서 유사하게 누워있다는 점에서 스캐닝된 이미지의 Z-축(1508)과 유사할 수 있다. 벡터(1526)는 추적기(1516)에 대한 위치설정 데이터와 함께 공통 좌표계 내에서 시스템에 의해 결정되고 저장될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 포인트 또는 추적된 프로브는 테이블 축을 식별하기 위하여 사용될 수 있다. 예를 들어, 포인트는 공간 내에서 위치되어 테이블(1520)의 긴 에지(1524)와 정렬될 수 있고, 시스템은 포인트의 축을 캡처할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 포인트는, 예를 들어 포인트를 환자의 중간선을 따라서 환자의 헤드부를 바라보는 뾰족한 팁으로 배치시킴으로써 환자와 정렬될 수 있다. 이러한 방법은 옆으로 누워 있는 환자에게도 역시 적용될 것이다.

[0140] 도 14b의 레지스트레이션 방법(1400)의 단계(1424)는 환자의 골반이 수술실 테이블(1520) 상에서 도 15의 (c)에 도시된 바와 같이 각도 오프셋(1514)만큼 벡터(1526)(또는 수술실 테이블(1520)의 장축)에 상대적으로 각도를

가진다는 레지스트레이션 제약을 규정하는 것을 포함할 수 있다. 각도 오프셋(1514)은 Z-축(1508) 및 골반 축(1512) 사이의 각도로서 규정될 수 있고, 또는 각도 오프셋(1514)은 수술실 테이블(1520) 상의 벡터(1526)와 골반 축(1512) 사이의 각도로서 규정될 수 있다(벡터(1526) 및 골반 축(1512)이 공통 좌표계 내에 있다고 가정함).

[0141] 도 14b의 단계 1426에서, 레지스트레이션 방법(1400)은 환자의 골반의 회전 중심을 결정하는 것을 포함할 수 있다. 회전 중심(1528)이 도 15의 (b)에 도시된다. 이러한 단계(1426)는 당업계에 공지된 임의의 방법에 의하여 달성될 수 있고, 본 명세서에서 그 전체가 원용에 의해 포함되는 PCT/US2017/049466, 출원일 2017년 8월 30일에 설명된 방법을 통해서도 달성될 수 있다. 앞서 언급된 PCT 출원에서, 방법은 환자의 관골구 상의 포인트를 피킹하는 것과 이러한 포인트들에 기반하여 구를 형성하는 것을 기술한다. 이러한 구로부터, 회전 중심이 결정될 수 있다.

[0142] 단계 1426에서 회전 중심이 발견되면, 그리고 단계 1424에서 각도 오프셋에 상관되는 레지스트레이션 제약이 발견되면, 레지스트레이션 변환이 도 14b의 단계 1428에서 채용될 수 있다. 레지스트레이션 변환은 골 모델(환자의 신체의 수술전 이미지 스캔으로부터 결정됨)을 수술실 테이블(1520) 상의 환자의 물리적 신체와 병합하여, 도 15의 (c)의 로봇 암(1518)이 제어된 방식으로 그리고 미리 결정된 계획에 따라서 환자의 신체에 작용하도록 사용될 수 있게 한다.

[0143] 단계 1426에서 환자의 골반의 회전 중심을 알기 때문에, 골반의 위치를 레지스트레이션 변환 도중에 좌표계 내에서 효과적으로 고정하게 된다. 그러나, 단일 고정 지점(회전 중심)만을 안다는 것은 골반이 이러한 좌표계에서의 세 개의 축들에 따른 회전으로부터 제약되지 않는다는 것을 의미한다. 따라서, 골 모델 및 물리적 골반을 병합하려면 더 많은 정보가 필요하다. 레지스트레이션 변환은, 레지스트레이션 도중에 벡터(1526)에 상대적인 환자의 골반의 배향을 잠금으로써 단계 1428의 레지스트레이션 제약을 사용할 수 있다. 벡터(1526)가 세 가지 방향(x, y, z)에서의 좌표를 포함하기 때문에, 골반의 배향은 벡터(1526) 및 회전 중심(1528)으로부터의 정보를 결합하면 결정될 수 있다.

[0144] 추가적으로 또는 대안적으로, 수술용 레지스트레이션 방법은 도 14c 및 도 15d 내지 도 15e에 도시된 바와 같을 수 있다. 도 14c는 수술용 레지스트레이션 방법(1440)에서의 예시적인 단계를 보여주는 흐름도를 예시한다. 도 15d는 이미징 이벤트(예를 들어, CT, MRI)를 거치려고 하는, 이미징 테이블(1502) 상의 환자(1500)의 부감도(overhead view)를 예시한다. 도 15e는 수술 프로시저를 거치려고 하는, 수술실 테이블(1520) 상의 환자(1500)를 예시한다. 레지스트레이션 방법(1440)은 이미징 테이블(1502) 상의 환자(1500)의 수술전 위치 및 배향에 대한 정보를 취하고, 환자의 위치 및 배향에 대한 특정 정보가 환자가 수술실 테이블(1520) 위에 누워 있을 때에 일정할 것이라고 가정한다.

[0145] 도 14c를 참조하면, 단계 1442에서 환자(1500)의 이미지 스캔이 생성된다. 이미지 스캔은 다른 이미징 모달리티 중에서 CT, x-선, 또는 MRI일 수 있다. 단계 1444에서, 관골구 회전 중심(acetabulum center of rotation; COR)이 이미징 좌표계에 상대적으로 결정될 수 있다. 디바이스는, 예를 들어 이미징 테이블(1502)의 병진 이동에 기반하여 자기 자신의 좌표계(x, y, z)를 포함할 수 있다(도 15d에서 볼 수 있는 바와 같이, 테이블(1502)은 xz 평면에 놓여 있음). 즉, 테이블(1502)은 이미징 디바이스(1506)의 이미징 암(1504)의 개구(1510) 내에서 환자 및 테이블을 이동시키기 위해서 z-방향으로 병진할 수 있다. 테이블(1502)은 환자 및 테이블을 암(1504)의 개구(1510) 내에 중심 위치시키기 위해서 x-방향 및 y-방향으로 더 병진할 수도 있다.

[0146] 관골구의 COR은, 예를 들어 다수의 좌표 뷰(예를 들어, 관상, 시상, 측상)에서 COR을 선택함으로써 사용자가 이미지 스캔 내에서 COR을 선택함으로써 식별될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 방법(1440)은 환자의 뼈의 3-차원 골 모델을 여러 가지 중에서 이미지 스캔, 통계적 골 모델, 또는 총괄적인 골 모델 중 하나로부터 생성하는 것을 포함할 수 있다. 그리고, 당업계에 공지되거나 본 명세서에서 설명되는 임의의 방법이 이미징 좌표계 내에서 골 모델로부터 COR을 식별하기 위하여 사용될 수 있다. COR이 이미징 좌표계의 원점(0, 0, 0)에 상대적인 하나 이상의 포인트의 3-차원 위치(x, y, z)일 수 있다는 것에 주의한다.

[0147] 방법(1440)의 수술중 부분으로 이동하면, 도 14c의 단계 1446에서, 그리고 도 15e 에서도 볼 수 있는 것처럼, 환자(1500)는 수술실 테이블(1520) 상에 위치된다. 단계 1448에서, 골반 추적 디바이스(해부학적 구조 추적기)(1516)가 환자의 병이 있는 골반에 부착된다.

[0148] 단계 1450에서, 수술실 테이블(1520)의 XYZ 좌표가 식별된다. 좀 더 자세하게 설명하면, 적어도 세 개의 포인트(1530, 1532, 1534)가 테이블(1520) 상에서 식별되는데, 여기에서 두 개의 포인트(1530, 1532)는 테이블의

같은 측면에 위치되고(예를 들어, x-축 상의 동일한 포인트에 있도록 테이블의 에지에 위치됨), 하나의 포인트(1534)는 테이블(1520)의 반대면에 위치된다. 두 개의 포인트(1530, 1532)는 도 15e에 도시된 바와 같이 OR 테이블 축 또는 Z-축과 나란하게 배향되거나 정렬될 수 있다. 모든 포인트(1530, 1532, 및 1534)는 y-축을 따라서 동일한 위치에 위치설정될 수 있다. 다르게 말하면, 세 개의 포인트(1530, 1532, 1534)는 OR 테이블(1520)의 상단에 의해 규정되는 평면에 상대적으로 동일한 높이에 위치설정될 수 있다. 세 개의 포인트(1530, 1532, 1534)는 시스템의 추적된 포인트로 캡처되거나 로깅될 수 있고, 수술중 좌표계에서 골반 추적 디바이스(1516)의 위치에 상대적으로 식별될 수 있다. OR 테이블(1520) 상에서 포인트(1530, 1532, 1534)를 수집하는 것에 대한 대체예로서, 테이블 축들(x, y, z)은 테이블을 대응하는 축들에 따라서 순서대로 병진시켜서 적용가능한 벡터를 확인함으로써 결정될 수도 있다. 특정한 경우에, 광범위한 다리 조작 이전에(예를 들어, 대퇴골의 탈구 이전에) 포인트(1530, 1532)를 결정하여 환자가 이동되지 않았다는 것을 보장하는 것이 유익할 수 있다.

[0149] 단계 1452에서, 관골구 중심 포인트(COR)의 XYZ 좌표는 수술중 좌표계에서 결정될 수 있다(해부학적 추적기(1516), 또는 다른 포인트에 상대적으로). COR은 본 명세서에서 설명되거나 당업계에 공지된 임의의 방법에 기반하여 결정될 수 있다. 특정한 경우에, COR은 모션 분석의 범위로부터 결정될 수도 있다. 특정한 경우에, COR은 대퇴골의 헤드부가 관골구로부터 탈구된 이후에 포인트-피킹 접근법에 의존하여 결정될 수도 있다.

[0150] 이러한 포인트에서, 적어도 다음의 포인트들이 수술중 좌표계 내에서 식별된다: OR 테이블(1520) 상에 위치한 포인트(1530, 1532, 및 1534), 및 환자의 관골구의 COR. 그리고, 적어도 다음 포인트들이 수술전 이미징 좌표계 내에서 식별된다: 관골구의 COR, 및 이미징 테이블(1502)의 병진 이동에 상관되는 좌표 축들(x, y, z).

[0151] 그 다음에, 도 14c의 단계 1454에서, 6 자유도(DOF) 변환이 이미징 좌표 포인트 및 수술중 좌표 포인트 사이에서 계산되어 수술전 이미지를 환자(1500)의 수술중 위치에 레지스트레이션한다. 이러한 방식으로, 자율적 또는 햅틱-구동 디바이스의 로봇 암 또는 핸드헬드 수술용 디바이스는 수술 프로시저를 수행하기 위하여 환자의 위치 및 배향을 식별할 수 있게 될 수 있다.

[0152] 추가적으로 또는 대안적으로, 수술용 레지스트레이션 방법은 도 14d 및 도 15f 및 도 15g에 도시된 바와 같을 수 있다. 도 14d는 수술용 레지스트레이션 방법(1460)에서의 예시적인 단계를 보여주는 흐름도를 예시한다. 도 15f는 이미징 이벤트(예를 들어, CT, MRI)를 거치려고 하는, 이미징 테이블(1502) 상의 환자(1500)의 부감도(overhead view)를 예시한다. 도 15g는 수술 프로시저를 거치려고 하는, 수술실 테이블(1520) 상의 환자(1500)를 예시한다. 레지스트레이션 방법(1460)은 이미징 테이블(1502) 상의 환자(1500)의 수술전 위치 및 배향에 대한 정보를 취하고, 환자의 위치 및 배향에 대한 특정 정보가 환자가 수술실 테이블(1520) 위에 누워 있을 때에 일정할 것이라고 가정한다.

[0153] 도 14d를 참조하면, 단계 1462에서 환자(1500)의 이미지 스캔이 생성된다. 이미지 스캔은 다른 이미징 모달리티 중에서 CT, x-선, 또는 MRI일 수 있다. 단계 1464에서, 관골구 회전 중심(acetabulum center of rotation; COR)이 이미징 좌표계에 상대적으로 결정될 수 있다. 디바이스는, 예를 들어 이미징 테이블(1502)의 병진 이동에 기반하여 자기 자신의 좌표계(x, y, z)를 포함할 수 있다(도 15f에서 볼 수 있는 바와 같이, 테이블(1502)은 xz 평면에 놓여 있음). 즉, 테이블(1502)은 이미징 디바이스(1506)의 이미징 암(1504)의 개구(1510) 내에서 환자 및 테이블을 이동시키기 위해서 z-방향으로 병진할 수 있다. 테이블(1502)은 환자 및 테이블을 암(1504)의 개구(1510) 내에 중심 위치시키기 위해서 x-방향 및 y-방향으로 더 병진할 수도 있다.

[0154] 관골구의 COR은, 예를 들어 다수의 좌표 뷰(예를 들어, 관상, 시상, 측상)에서 COR을 선택함으로써 사용자가 이미지 스캔 내에서 COR을 선택함으로써 식별될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 방법(1460)은 환자의 뼈의 3-차원 골 모델을 여러 가지 중에서 이미지 스캔, 통계적 골 모델, 또는 총괄적인 골 모델 중 하나로부터 생성하는 것을 포함할 수 있다. 그리고, 당업계에 공지되거나 본 명세서에서 설명되는 임의의 방법이 이미징 좌표계 내에서 골 모델로부터 COR을 식별하기 위하여 사용될 수 있다. COR이 이미징 좌표계의 원점(0, 0, 0)에 상대적인 하나 이상의 포인트의 3-차원 위치(x, y, z)일 수 있다는 것에 주의한다.

[0155] 방법(1460)의 수술중 부분으로 이동하면, 도 14d의 단계 1466에서, 그리고 도 15g 에서도 볼 수 있는 것처럼, 환자(1500)는 수술실 테이블(1520) 상에 위치된다. 단계 1468에서, 골반 추적 디바이스(해부학적 구조 추적기)(1516)가 환자의 병이 있는 골반에 부착된다.

[0156] 단계 1470에서, 수술실 테이블(1520)의 XYZ 좌표가 식별된다. 좀 더 자세하게 설명하면, 적어도 세 개의 포인트(1530, 1532)가 테이블(1520) 상에서 식별되는데, 여기에서 두 개의 포인트(1530, 1532)는 테이블(1520)의 같은 측면에 위치된다(예를 들어, x-축 상의 동일한 포인트에 있도록 테이블의 에지에 위치됨). 두 개의 포인트

트(1530, 1532)는 도 15g에 도시된 바와 같이 OR 테이블 축 또는 Z-축과 나란하게 배향되거나 정렬될 수 있다. 모든 포인트(1530, 1532)는 y-축을 따라서 동일한 위치에 위치설정될 수 있다. 다르게 말하면, 두 개의 포인트(1530, 1532)는 OR 테이블(1520)의 상단에 의해 규정되는 평면에 상대적으로 동일한 높이에 위치설정될 수 있다. 두 개의 포인트(1530, 1532)는 시스템의 추적된 포인트로 캡처되거나 로깅될 수 있고, 수술중 좌표계에서 골반 추적 디바이스(1516)의 위치에 상대적으로 식별될 수 있다. OR 테이블(1520) 상에서 포인트(1530, 1532)를 수집하는 것에 대한 대체예로서, 테이블 축들(x, y, z)은 테이블을 대응하는 축들에 따라서 순서대로 병진시켜서 적용가능한 벡터를 확인함으로써 결정될 수도 있다. 특정한 경우에, 광범위한 다리 조작 이전에(예를 들어, 대퇴골의 탈구 이전에) 포인트(1530, 1532)를 결정하여 환자가 이동되지 않았다는 것을 보장하는 것이 유익할 수 있다.

[0157] 단계 1472에서, 판골구 중심 포인트(COR)의 XYZ 좌표는 수술중 좌표계에서 결정될 수 있다(해부학적 추적기(1516), 또는 다른 포인트에 상대적으로). COR은 본 명세서에서 설명되거나 당업계에 공지된 임의의 방법에 기반하여 결정될 수 있다. 특정한 경우에, COR은 모션 분석의 범위로부터 결정될 수도 있다. 특정한 경우에, COR은 대퇴골의 헤드부가 판골구로부터 탈구된 이후에 포인트-피킹 접근법에 의존하여 결정될 수도 있다.

[0158] 이러한 포인트에서, 적어도 다음의 포인트들이 수술중 좌표계 내에서 식별된다: OR 테이블(1520) 상에 위치된 포인트(1530, 1532), 판골구의 COR. 그리고, 적어도 다음 포인트들이 수술전 이미징 좌표계 내에서 식별된다: 판골구의 COR, 및 이미징 테이블(1502)의 병진 이동에 상관되는 좌표 축들(x, y, z).

[0159] 그 다음에, 도 14d의 단계 1474에서, 6 자유도(DOF) 변환이 이미징 좌표 포인트 및 수술중 좌표 포인트 사이에서 계산되어 수술전 이미지를 환자(1500)의 수술중 위치에 레지스트레이션한다. 이러한 방식으로, 자율적 또는 햅틱-구동 디바이스의 로봇 암 또는 핸드헬드 수술용 디바이스는 수술 프로시저를 수행하기 위하여 환자의 위치 및 배향을 식별할 수 있게 될 수 있다.

[0160] D. 로봇 암의 레지스트레이션

[0161] 다시 도 5를 참조하면, 단계 S6에서 골반을 레지스트레이션한 후에, 로봇 암(30)이 단계 S7에서 레지스트레이션될 수 있다. 이러한 단계에서, 로봇 암(30)은 로봇 암(30)(물리적 공간)의 자세를 네비게이션 시스템(7)(이미지 공간)과 상관시키도록 레지스트레이션된다. 로봇 암(30)은, 예를 들어 그 전체가 본 명세서에 원용에 의해 통합되는 미국 특허 출원 일련 번호 제 11/357,197(공개 번호 US 2006/0142657), 출원일 2006년 2월 21일에서 설명된 바와 같이 레지스트레이션될 수 있다.

[0162] E. 판골구의 준비 및 수술 프로시저의 수행

[0163] 동작 시에, 외과의는 도 3b의 로봇 암(30)을 사용하여, 예컨대 골을 확장하고 전체 고관절 교체 또는 고관절 치환 프로시저를 위해서 판골구 컵을 이식하는 것과 같은 관절 교체 프로시저를 용이하게 할 수 있다. 전술된 바와 같이, 로봇 암(30)은 절개 요소(골확장을 위함)에 커플링되고 보철 요소(매몰을 위함)를 결속시키도록 구성되는 수술용 툴을 포함한다. 예를 들어, 도 3b에서 볼 수 있는 바와 같이, 골확장을 위해서 엔드 이펙터(40)가 동작 부재(100)에 커플링될 수 있는데, 이것은 절개 요소를 커플링된다. 이와 유사하게, 매몰을 위해서, 엔드 이펙터(40)가 보철 요소를 결속시키는 다른 동작 부재에 커플링될 수 있다. 로봇 암(30)은 확장과 임팩팅(impacting) 중에 적합한 위치설정을 보장하기 위해서 사용될 수 있다.

[0164] 도 5의 단계 S8에서, 의사는 도 3b의 로봇 암(30)에 커플링된 골 확장기, 예컨대 동작 부재(100)를 사용하여 판골구(22)를 재생시킨다. 동작 부재(100)와 관련하여 전술된 바와 같이, 의사는 적절한 동작 부재(예를 들어, 직선형 또는 오프셋 골 확장기)를 엔드 이펙터(40)에 커플링하고, 절개 요소를 수용된 동작 부재에 연결하며, 로봇 암(30)을 수동으로 조작하여 판골구(22)를 골확장한다. 골확장 중에, 로봇 암(30)은 의사에게 햅틱(힘 피드백) 가이드를 제공한다. 햅틱 가이드는, 실제 골 절삭부가 형상 및 위치에 있어서 계획된 골 절삭부에 대응하는 것을 보장하도록(즉, 절삭부가 수술 계획과 일치하도록), 수술용 툴을 수동으로 이동시킬 수 있는 외과의의 능력을 제약한다. 특정한 경우에, 자율형 또는 핸드 헬드 시스템이 햅틱 피드백 또는 가이드가 없이 규정된 가상 경계 내에서 동작할 수도 있다.

[0165] 도 5의 단계 S9에서, 외과의는 판골구 추적 어레이 및 골반(12) 사이의 레지스트레이션(즉, 기하학적 관련성)이, 예를 들어 그 전체가 본 명세서에 원용에 의해 통합되는 미국 특허 출원 일련 번호 제 11/750,807(공개 번호 US 2008/0004633), 출원일 2007년 5월 18일에 설명된 바와 같은 추적된 프로브로 골반 체크포인트를 접촉시킴으로써 여전히 유효하다는 것을 검증한다. 레지스트레이션이 열화되었으면(예를 들어, 판골구 추적 어레이가 골확장 중에 충돌되었기 때문에), 골반(12)은 재-레지스트레이션된다. 레지스트레이션 검증은 의

사가 관골구의 레지스트레이션의 무결성을 점검하기를 원하는 어느 때라도 수행될 수 있다.

[0166] 도 5의 단계 S10에서, 보철 요소(316)는 임팩터 툴을 사용하여 확장된 관골구(22)에 이식된다. 단계 S8(골확장)과 관련하여 전송된 것과 같은 방식으로, 매복 단계 S10 중에, 디스플레이 디바이스(9)는 계획된 자세(500), 활성화 영역(510), 해부학적 구조의 표현(512, 514), 및 수술용 툴의 표현을 도 4에서 볼 수 있는 바와 같이 보여줄 수 있다. 또한 단계 S8과 관련하여 전송된 바와 같이, 의사가 햅틱 피드백을 무시하고 엔드 이펙터(40)를 이동시킨다면, 제어기는 실제 자세의 적어도 하나의 양태를 타겟 자세의 대응하는 요구되는 양태와 실질적으로 정렬시키기 위해서 수술용 툴의 자동 제어를 개시할 수 있다.

[0167] 도 5의 단계 S11에서 의사는 대퇴부 요소를 대퇴골(14)에 설치하고, 단계 S12에서 의사는 다리 길이와 대퇴부 오프셋을 결정한다. 수술 프로시저 중의 언제라도, 디스플레이 디바이스(9)는 과정 및/또는 결과에 관련된 데이터를 보여줄 수 있다. 예를 들어, 단계 S8에서의 골확장 및/또는 단계 S10에서의 매복 이후에, 확장된 관골구(22)(또는 이식된 관골구 캡)의 실제 위치에 관련된 데이터는, 예를 들어 환자의 해부학적 구조의 세 개의 직교 면(즉, 안팎, 상/하, 및 전/후)에서 실제 위치와 계획된 위치 사이의 오차를 나타내는 수치 데이터를 나타낸다.

[0168] V. 다른 골들 중에서 대퇴골, 골반, 및 요추의 골 레지스트레이션을 위한 툴 및 방법

[0169] 포인트-피킹(picking)에 기반한 골 레지스트레이션은 네비게이션되고 로봇이 지원되는 정형 외과 수술에서의 레지스트레이션의 하나의 방법이다. 수술 프로시저 중에, 수술 사이트(예를 들어, 고관절, 무릎)에 절개가 이루어진다. 절개를 통해서 액세스가능한 환자의 신체의 뼈 영역 상에서 디지털화된 포인트-클라우드(표면 키투어를 나타내는 좌표계 내에서의 데이터 포인트의 세트)를 피킹하기 위하여 국지화 포인터(localization pointer) 또는 추적되는 프로브가 활용된다. 포인트-쌍 및 반복 최근접 포인트(ICP) 알고리즘을 사용함으로써, "추적기 공간(tracker space)"(환자 신체에 있는 추적기 및 환자의 수집된 포인트의 포인트-클라우드에 대응하는 위치 데이터를 가지는 좌표계) 내의 환자 포인트-클라우드 데이터는 세그먼트화된 의료용 이미지, 또는 다른 것으로부터 형성된 환자의 뼈의 3-차원 골 모델로 변환된다. 정확한 레지스트레이션 변환이 포인트-클라우드 근사화의 최소 제곱-평균-제곱근으로서 결정된다.

[0170] 포인트-피킹에 기반한 레지스트레이션의 컨텍스트에서(대퇴골, 골반, 또는 다른 것), 골 표면 상의 포인트를 프로브로써 수술 중에 피킹하려면 일반적으로 외과가가 수술 사이트에서의 초기 절개를 통해서 뼈에 액세스할 수 있어야 한다. 특히 최소 침습식 수술에서와 같은 작은 절개 구역에 기인하여, 수술용 절개부 내에서만 수집된 포인트-클라우드 데이터에 의존할 경우에는 레지스트레이션에 있어서 6 자유도의 정확도를 보장하는 것이 어려울 수 있다. 이러한 레지스트레이션의 정확도를 향상시키기 위하여, 수술 사이트로부터 멀리 떨어진 포인트가 포인트-클라우드에 추가될 수 있다. 예를 들어, 총 고관절 관절성형 프로시저에서, 외과가는 환자의 관골구 상의 포인트를 캡처하고, 환자의 장골의 장골릉선 표면 상의 포인트를 추가적으로 캡처하여 레지스트레이션 정확도를 향상시킬 수 있다. 여전히 전체 고관절 관절성형의 컨텍스트에서, 외과가는 근위의 대퇴골(예를 들어, 대퇴골의 헤드부) 상의 포인트를 피킹할 수 있고, 원위 또는 중간-원위의 대퇴골 표면 상의 포인트를 추가적으로 캡처하여 레지스트레이션 정확도를 증가시킬 수 있다. 그러나, 장골릉선 및 원위의 대퇴골은 초기 수술 절개부 내에 있지 않다.

[0171] 장골릉선 및 원위의 대퇴골 상의 이러한 이격된 포인트(즉, 초기 수술 절개부 내에 있지 않는 것들)를 피킹하기 위하여, 외과가는 추적되는 프로브 또는 국지화 포인터를 환자의 뼈(들)에 대해서 접촉시키기 위한 목적만을 위해서 초기 절개로부터 떨어져 있는 추가적인 절개(예를 들어, 찌름 절개(tab incision))를 수행할 필요가 있을 수 있다. 환자의 신체 내에 추가적인 절개를 하는 것은 이러한 방법과 연관된 감염, 통증, 흉터, 및 시간이 생길 가능성이 증가하기 때문에 이상적이지 않을 수 있다.

[0172] 도 16의 (a) 내지 도 16의 (c)를 참조하여 수술 사이트로부터 멀리 떨어진(즉, 수술 절개부 밖에 있는) 환자의 신체 구역 내에서 사용되기 위한 것이고 환자의 피부에서의 추가적인 절개를 수반하지 않는 레지스트레이션 툴 및 방법이 본 명세서에서 설명된다. 도 16의 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이, 변동하는 길이 및 직경의 바늘(1), 예컨대 침술 바늘 또는 주사기 바늘이 환자의 피부를 관통하는 절개가 없이 하드 골 표면 상의 포인트를 디지털화하기 위해서 사용될 수 있다. 바늘(1)의 직경은 환자 환자의 피부, 연조직(soft tissue), 및 연골을 환자의 만족에 대한 부작용이 없이 쉽게 통과하도록 충분히 작을 수 있다. 바늘(1)을 사용하면, 일반적으로는 상처 안의 포인트 피킹 방법을 통하여, 특히 MIS에서 액세스가능하지 않은 골 레지스트레이션 포인트가 해부학적 영역 내에서 피킹될 수 있다.

- [0173] 본 발명에 따른 대퇴골(6)의 전면도인 도 16의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 하나 이상의 바늘(1a)이 바늘 설비 또는 템플릿(2)의 복수 개의 홀 중 하나를 통하여 연조직(7)내로 삽입될 수 있다. 바늘 설비(2)는 바늘(1a)을 피부를 통과하게 가이드할 수 있고, 바늘(1a)은 대퇴골(6)의 단단한 골 표면에서 중지할 수 있다. 하나 이상의 카메라(10)(예를 들어, 광학 카메라)를 통해서 바늘-상단의 위치를 네비게이션하기 위해서, 수동형 또는 능동형 국지화 마커가 바늘(1a)에 부착될 수 있다. 바늘 추적기(3a)는 바늘 설비(2)에 커플링될 수 있다. 그러나, 바늘 추적기(3a)는 바늘 팁이 추적된다면 필요하지 않을 수도 있다. 설비(2)는 다음을 포함하는 여러 기능을 가질 수 있다: (1) 연조직을 압박하는; (2) 바늘(1a)의 삽입을 가이드하는 것; 및(3) 변환(8a)을 통하여 바늘 추적기(3a)에 상대적인 바늘 팁의 위치를 측정하는 것.
- [0174] 여전히 도 16의 (b)를 참조하면, 골 추적기(4)는 대퇴골(6)의 단단한 골 표면에 클램프 및 골 핀(5)에 의해 단단하게 부착될 수 있다. 골 추적기(4) 공간 내의 바늘 팁 위치는 변환(9a)을 통해서 결정될 수 있다. 골 표면(6) 상의 다수의 포인트를 디지털화하고 그러한 포인트들을 포인트-클라우드에 추가하기 위하여, 바늘 설비(2)는 바늘 추적기(3a)와 함께 뼈의 상이한 해부학적 위치로 자유롭게 이동될 수 있다. 카메라(10)는 골 추적기(4) 및 바늘 추적기(3a)의 위치를 추적할 수 있다.
- [0175] 본 발명에 따른 대퇴골(6)의 전면도인 도 16의 (c)에서 볼 수 있는 바와 같이, 바늘 팁(바늘의 원단부)의 기계적 추적기(3b) 공간 내에서의 위치를 변환(8b)을 사용하여 네비게이션하기 위하여 바늘(1b)의 근단부가 기계적 추적기(3b)에 부착된다. 기계적 추적기(3b)는 골 클램프(5) 또는 다른 레퍼런스 위치에 부착될 수 있다. 기계적 추적기(3b)는 변환(9b)에 의하여 광학 추적기(4)에 레지스트레이션될 수 있다. 기계적 추적기(3b)는 각각의 관절의 위치를 예컨대 인코더, 또는 광섬유 추적기를 통하여 표시할 수 있다. 카메라(예를 들어, 광학 카메라)는 광학 추적기(4)의 이동을 추적할 수 있다. 그리고, 골 추적기(4) 공간 내의 바늘 팁 위치가 변환(9b)을 통하여 추가적으로 결정된다. 골 표면(6) 상의 다수의 포인트를 디지털화하고 그러한 포인트들을 포인트-클라우드에 추가하기 위하여, 바늘 설비(2) 및 기계적 추적기(3b)의 팁-중심 포인트(tip-center point; TCP)가 뼈의 상이한 해부학적 위치로 자유롭게 이동될 수 있다.
- [0176] 특정한 경우에, 도 17의 (a) 내지 도 17의 (c)에서 도시되는 바와 같은 레지스트레이션 시스템(1700)이 활용될 수 있다. 도 17의 (a)는 전체 고관절 관절성형 콘텍스트에서 레지스트레이션 시스템(1700)으로써 레지스트레이션되고 있는 대퇴골(4)의 전면도를 도시하고, 도 17의 (b)는 전체 무릎 관절성형 콘텍스트에서 레지스트레이션 시스템(1700)으로 레지스트레이션되고 있는 대퇴골(4)의 전면도를 도시하며, 도 17의 (c)는 전체 무릎 관절성형 콘텍스트에서 레지스트레이션 시스템(1700)으로써 레지스트레이션되고 있는 경골(5)의 전면도를 도시한다.
- [0177] 도 17의 (a)에서 볼 수 있는 바와 같이, 대퇴골(4)의 근단부는 수술 사이트(예를 들어, 고관절 영역)에서의 환자의 절개부를 통과하는 추적된 포인트를 통한 포인트-피킹에 노출될 수 있다. 전체 고관절 관절성형의 경우에, 대퇴골의 헤드부는 레지스트레이션 프로세스에서 사용되기 위한 데이터의 포인트-클라우드를 개발하기 위하여 추적되는 포인트를 통해서 포인트-피킹을 위해 노출되고 쉽게 액세스가능할 수 있다. 레지스트레이션 변환의 정확도를 증가시키기 위하여, 복수 개의 스루홀을 포함하는 바늘 템플릿(2), 바늘 추적기(3), 및 추적 바늘(1a)을 포함하는 레지스트레이션 시스템(1700)이 근위의 대퇴골의 헤드부 및 원위의 대퇴골의 융기(condyles) 사이의 거의 중간에서 대퇴골(4)의 샤프트 상에서 사용된다. 바늘 템플릿(2)은 환자의 피부에 대해서 눌러질 수 있고, 바늘 템플릿(2)은 하나 이상의 바늘(1a)이 대퇴골의 골 표면에 접촉할 때까지 환자의 피부 내로 가이드하기 위해서 사용될 수 있다. 광학 카메라(미도시)는 바늘 템플릿(2)의 위치, 및 템플릿(2)의 스루홀 중 하나 내에서의 바늘의 대응하는 위치를 감지할 수 있다.
- [0178] 따라서, 레지스트레이션 변환이 실행되면, 시스템은 대퇴골의 헤드부 상의 그리고 중간-원위의 대퇴골의 골 표면 상의 표면 포인트와 연관되는 포인트-클라우드 데이터를 사용하여 프로세스의 정확도를 높일 수 있다.
- [0179] 도 17의 (b)에서 볼 수 있는 바와 같이, 대퇴골(4)의 원단부는 수술 사이트(예를 들어, 무릎 영역)에서의 환자의 절개부를 통과하는 추적된 포인트를 통한 포인트-피킹에 노출될 수 있다. 전체 무릎 관절성형의 경우에, 대퇴골의 융기는 레지스트레이션 프로세스에서 사용되기 위한 데이터의 포인트-클라우드를 개발하기 위하여 추적되는 포인트를 통해서 포인트-피킹을 위해 노출되고 쉽게 액세스가능할 수 있다. 레지스트레이션 변환의 정확도를 증가시키기 위하여, 복수 개의 스루홀을 포함하는 바늘 템플릿(2), 바늘 추적기(3), 및 추적 바늘(1a)을 포함하는 레지스트레이션 시스템(1700)이 근위의 대퇴골의 헤드부 및 원위의 대퇴골의 융기(condyles) 사이의 거의 중간에서 대퇴골(4)의 샤프트 상에서 사용된다. 바늘 템플릿(2)은 환자의 피부에 대해서 눌러질 수 있고, 바늘 템플릿(2)은 바늘(1a)이 대퇴골의 골 표면에 접촉할 때까지 환자의 피부 내로 가이드하기 위해서 사용될 수 있다. 광학 카메라(미도시)는 바늘 템플릿(2)의 위치, 및 템플릿(2)의 스루홀 중 하나 내에서의 바늘의 대

응하는 위치를 감지할 수 있다.

- [0180] 따라서, 레지스트레이션 변환이 실행되면, 시스템은 대퇴골의 용기 상의 그리고 중간-원위의 대퇴골의 골 표면 상의 표면 포인트와 연관되는 포인트-클라우드 데이터를 사용하여 프로세스의 정확도를 높일 수 있다.
- [0181] 도 17의 (c)에서 볼 수 있는 바와 같이, 경골(5)의 근단부는 수술 사이트(예를 들어, 무릎 영역)에서의 환자의 절개부를 통과하는 추적된 포인트를 통한 포인트-피킹에 노출될 수 있다. 전체 무릎 관절성형의 경우에, 근접 경골(예를 들어, 경골 고평부(tibial plateau))는 레지스트레이션 프로세스에서 사용되기 위한 데이터의 포인트-클라우드를 개발하기 위하여 추적되는 포인트를 통해서 포인트-피킹을 위해 노출되고 쉽게 액세스가능할 수 있다. 레지스트레이션 변환의 정확도를 증가시키기 위하여, 복수 개의 스루홀을 포함하는 바늘 템플릿(2), 바늘 추적기(3), 및 추적 바늘(1a)을 포함하는 레지스트레이션 시스템(1700)이 근위의 경골 및 원위의 경골 사이의 거의 중간에서 경골(5)의 샤프트 상에서 사용된다. 바늘 템플릿(2)은 환자의 피부에 대해서 눌러질 수 있고, 바늘 템플릿(2)은 바늘(1a)이 경골의 골 표면에 접촉할 때까지 환자의 피부 내로 가이드하기 위해서 사용될 수 있다. 광학 카메라(미도시)는 바늘 템플릿(2)의 위치, 및 템플릿(2)의 스루홀 중 하나 내에서의 바늘의 대응하는 위치를 감지할 수 있다.
- [0182] 따라서, 레지스트레이션 변환이 실행되면, 시스템은 근위 경골 상의 그리고 중간-원위의 경골의 골 표면 상의 표면 포인트와 연관되는 포인트-클라우드 데이터를 사용하여 프로세스의 정확도를 높일 수 있다.
- [0183] 도 17의 (a) 내지 도 17의 (c)를 참조하여 설명된 레지스트레이션 시스템(1700)은 도 18에서 볼 수 있는 바와 같이 장골 상에서 채용될 수도 있다. 좀 더 자세하게 설명하면, 관골구 림(2) 및 관골구 관절면(acetabular articular surface; 1)이 고관절 관절성형 프로시저에서 액세스가능할 수 있다; 하지만, 장골릉선(4), 및 장골릉선의 림의 바로 아래의 구역(즉, 장골릉선(4)과 전둔근선(anterior gluteal line) 사이의 등뼈 장골체(dorsus ossis ilium)의 일부)는 일반적으로는 종래의 고관절 관절성형 프로시저에 대한 수술 절개부 내에 있지 않다. 도 18에서 볼 수 있는 바와 같이, 관골구의 관절면(1) 및 림(2)은 고관절 영역 내의 절개부를 통과하는 추적되는 포인트를 통해서 포인트-피킹될 수 있다. 관절면(1) 및 림(2)으로부터, 시스템은, 예를 들어 본 명세서에서 그 전체가 원용에 의해 포함되는 PCT/US2017/049466, 출원일 2017년 8월 30일에서 설명되는 방법에 의하여 회전 중심(COR)을 결정할 수 있다. 레지스트레이션 변환의 정확도를 증가시키기 위하여, 복수 개의 스루홀을 포함하는 바늘 템플릿(2), 바늘 추적기(3), 및 추적 바늘(1a)을 포함하는 레지스트레이션 시스템(1700)이 근위의 전후 장골릉(anterior superior iliac spine)에 근접한 장골능선(ilic crest)에서 사용된다. 바늘 템플릿(2)은 환자의 피부에 대해서 눌러질 수 있고, 바늘 템플릿(2)은 바늘(1a)이 장골의 골 표면에 접촉할 때까지 환자의 피부 내로 가이드하기 위해서 사용될 수 있다. 광학 카메라(미도시)는 바늘 템플릿(2)의 위치, 및 템플릿(2)의 스루홀 중 하나 내에서의 바늘의 대응하는 위치를 감지할 수 있다.
- [0184] 따라서, 레지스트레이션 변환이 실행되면, 시스템은 장골 상의 그리고 장골릉선 표면 상의 관골구 영역 상의 표면 포인트와 연관되는 포인트-클라우드 데이터를 사용하여 프로세스의 정확도를 증가시킬 수 있다.
- [0185] 추가적으로 또는 대안적으로, 레지스트레이션 시스템(1700) 세그먼트화될 수 있는 환자의 신체의 다른 부분, 예컨대 척추(L1, L2, L3, L4, L5) 상에서 사용될 수 있다. 장골 및 척추의 측면도인 도 19a에서 볼 수 있는 바와 같이, 추적 어레이는 환자의 장골 상에 위치설정될 수 있다. 또한, 복수 개의 스루홀을 포함하는 바늘 템플릿(2), 바늘 추적기(3), 및 추적 바늘(1a)을 포함하는 레지스트레이션 시스템(1700)이 척추의 요추의 후방 양태의 뼈 부분에서 사용될 수 있다. 바늘 템플릿(2)은 환자의 피부에 대해서 눌러질 수 있고, 바늘 템플릿(2)은 바늘(1a)이 요추의 골 표면에 접촉할 때까지 환자의 피부 내로 가이드하기 위해서 사용될 수 있다. 광학 카메라(미도시)는 바늘 템플릿(2)의 위치, 및 템플릿(2)의 스루홀 중 하나 내에서의 바늘의 대응하는 위치를 감지할 수 있다.
- [0186] 따라서, 레지스트레이션 변환이 실행되면, 시스템은 요추와 연관된 포인트-클라우드 데이터를 다른 레지스트레이션 구역과 함께 사용하여, 프로세스의 정확도를 증가시킬 수 있다. 본 명세서에서 설명되는 방법은 임의의 골 상에서 활용될 수 있고, 다리 및 요추의 뼈로 한정되지 않는다. 바늘 기반 레지스트레이션 방법은 팔, 손, 다리, 상부 신체, 및 머리의 뼈 상에서 제한없이 사용될 수 있다.
- [0187] 도 20a 내지 도 20d를 참조하는데, 이들은 척추골(2000) 및 그 안에 위치된 골 앵커(2002)의 축상 단면 이미지, 척추골(2000) 내에 부분적으로 위치되는 회전 버얼(2004)이 있는 척추골(2000)의 축상 단면 이미지, 척추골(2000) 내에 부분적으로 위치되는 회전 버얼(2004)이 있는 척추골(2000)의 다른 축상 단면 이미지, 및 척추골(2000)을 통해서 피질 골(2006)의 먼 내부 벽까지 연장되는 버얼(2004)의 축상 단면 이미지를 각각 도시한다.

- [0188] 척추 레지스트레이션에서 정확도를 얻는 것은 어려울 수 있다. 종래에는, 추적기 디바이스가 환자의 골반 내에 배치되어 요추(수술 프로시저의 대상임)가 추적기로부터 떨어져 있는 여러 비-강성 관절이 될 수 있게 한다. 따라서, 환자가 다른 자세 중에서 복와위로 위치되면(즉, 배를 바닥에 대고 위치되면), 요추를 밀어내어 요추의 위치가 변경되게 할 수 있는 큰 연조직이 존재할 수 있다. 또한, 인접한 척추골 세그먼트에 작용하면 척추가 다소 이동될 수 있다.
- [0189] 후술되는 툴, 시스템, 및 방법의 목표는 척추골(2000)의 외부 표면의 초기 침투 이후에 척추골(2000)의 내부 피질 골과의 접촉을 식별함으로써 레지스트레이션을 확정하고 개선시키는 것이다. 그러한 목적을 위하여, 도 20a는 그 안에 골 앵커(2002)가 위치된 척추골(2000)의 측상 단면 이미지를 도시한다. 도면에 보이는 바와 같이, 골 앵커(2002)의 생크(shank; 2008)는 척수(2012)와의 접촉을 피하면서 척추골(2000)의 육경(2010)을 통과하여 연장된다. 척추골(2000)은 척추골체를 둘러싸는 피질 림(2014)을 포함하는 외부 부분 또는 외부 껍질 상의 피질 골(2006)(치밀 골), 및 피질 골(2006)의 내부의 해면 골(2016)(해면 또는 해면질골(trabecular bone))을 포함한다. 피질 골(2006)은, 피질 골(2006)보다 다공성이고 더 약하며 골절되기가 더 쉬운 해면 골(2016)보다 더 강하고 더 조밀하다. 해면 골(2016)은 긴 뼈(예를 들어, 대퇴골, 경골)의 축을 이룬다. 피질 골(2006)은 척수(2012)를 둘러싸고 보호한다.
- [0190] 도 20a에서 볼 수 있는 바와 같이 골 앵커(2002)를 척추골(2000) 내에 삽입할 때, 외과의는 앵커(2002)를 도면에 도시된 바와 같이 위치시키려고 시도하는데, 여기에서 생크(2008)는 척추골(2000) 내에서 유지된다(즉, 피질 골(2006)의 어느 쪽으로도 탈출하지 않는다). 즉, 생크(2008)는 피질 골(2006)을 통과하여 처음에 관통하면 해면 골(2016) 내에서 유지된다. (2008)가 척추골(2000)의 내부 안에 배치되도록 보장하는 종래의 방법은, 외과의가 육경(2010) 근방에서 척추골(2000)의 외부 피질 층을 뚫고서, 드릴 비트의 팁이 내부 피질 표면에 접촉하는 "느낌(feel)"에 의해서 피질 표면 또는 벽의 내부 표면을 식별하려고 시도하는 것이다. 외과의가 피질 골(2006)의 내부 벽과의 접촉을 감지하면, 외과의는 더 이상 구멍을 연장하면 안 된다는 것을 알게 된다.
- [0191] 레지스트레이션 프로시저 중에, 피질 접촉이 얻어지면 골 및 버얼(2004) 사이의 접촉점이 골 위치의 레지스트레이션을 업데이트하기 위하여 사용될 수 있다. 또한, 외과의는 필요한 경우 스크류 삽입 계획을 업데이트할 수 있다. 레지스트레이션 개선은 버얼(2004)과 골의 접촉의 방향을 감지하는 로드 셀(2020)에 의해서 최적화될 수 있다. 시스템은 환자의 레지스트레이션된 위치에 대한 버얼(2004)의 위치를 추적하는 수술용 네비게이션 시스템에 기반하여, 접촉 위치를 예상된 접촉과 비교함으로써 오차를 식별할 수 있다. 만일 차이가 존재한다면, 레지스트레이션이 접촉점을 내부 레지스트레이션 포인트로서 사용함으로써 업데이트될 수 있다.
- [0192] 도 20b 내지 도 20d는 척추골(2000)을 수술용 로봇 시스템(도 20b 내지 도 20d에서는 도시되지 않지만 본 출원에서 도시되고 설명된 바와 같음)의 엔드 이펙터(2018)의 버얼(2004)을 사용하여 레지스트레이션하기 위한 시스템 및 방법을 예시한다. 일반적으로, 버얼(2004)은 육경(2010)으로의 경로를 생성하기 위하여 사용될 수 있다. 골 안으로 들어가면, 버얼(2004)은 회전을 중지하도록 셧오프될 수 있다. 외과의는 버얼(2004)을 해면 골(2016)을 통과해서 진행시킬 수 있다. 엔드 이펙터(2018) 상의 로드 셀(2020)은 버얼(2004)이 피질 골(2006)과 접촉하면 표시할 수 있을 것이다. 각각의 골 타입이 상이한 스티프니스를 가지기 때문에, 로드 셀(2020)은 해면 골(2016)을 식별하고 피질 골(2006)로부터 구별하도록 구성될 수 있다. 로드 셀(2020)은 청각적으로 또는 다른 방식으로(시각적으로, 촉각적으로) 버얼(2004)과 피질 골(2006)의 접촉을 시그널링할 수 있다. 햅틱 설정이 되면, 수술용 로봇 시스템은 특정 스티프니스 값이 도달되면 외과의가 버얼(2004)을 피질 골(2006)의 방향으로 더 연장시키는 것을 방지할 수 있다.
- [0193] 도 20b에서 볼 수 있는 바와 같이, 외과의는 육경(2010)을 통하여, 척수(2012) 주위의 피질 골(2006)과 척추골(2000)의 외부 주위의 피질 도관(2022) 사이의 최소 목부 영역 안으로 버얼(2004)을 삽입할 수 있다. 버얼(2004)은 피질 벽(2006)과 의도적으로 접촉하고 그 내부 피처를 레지스트레이션하기 위해서 옆으로 이동될 수 있다(도 20b에서 화살표로 표시된 바와 같이). 버얼(2004)은 스크류 쓰레드 획득 구역(screw thread purchase area)의 임의의 파열을 최소화하기 위해서 진입점 중심으로 피벗될 수도 있다.
- [0194] 도 20c에서 볼 수 있는 바와 같이, 외과의는 육경(2010)을 통하여, 척수(2012) 주위의 피질 골(2006)과 척추골(2000)의 외부 주위의 피질 도관(cortical con) 사이의 최소 목부 영역 안으로 버얼(2004)을 삽입할 수 있다. 버얼(2004)은 피질 도관(2022)의 내부 표면에 걸쳐서 이동되어(도 20c에서 화살표로 표시되는 바와 같이) 그 위에 레지스트레이션 표면을 매핑하거나 생성할 수 있다. 그러면, 피질 도관 상의 식별된 표면이 모델과 비교되어 레지스트레이션을 개선하거나 조절할 수 있다.
- [0195] 도 20d에서 볼 수 있는 바와 같이, 외과의는 버얼(2004)을 육경(2010)을 통하여 그리고 해면 골(2016)을 통하여

버얼(2004)이 피질 림(2014)의 먼 내부 표면과 접촉할 때까지 삽입할 수 있다. 버얼(2004)과 육경(2012)의 목부 영역의 피질 골(2006)과의 접촉이 없다면, 피질 림(2014)의 내부 표면과의 접촉이 확정될 것이다. 로드 셀(2020)이 먼 피질(cortex)을 검출하면, 시스템은 이러한 접촉을 표시할 수 있고, 레지스트레이션이 이에 따라서 업데이트되거나 개선될 수 있다.

[0196] 시스템이 버얼(2004)이 피질 골(2006)과 언제 접촉하는지를 검출하는 것에 추가하여, 시스템은 피질 골(2006)의 잠재적인 누설(breach)도 검출할 수 있다. 예를 들어, 엔드 이펙터(2018)의 로드 셀(2020)에 의해 경험되는 로드 에 의해 결정되는 바와 같이, 버얼(2004)이 피질 골(2006)과 접촉하면, 이전의 로드로부터 변하는 해당 경계 벽에서 경험되는 임의의 로드(예를 들어, 저항/스티프니스의 급격한 감소는 피질 벽이 파괴된 것을 나타냄)는 피질 표면(2006)이 잠재적으로 누설되는 것으로 여겨질 수 있다.

[0197] 특정한 경우에, 수술용 레지스트레이션을 위한 시스템 및 방법은 다음과 같을 수 있다. 시스템은 수술 중에 수집된 척추골(2000)의 환자 데이터를 좌표계 내에서 척추골의 컴퓨터 모델과 레지스트레이션할 수 있다. 척추골(2000)은 외부 표면 및 내부 표면을 가지는 피질 골격(2006), 및 피질 골격(2006)의 해면 골 내부(2016)를 포함할 수 있다. 척추골(2000)은 피질 골격(2006)에 의하여 경계지어지는 척수관(2022)을 규정할 수 있다. 특정한 경우에, 시스템은 수술용 네비게이션 시스템, 및 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스를 포함할 수 있다. 수술용 네비게이션 시스템은 추적 디바이스 및 추적 디바이스에 의하여 추적되는 적어도 하나의 툴(2018)을 포함할 수 있다. 적어도 하나의 툴은 그 원단부에서 절삭 요소(2004)를 가지는 엔드 이펙터(2018), 및 절삭 요소(2004) 상의 로드를 감지하기 위한 로드 셀(2018)을 포함할 수 있다. 컴퓨팅 디바이스는 수술용 네비게이션 시스템과 통신 상태일 수 있다. 그리고, 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 좌표계 내의 척추골의 컴퓨터 모델을 저장할 수 있다.

[0198] 특정한 경우에, 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 절삭 요소(2004)가 피질 골격(2006) 및 해면 골(2016)과 접촉하면 엔드 이펙터(2018)의 원단부에서 상기 절삭 요소(2004)에 의해 경험되는 로드와 연관된 로드 데이터를 수신할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 로드 데이터에 기반하여, 절삭 요소(2004)가 피질 골격(2006)의 내부 표면에 언제 접촉하는지를 더 식별할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 척추골(2000)과 연관된 데이터의 포인트-클라우드를 더 수신할 수 있다. 데이터의 포인트-클라우드는 절삭 요소(2004)를 통해 수집되는 피질 골격(2006)의 내부 표면 상의 좌표 위치를 포함할 수 있다. 적어도 하나의 컴퓨팅 디바이스는 척추골(2000)과 연관된 데이터의 포인트-클라우드를 공통 좌표계 내의 척추골의 컴퓨터 모델과 레지스트레이션하기 위한 변환을 실행하거나 업데이트할 수도 있다.

[0199] VI. 예시적인 컴퓨팅 시스템

[0200] 도 21을 참조하면, 본 명세서에서 논의되는 다양한 시스템 및 방법을 구현할 수 있는 하나 이상의 컴퓨팅 유닛을 가지는 예시적인 컴퓨팅 시스템(3000)의 상세한 설명이 제공된다. 컴퓨팅 시스템(3000)은 관절성형 프로시저(예를 들어, 레지스트레이션)의 수술전 또는 수술중 플레닝에서 활용되는 컴퓨터 또는 시스템의 임의의 것, 및 다른 컴퓨팅 또는 네트워크 디바이스에 적용될 수 있다. 이러한 디바이스들의 특정한 구현형태가, 본 명세서에서 그 전부가 구체적으로 설명되지는 않지만 당업자들에 의해서 이해될 수 있는 가능한 특정 컴퓨팅 아키텍처의 것일 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0201] 컴퓨터 시스템(3000)은 컴퓨터 프로세스를 실행하기 위하여 컴퓨터 프로그램 제품을 실행할 수 있는 컴퓨팅 시스템일 수 있다. 데이터 및 프로그램 파일이 컴퓨터 시스템(3000)에 입력될 수 있고, 이것은 파일을 읽고 그 안의 프로그램을 실행한다. 하나 이상의 하드웨어 프로세서(3002), 하나 이상의 데이터 저장 디바이스(3004), 하나 이상의 메모리 디바이스(3008), 및/또는 하나 이상의 포트(3008-3010)를 포함하는 컴퓨터 시스템(3000)의 요소 중 일부가 도 21에 도시된다. 또한, 당업자들에 의해 인식될 다른 요소들도 컴퓨팅 시스템(3000)에 포함될 수 있지만 21에는 명시적으로 도시되지 않거나 본 명세서에서 더 상세하게 설명되지 않는다. 컴퓨터 시스템(3000)의 다양한 요소는 하나 이상의 통신 버스, 점대점 통신 경로, 또는 도 21에서 명시적으로 도시되지 않는 다른 통신 수단으로써 서로 통신할 수 있다.

[0202] 프로세서(3002)는, 예를 들어 중앙 처리 유닛(CPU), 마이크로프로세서, 마이크로컨트롤러, 디지털 신호 프로세서(DSP), 및/또는 하나 이상의 내부 캐시 레벨을 포함할 수 있다. 하나 이상의 프로세서(3002)가 존재할 수 있어서, 프로세서(3002)는 하나의 중앙-처리 유닛, 또는 서로에 대해 병렬적으로 명령을 실행하고 동작을 수행할 수 있고 개괄적으로 병렬 처리 환경으로 불리는 복수 개의 처리 유닛을 포함하게 된다.

[0203] 컴퓨터 시스템(3000)은 종래의 컴퓨터, 분산 컴퓨터, 또는 클라우드 컴퓨팅 아키텍처를 통해 이용가능해지는 하

나 이상의 외부 컴퓨터와 같은 컴퓨터일 수 있다. 본 명세서에서 설명된 기술은 선택적으로, 데이터 저장 디바이스(들)(3004)에 저장된 소프트웨어로 구현되고, 메모리 디바이스(들)(3006)에 저장되며, 및/또는 하나 이상의 포트(3008-3010)를 통해서 통신되어, 도 21의 컴퓨터 시스템(3000)을 본 명세서에서 설명되는 동작을 구현하기 위한 특수 목적 머신으로 변환시킨다. 컴퓨터 시스템(3000)의 예에는 개인용 컴퓨터, 단말기, 워크스테이션, 모바일 폰, 태블릿, 랩탑, 개인용 컴퓨터, 멀티매체 콘솔, 게이밍 콘솔, 셋톱 박스 등이 있다.

[0204] 하나 이상의 데이터 저장 디바이스(3004)는, 컴퓨팅 시스템(3000) 내에서 생성되거나 채용되는 데이터, 예컨대 컴퓨터 프로세스를 수행하기 위한 컴퓨터 실행가능 명령을 저장할 수 있는 임의의 비-휘발성 데이터 저장 디바이스를 포함할 수 있는데, 이러한 저장 디바이스는 애플리케이션 프로그램 및 컴퓨팅 시스템(3000)의 다양한 구성 요소를 관리하는 운영 체제(OS) 양자 모두의 명령을 포함할 수 있다. 데이터 저장 디바이스(3004)는 자기 디스크 드라이브, 광학 디스크 드라이브, 고상 드라이브(SSDs), 플래시 드라이브 등을 비한정적으로 포함할 수 있다. 데이터 저장 디바이스(3004)는 하나 이상의 데이터베이스 관리 제품, 웹 서버 제품, 애플리케이션 서버 제품, 및/또는 다른 추가적 소프트웨어 구성 요소를 포함하는 이러한 컴퓨터 프로그램 제품을 가지고 있는 착탈식 데이터 저장 매체, 비-착탈식 데이터 저장 매체, 및/또는 유선 또는 무선 네트워크 아키텍처를 통해 이용가능해지는 외부 저장 디바이스를 포함할 수 있다. 착탈식 데이터 저장 매체의 예에는 콤팩트 디스크 판독전용 메모리(CD-ROM), 디지털 다기능 디스크 판독전용 메모리(DVD-ROM), 자기광학적 디스크, 플래시 드라이브 등이 있을 수 있다. 비-착탈식 데이터 저장 매체의 예에는 내부 자기 하드 디스크, SSD 등이 있다. 하나 이상의 메모리 디바이스(3006)는 휘발성 메모리(예를 들어, 동적 랜덤 액세스 메모리(DRAM), 정적 랜덤 액세스 메모리(SRAM) 등) 및/또는 비-휘발성 메모리(예를 들어, 판독-전용 메모리(ROM), 플래시 메모리 등)가 있을 수 있다.

[0205] 본 명세서에서 설명된 기술에 따른 시스템 및 방법을 구현하기 위한 메커니즘을 보유하는 컴퓨터 프로그램 제품은 데이터 저장 디바이스(3004) 및/또는 메모리 디바이스(3006)에 상주할 수 있는데, 이들은 머신-판독가능 매체라고 불릴 수 있다. 머신-판독가능 매체가 머신에 의한 실행을 위해서 본 발명의 임의의 하나 이상의 동작을 수행하기 위한 명령을 저장 또는 인코딩할 수 있거나 이러한 명령에 의해 활용되거나 이러한 명령과 연관되는 데이터 구조체 및/또는 모듈을 저장 또는 인코딩할 수 있는 임의의 유형의 비-일시적 매체를 포함할 수 있다는 것이 이해될 것이다. 머신-판독가능 매체는 하나 이상의 실행가능한 명령 또는 데이터 구조체를 저장하는 단일 매체 또는 다수의 매체(예를 들어, 집중형 또는 분산형 데이터베이스, 및/또는 연관된 캐시 및 서버)를 포함할 수 있다.

[0206] 일부 구현형태들에서, 컴퓨터 시스템(3000)은 다른 컴퓨팅, 네트워크, 네비게이션, 또는 로봇 디바이스와 통신하기 위한 입력/출력(I/O) 포트(3008) 및 통신 포트(3010)와 같은 하나 이상의 포트를 포함한다. 포트(3008-3010)가 결합되거나 개별적일 수 있으며 컴퓨터 시스템(3000) 내에 더 많거나 적은 포트가 포함될 수 있다는 것이 이해될 것이다.

[0207] I/O 포트(3008)는 I/O 디바이스 또는 다른 디바이스에 연결될 수 있고, 이것을 통하여 정보가 컴퓨팅 시스템(3000)에 입력되거나 그로부터 출력된다. 이러한 I/O 디바이스는 하나 이상의 입력 디바이스, 또는 출력 디바이스, 예컨대, 예를 들어 로봇 암, 및 네비게이션 및 추적 시스템을 포함할 수 있다.

[0208] 일 구현형태에서, 입력 디바이스는 인간 음성, 물리적 이동, 물리적 터치 또는 압력, 및/또는 기타 등등과 같은 인간-생성 신호를 I/O 포트(3008)를 통해 컴퓨팅 시스템(3000)으로 입력되는 입력 데이터로 변환한다. 이와 유사하게, 출력 디바이스는 I/O 포트(3008)를 통해 컴퓨팅 시스템(3000)으로부터 수신된 전기 신호를 사람에 의해 출력되는 것으로 감지될 수 있는 출력, 예컨대 음향, 광, 및/또는 터치로 변환할 수 있다. 입력 디바이스는 정보 및/또는 명령 모음을 I/O 포트(3008)를 통해 프로세서(3002)로 통신하기 위한, 영숫자 및 다른 키를 포함하는 영숫자 입력 디바이스일 수 있다. 입력 디바이스는: 마우스, 트랙볼, 커서 방향 키, 조이스틱, 및/또는 휠과 같은 방향 및 선택 제어 디바이스; 카메라, 마이크로폰, 위치 센서, 배향 센서, 중력의 센서, 관성 센서, 및/또는 가속도계와 같은 하나 이상의 센서; 및/또는 터치-감응 디스플레이 스크린("터치스크린"), 및/또는 네비게이션 및 추적 시스템과 연관된 추적/탐지 디바이스를 비한정적으로 포함하는 다른 타입의 사용자 입력 디바이스일 수 있다. 출력 디바이스는 디스플레이, 터치스크린, 스피커, 촉각적 및/또는 햅틱 출력 디바이스, 및/또는 기타 등등을 비한정적으로 포함할 수 있다. 일부 구현형태들에서, 입력 디바이스 및 출력 디바이스는, 예를 들어 터치스크린의 경우에는 동일한 디바이스일 수 있다.

[0209] 일 구현형태에서, 통신 포트(3010)는 네트워크에 연결되는데, 통신 포트를 통해서 컴퓨터 시스템(3000)이 본 명세서에 설명된 방법 및 시스템을 실행하는 데에 유용한 네트워크 데이터를 수신하고 결정된 정보 및 네트워크 구성 변화를 송신할 수 있다. 다르게 말하면, 통신 포트(3010)는 컴퓨터 시스템(3000)을, 컴퓨팅 시스템(3000)

및 다른 디바이스 사이에서 하나 이상의 유선 또는 무선 통신 네트워크 또는 연결을 이용하여 정보를 송신 및/또는 수신하도록 구성되는 하나 이상의 통신 인터페이스 디바이스로 연결한다. 이러한 네트워크 또는 연결의 예에는 비한정적으로 범용 시리얼 버스(USB), 이더넷, Wi-Fi, Bluetooth®, 근거리장 통신(NFC), LTE(Long-Term Evolution) 등이 있다. 하나 이상의 이러한 통신 인터페이스 디바이스는, 점대점 통신 경로를 통해 직접적으로, 광역 네트워크(WAN)(예를 들어, 인터넷)를 통해, 근거리 네트워크(LAN)를 통해, 셀룰러(예를 들어, 3세대(3G) 또는 4세대(4G) 네트워크를 통해, 또는 다른 통신 수단을 통해, 하나 이상의 다른 머신으로 통신하기 위해서 통신 포트(3010)를 통해서 활용될 수 있다. 더 나아가, 통신 포트(3010)는 안테나 또는 전자기 신호 송신 및/또는 수신을 위한 다른 링크와 통신할 수 있다.

[0210] 예시적인 구현형태에서, 환자 데이터, 골 모델(예를 들어, 일반적인, 환자 특이적), 변환 소프트웨어, 추적 및 네비게이션 소프트웨어, 레지스트레이션 소프트웨어, 및 다른 소프트웨어 및 다른 모듈 및 서비스는 데이터 저장 디바이스(3004) 및/또는 메모리 디바이스(3006) 상에 저장된 명령에 의해 구체화되고 프로세서(3002)에 의해 실행될 수 있다. 컴퓨터 시스템(3000)은 수술 시스템(100)과 통합되거나 그 일부를 형성할 수 있다. 시스템은 제 1 골에서 수술중 수집된 환자 데이터를 공통 좌표계에서 제 1 골의 컴퓨터 모델과 레지스트레이션하도록 구성될 수 있다. 제 1 골은 제 2 골과 결합하여, 예를 들어 여러 가지 중에서 고관절, 무릎 관절, 견관절, 팔꿈치 관절, 또는 발목 관절과 같은 관절을 형성할 수 있다. 시스템은 추적 디바이스 및 이동시에 추적 디바이스에 의해 추적되는 툴(예를 들어, 네비게이션 프로브, 수술용 로봇 암의 단부)을 포함하는 수술용 네비게이션 시스템을 포함할 수 있다. 또한, 시스템은 네비게이션 시스템과 통신하는 컴퓨팅 디바이스(하나 이상)를 포함할 수 있다. 컴퓨팅 디바이스는 다음 단계를 수행할 수 있다: 1) 골의 오목부의 관절 표면 상의 수술 중에 수집된 제 1 포인트로부터 환자 데이터의 제 1 데이터 포인트를 수신한다. 제 1 데이터 포인트는 적어도 하나의 툴을 사용하여 수집될 수 있다. 제 1 데이터 포인트는 위치에 있어서 컴퓨터 모델 상의 제 1 관절 영역에 대응할 수 있다. 2) 제 1 골 상의 수술 중에 수집된 제 2 포인트로부터 제 2 데이터 포인트를 수신한다. 제 2 데이터 포인트는 적어도 하나의 툴을 사용하여 수집될 수 있다. 제 2 데이터 포인트는 위치에 있어서 컴퓨터 모델 상의 제 2 가상 데이터 포인트에 대응할 수 있다. 3) 제 1 데이터 포인트로부터 수술중 회전 중심을 결정한다. 수술중 회전 중심은 제 1 골에 상대적인 제 2 골의 물리적 회전 중심에 대응할 수 있다. 4) 가상 회전 중심과 제 2 가상 데이터 포인트 사이의 제 1 거리를 수술중 회전 중심과 제 2 데이터 포인트 사이의 제 2 거리와 비교한다. 그리고, 5) 위치와 배향에 관하여 대응하도록 환자 데이터 및 컴퓨터 모델을 가지고 변환을 실행한다.

[0211] 도 21에서 설명된 시스템은 본 발명의 양태를 채용하거나 그에 따라 구성될 수 있는 컴퓨터 시스템의 오직 하나의 가능한 예일 뿐이다. 본 명세서에서 설명된 기술을 컴퓨팅 시스템에서 구현하기 위한 컴퓨터-실행가능 명령을 저장하는 다른 비-일시적 유형의 컴퓨터-판독가능 저장 매체가 이용될 수도 있다는 것이 이해될 것이다.

[0212] 본 명세서에서, 여러 가지 중에서 여기에서 설명된 방법들, 예를 들어 도 5에 도시된 것들은 디바이스에 의해 판독가능한 명령 또는 소프트웨어의 세트로서 구현될 수 있다. 더 나아가, 개시된 방법의 단계들의 특정 순서 또는 계층구조는 예시적인 접근법의 예들이라는 것이 이해된다. 설계 선호 사항들에 기초하여, 방법의 단계들의 특정 순서 또는 계층구조는 개시된 기술 요지에 속하면서 재정렬될 수 있다는 것이 이해된다. 첨부된 방법 청구항들은 여러 단계들의 요소들을 샘플 순서로 제시하지만, 반드시 제시된 특정 순서 또는 계층구조로 제한되는 것을 의미하지는 않는다.

[0213] 본 명세서에서 설명되는 방법 중 임의의 것을 포함하는 설명된 내용은 컴퓨터 프로그램 제품, 소프트웨어, 또는 저장된 명령을 가지는 비-일시적 머신-판독가능 매체로서 제공될 수 있으며, 이들은 본 발명에 따른 프로세스를 수행하도록 컴퓨터 시스템(또는 다른 전자 디바이스)을 프로그래밍하기 위해 사용될 수 있다. 머신-판독가능 매체는 머신(예컨대, 컴퓨터)에 의해 판독가능한 형태(예를 들어, 소프트웨어, 프로세싱 애플리케이션)로 정보를 저장하기 위한 임의의 메커니즘을 포함한다. 머신-판독가능 매체는, 자기 저장 매체; 광학 저장 매체; 자기-광학식 저장 매체; 판독 전용 메모리(ROM); 랜덤 액세스 메모리(RAM); 소거가능 프로그램가능 메모리(예컨대, EPROM 및 EEPROM); 플래시 메모리; 또는 전자 명령어들을 저장하기에 적합한 매체의 다른 타입들을 포함할 수도 있지만 이것들로 제한되는 것은 아니다.

[0214] 본 발명이 다양한 구현형태를 참조하여 설명되었지만, 이러한 실시형태들은 예시적인 것이고 본 발명의 범위는 이들로 한정되지 않는다는 것이 이해될 것이다. 많은 변경, 변형, 부가, 및 개량이 가능하다. 좀 더 일반적으로, 본 발명에 따르는 실시예는 특정 구현형태의 컨텍스트에서 설명되었다. 기능성은 본 발명의 다양한 실시예들에서 상이하게 분리되거나 블록으로 결합될 수 있고, 또는 상이한 용어로 기술될 수 있다. 이러한 그리고 다른 개조들, 변형들, 부가들, 및 개량들은 후속하는 청구항에서 규정되는 본 발명의 범위 내에 속할 수 있다. 예를 들어, 상세한 설명이 고관절을 수반하는 방법에 대해 논의하지만, 본 발명은 여러 가지 중에서 어깨,

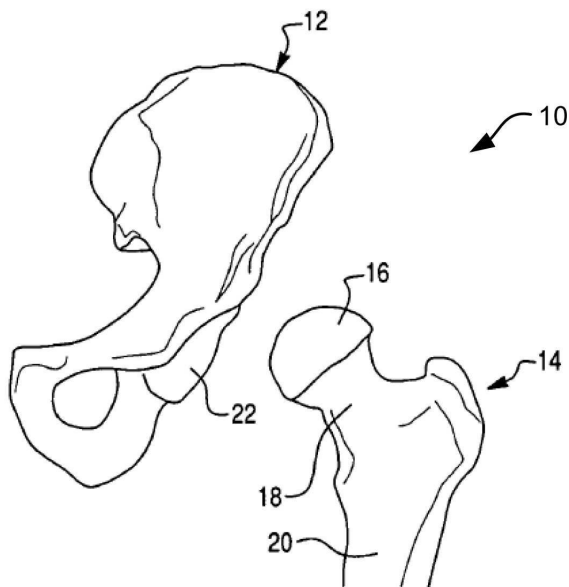
발목, 및 척추를 포함하는 다른 관절 에도 유사하게 적용가능하다.

[0215] 일반적으로, 본 명세서에서 설명되는 실시예가 특정 실시예를 참조하여 설명되었지만, 본 발명의 사상과 범위로 부터 벗어나지 않으면서 수정이 가해질 수 있다. 또한, "포함하는"이라는 용어가 본 명세서에서 사용될 때 포함형으로, 즉 "포함하지만 그것으로 한정되지는 않음"을 의미하도록 의도된다는 것에 주의한다.

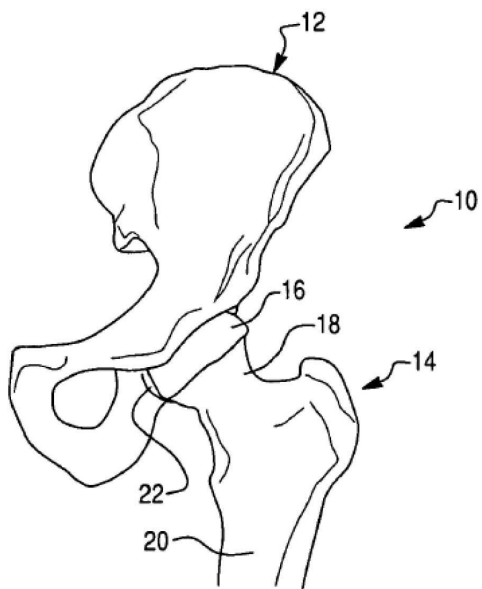
[0216] 다양한 예시적인 실시예에서 도시되는 바와 같은 시스템 및 방법의 구성과 배열은 예시적인 것일 뿐이다. 비록 본 명세서에서는 몇 가지의 실시예들만이 상세히 설명되었지만, 많은 변형예들(예를 들어, 크기, 치수, 구조, 형상 및 다양한 요소들의 비율, 파라미터의 값, 마운팅 장치, 재료의 용도, 색상, 배향 등의 변형)이 가능하다. 예를 들어, 구성 요소들의 위치는 반전되거나 그렇지 않으면 변경될 수 있고, 이산 요소 또는 위치의 성질 또는 개수는 변하거나 변경될 수 있다. 따라서, 이러한 변형예들은 본 발명의 범위 내에 속하게 되도록 의도된다. 임의의 프로세스 또는 방법 단계의 순서 또는 시퀀스는 다른 실시예에 따라서 변경되거나 다시 순서결정될 수 있다. 본 발명의 범위에서 벗어나지 않으면서 예시적인 실시예의 디자인, 동작 조건 및 배열에 있어서 다른 치환, 변경, 변화, 및 생략이 이루어질 수 있다.

도면

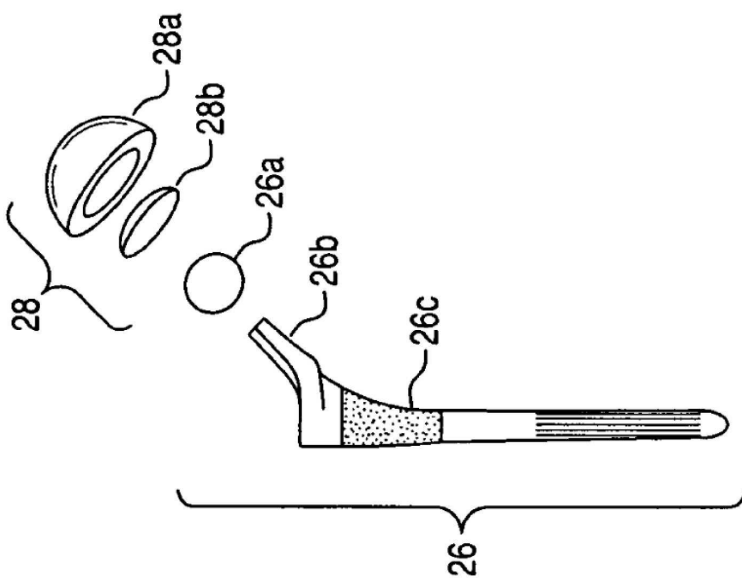
도면1a



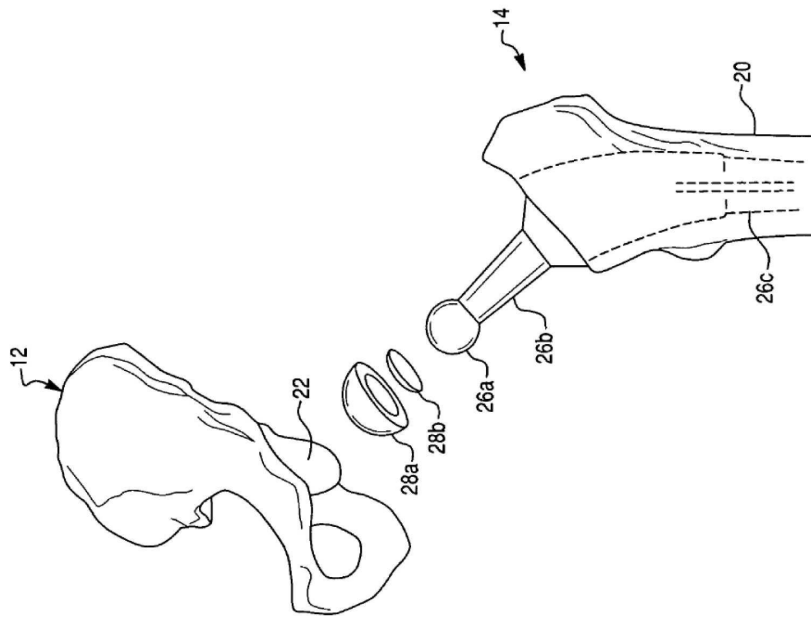
도면1b



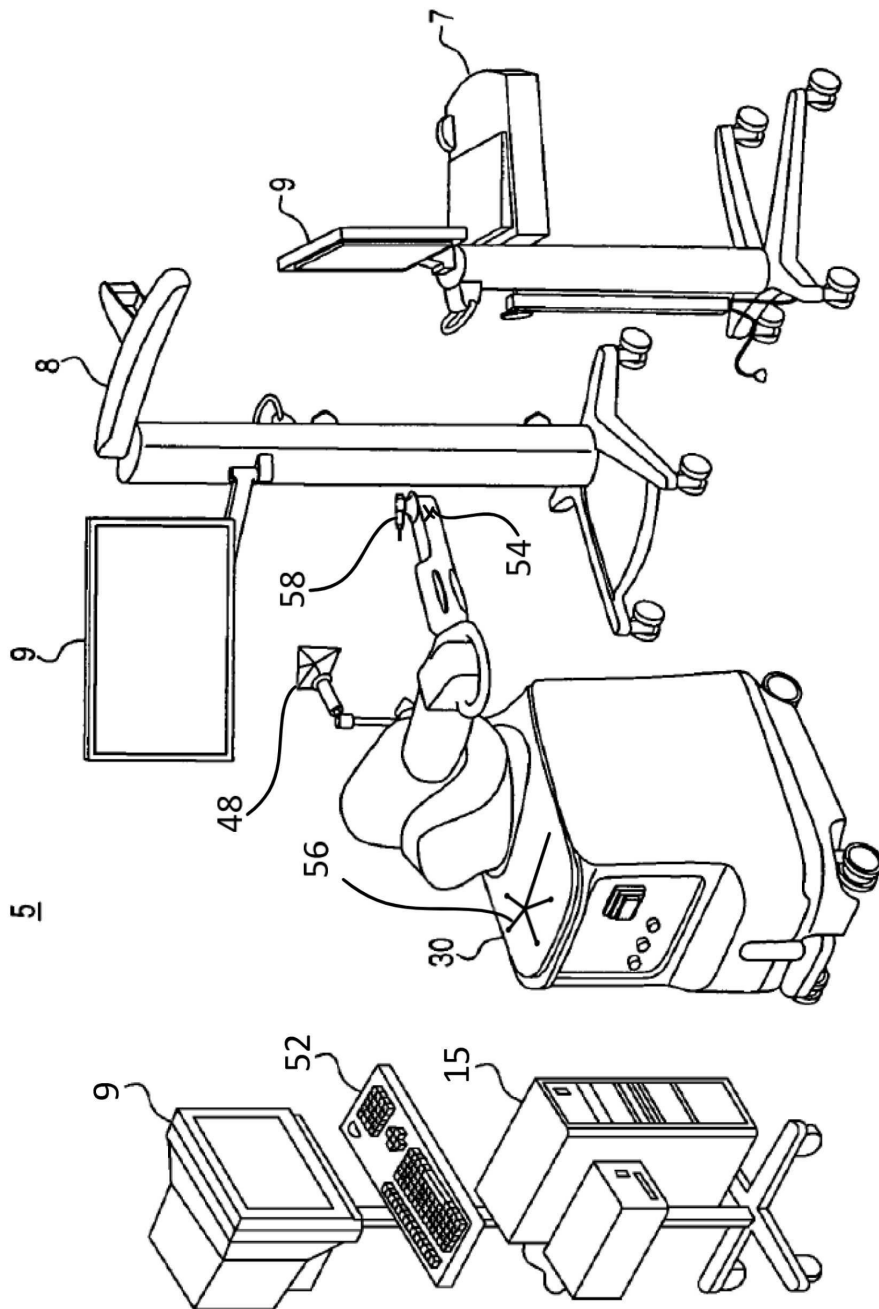
도면2a



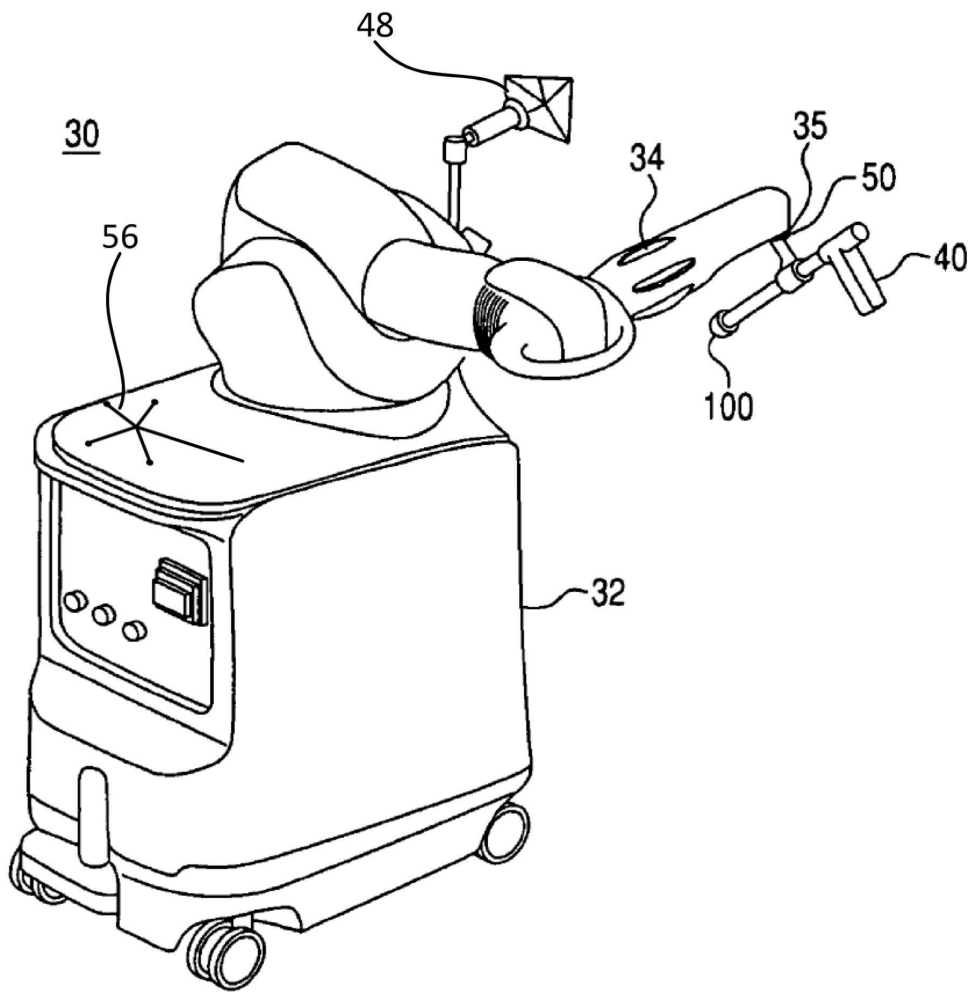
도면2b



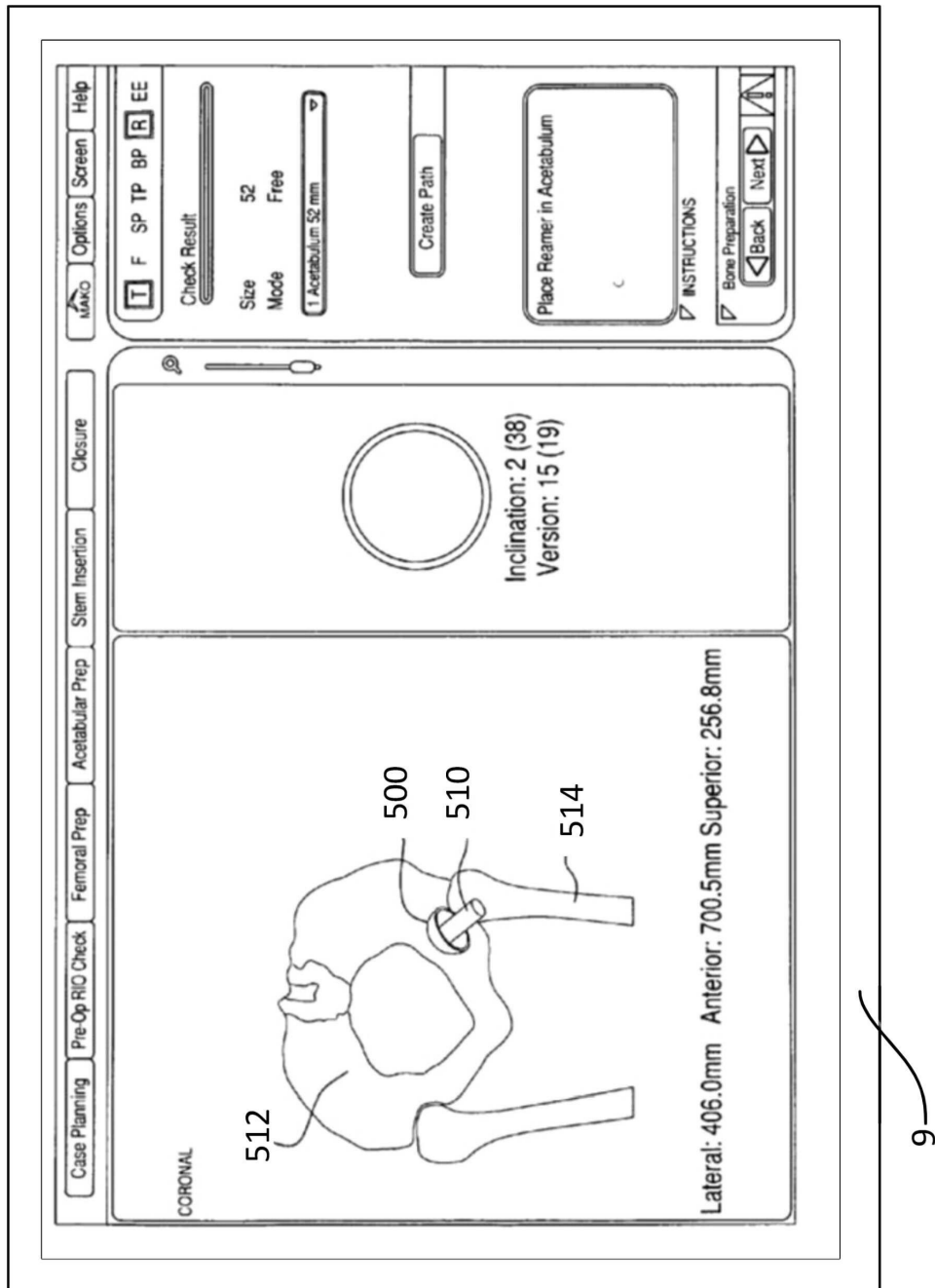
도면3a



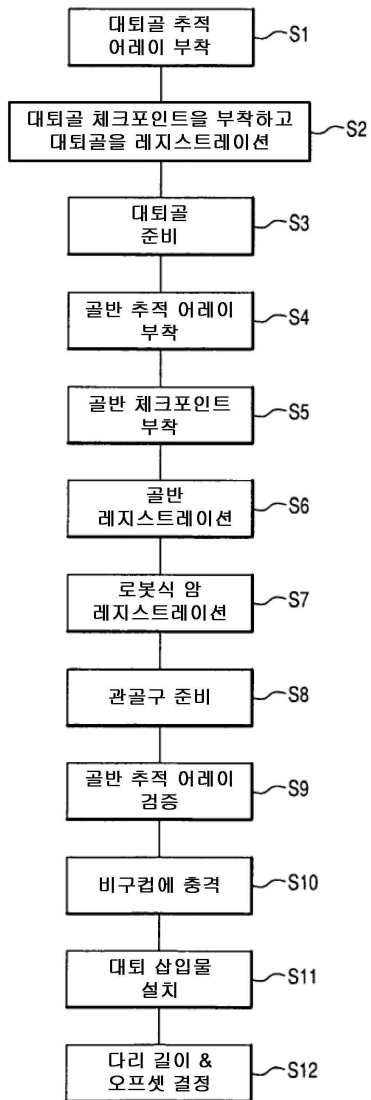
도면3b



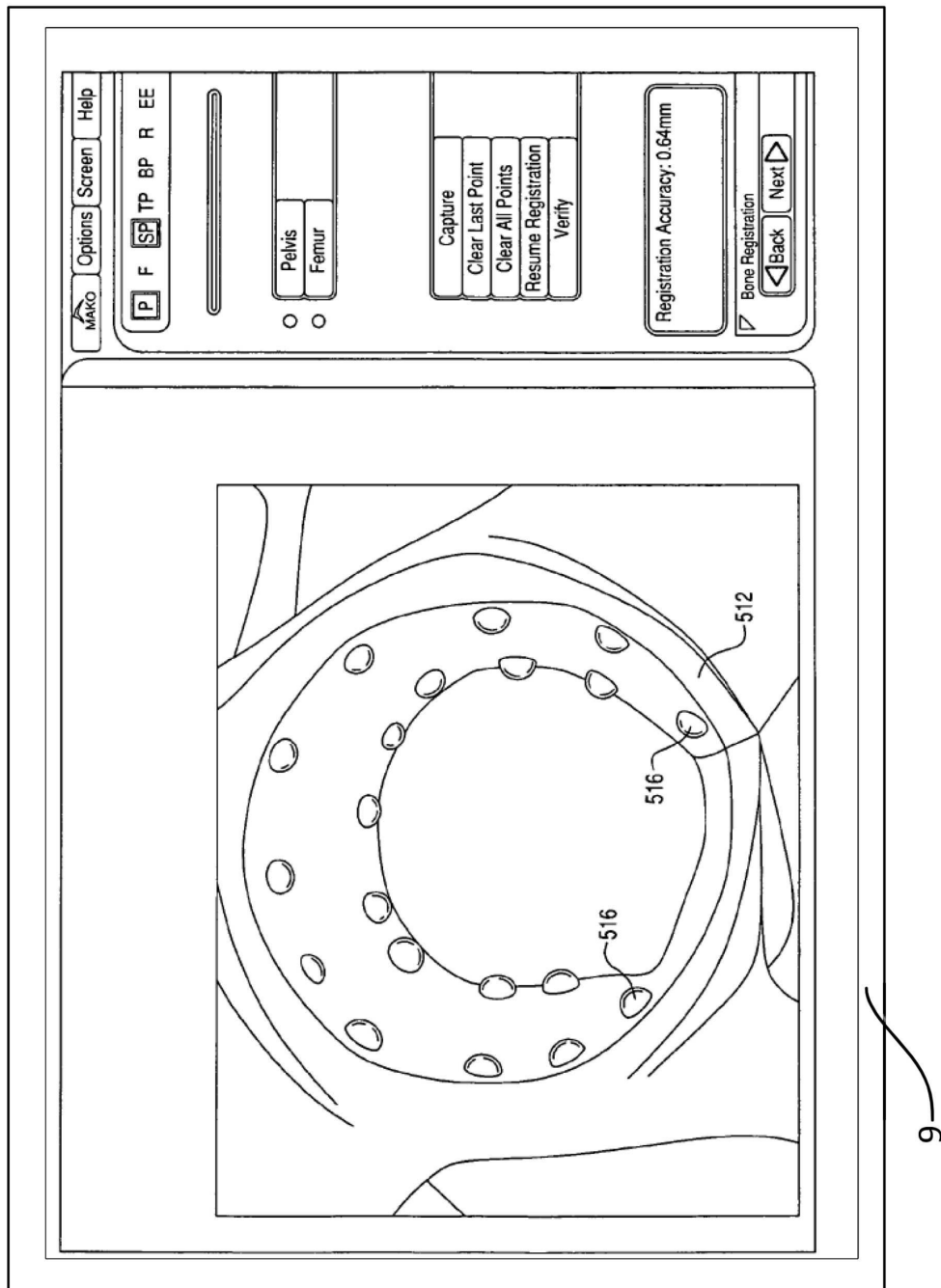
도면4



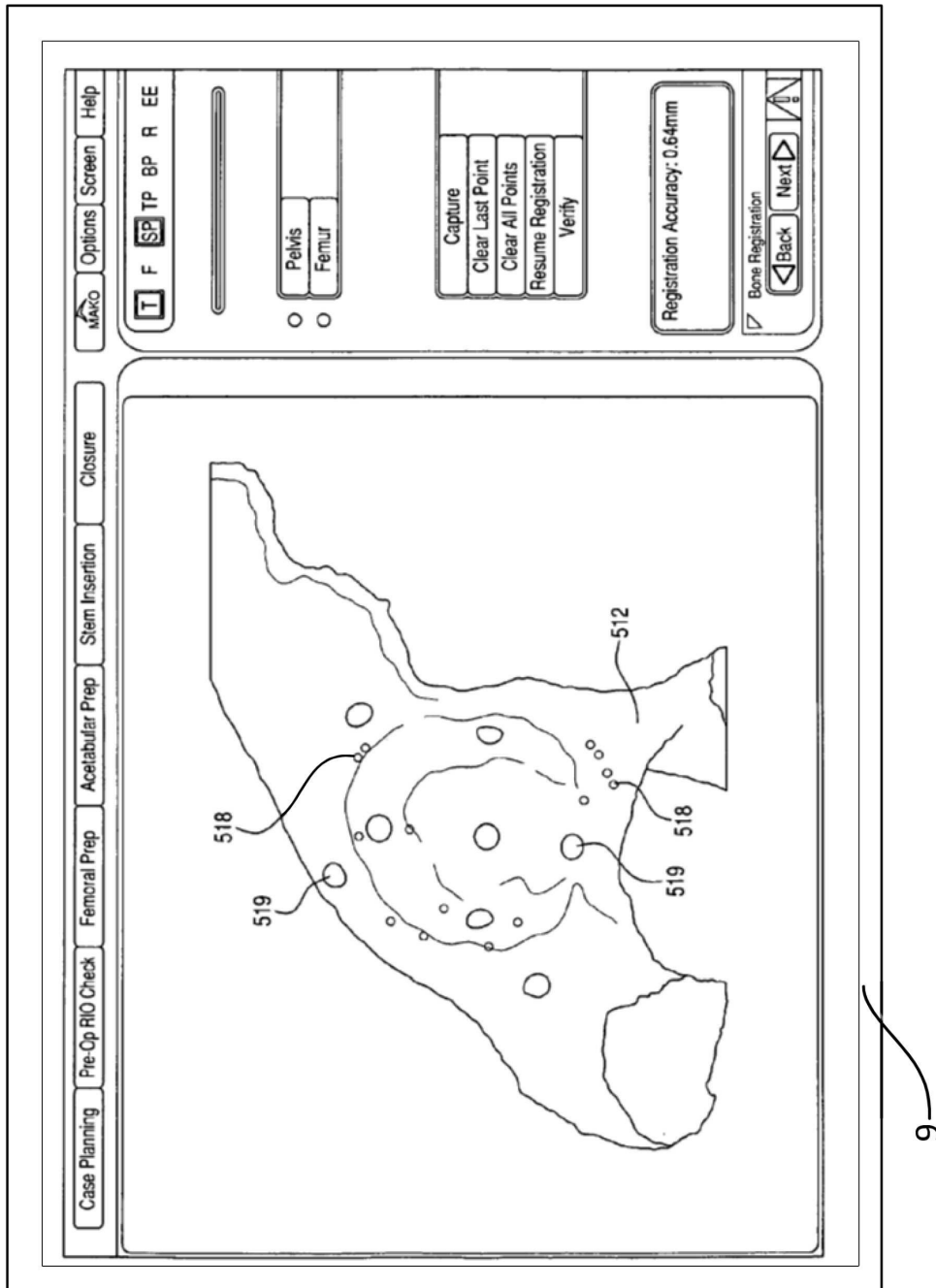
도면5



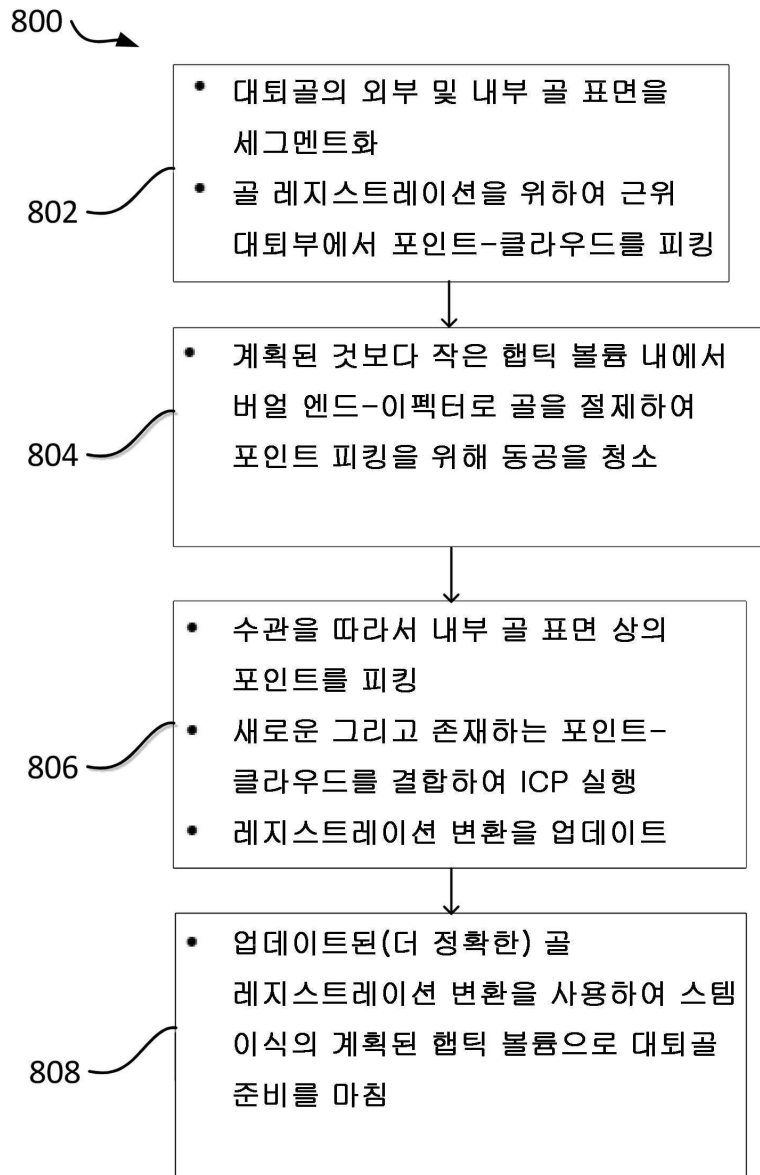
도면6



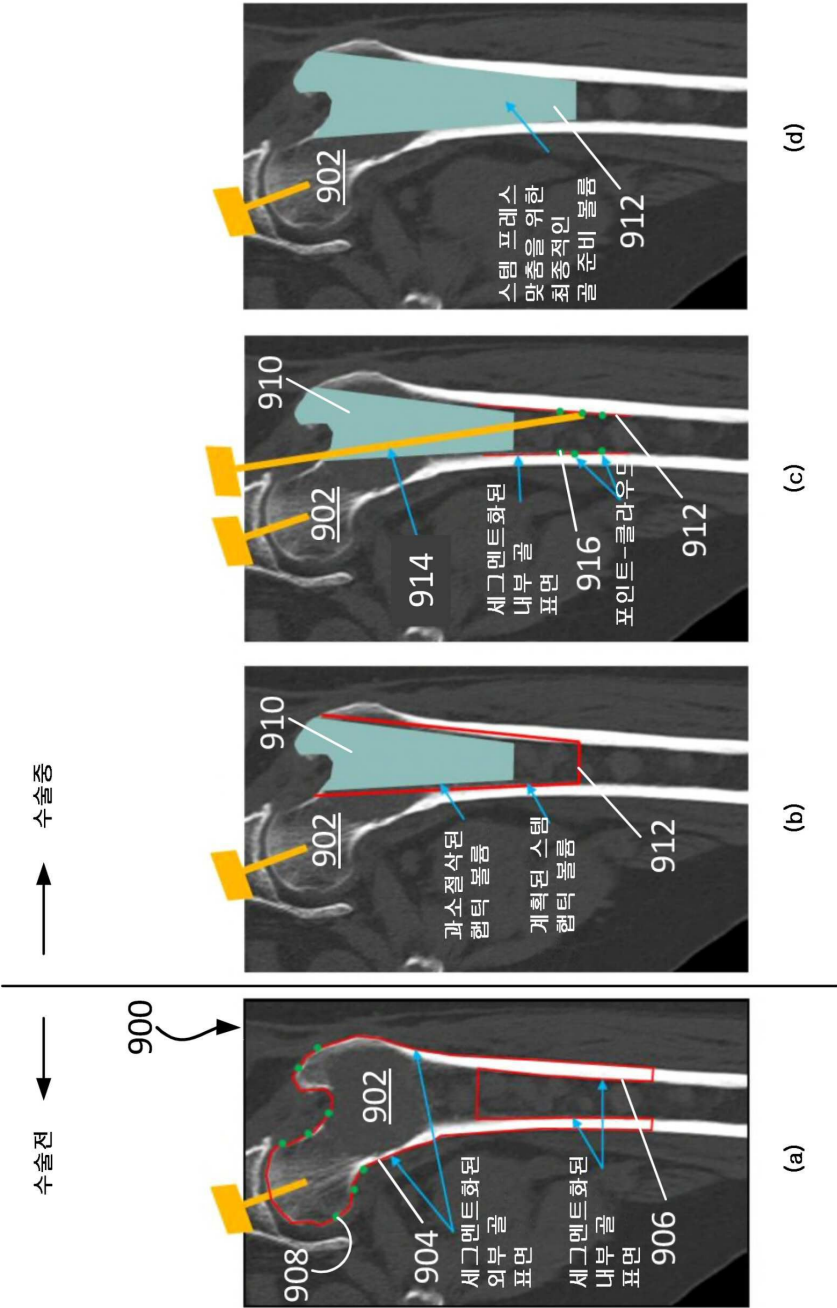
도면7



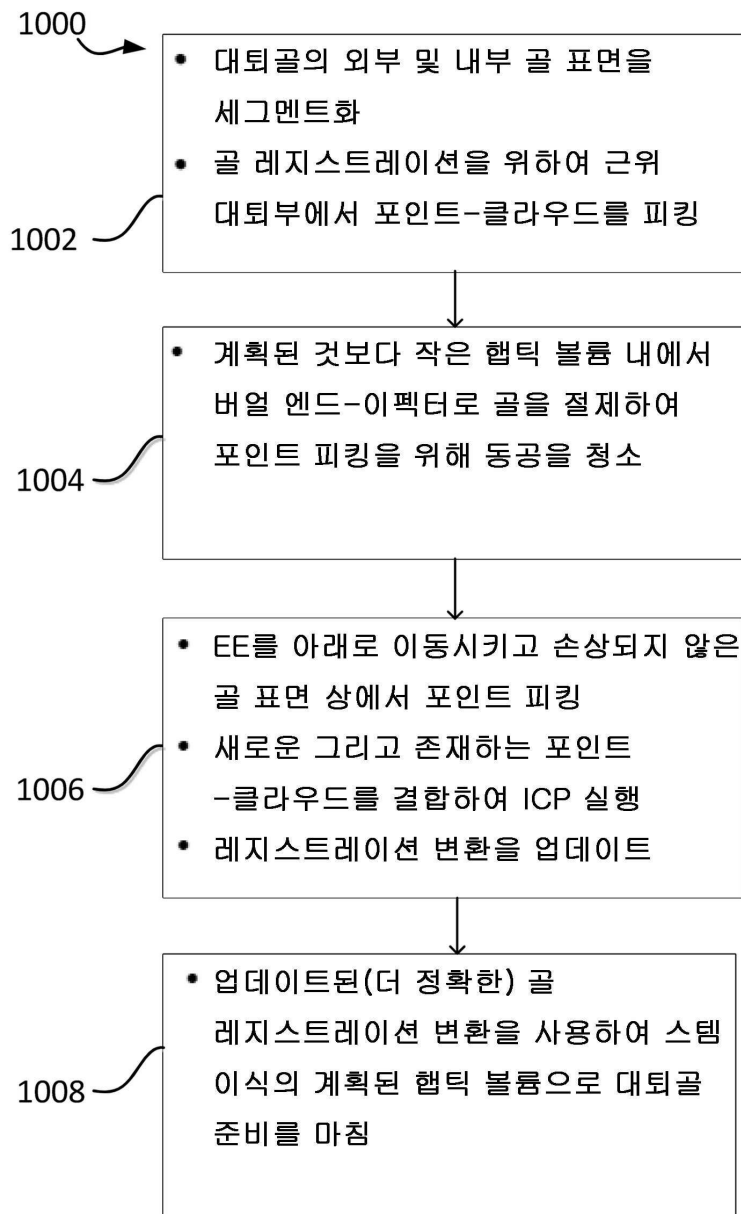
도면8



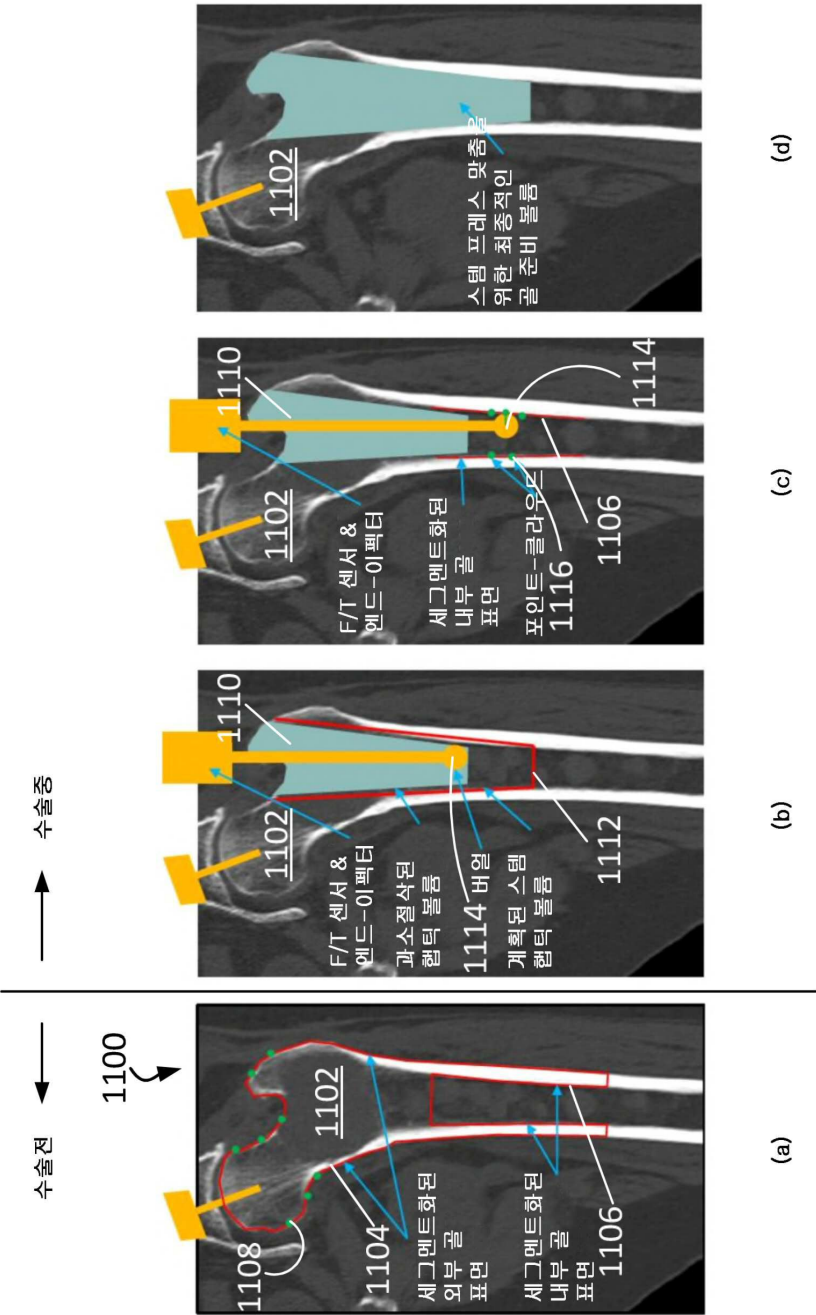
도면9



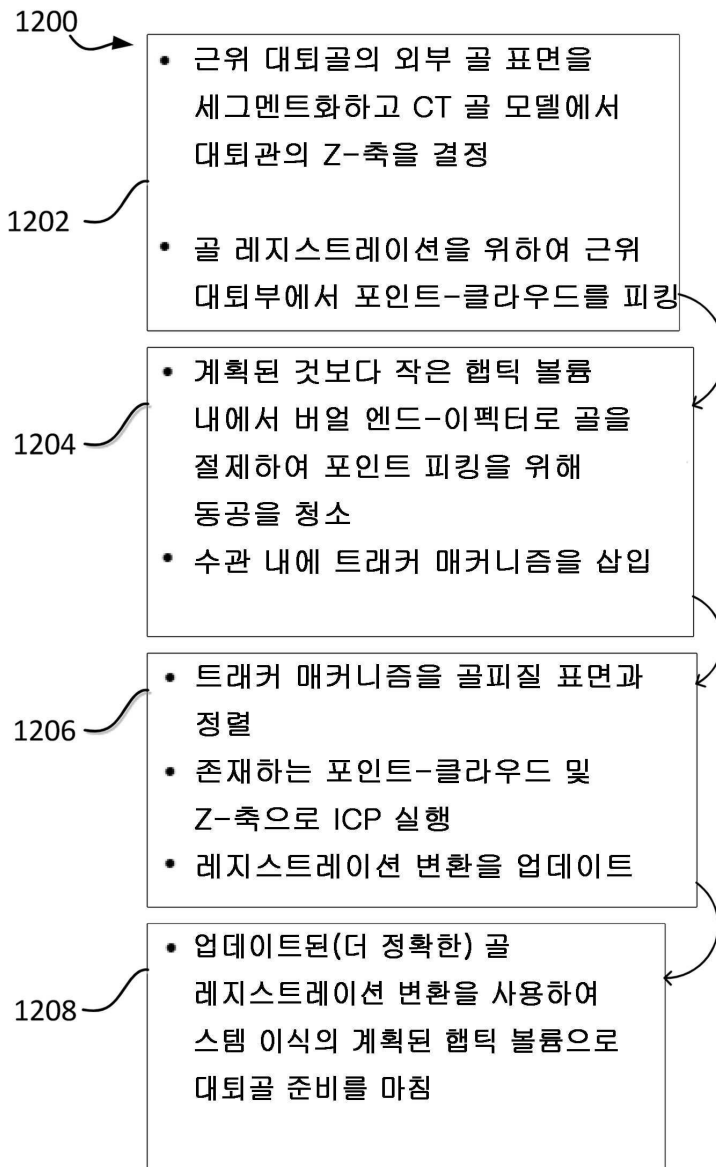
도면10



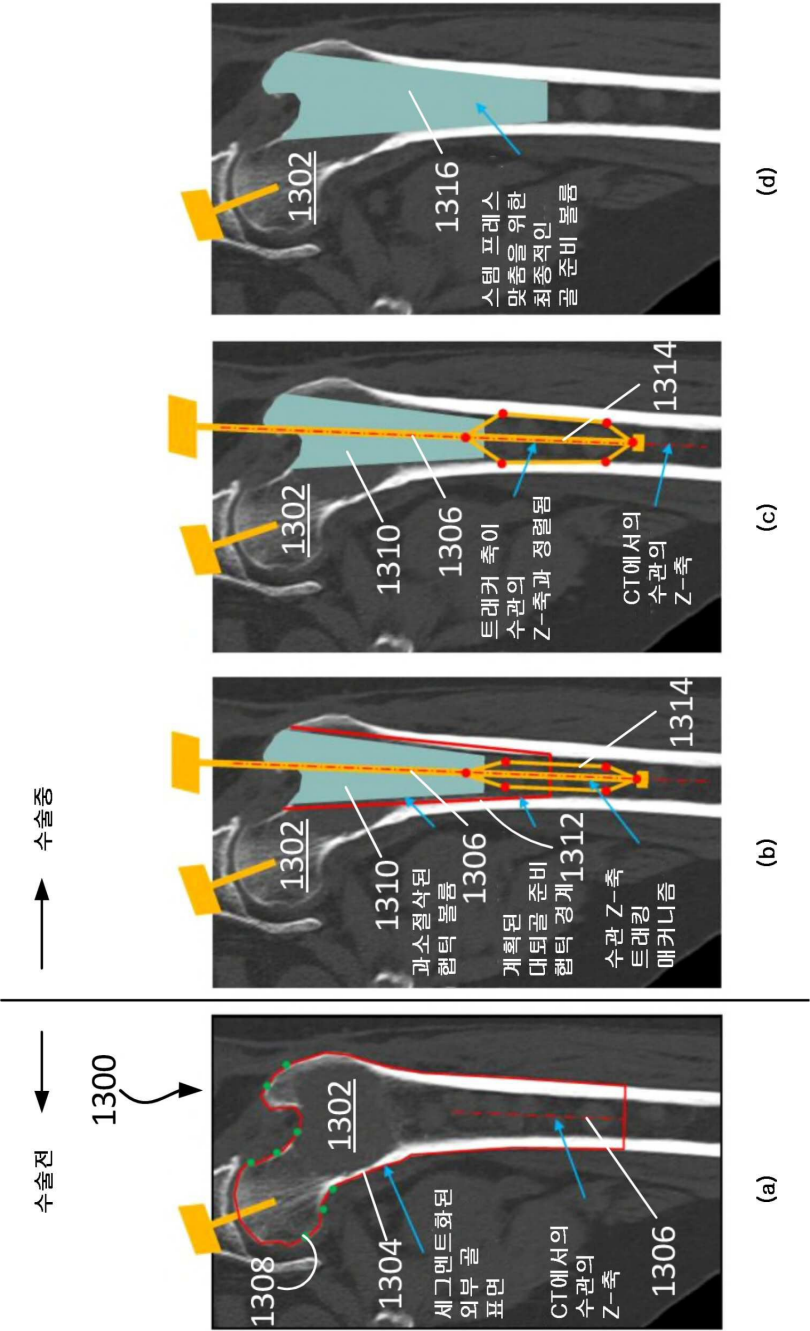
도면11



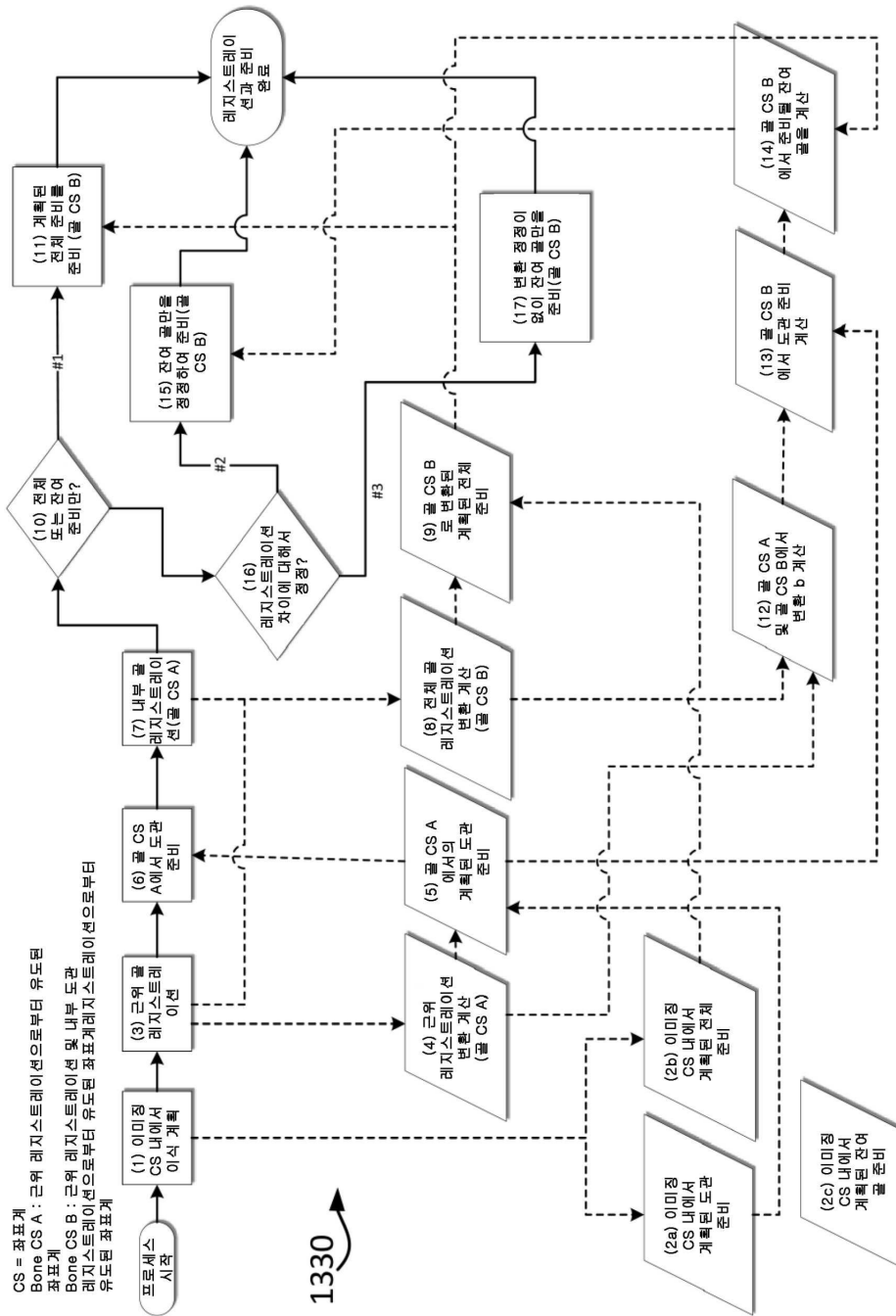
도면12



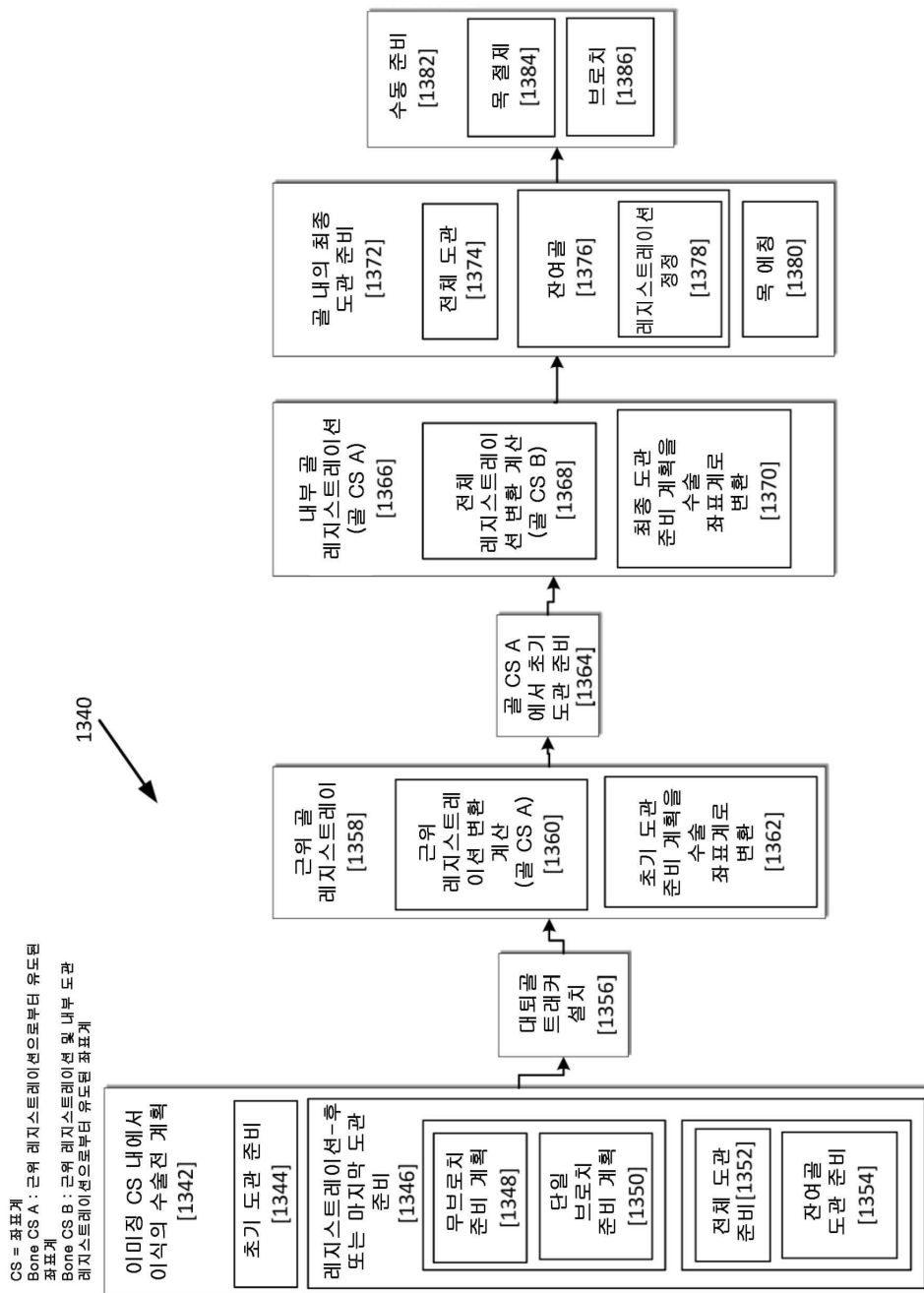
도면13



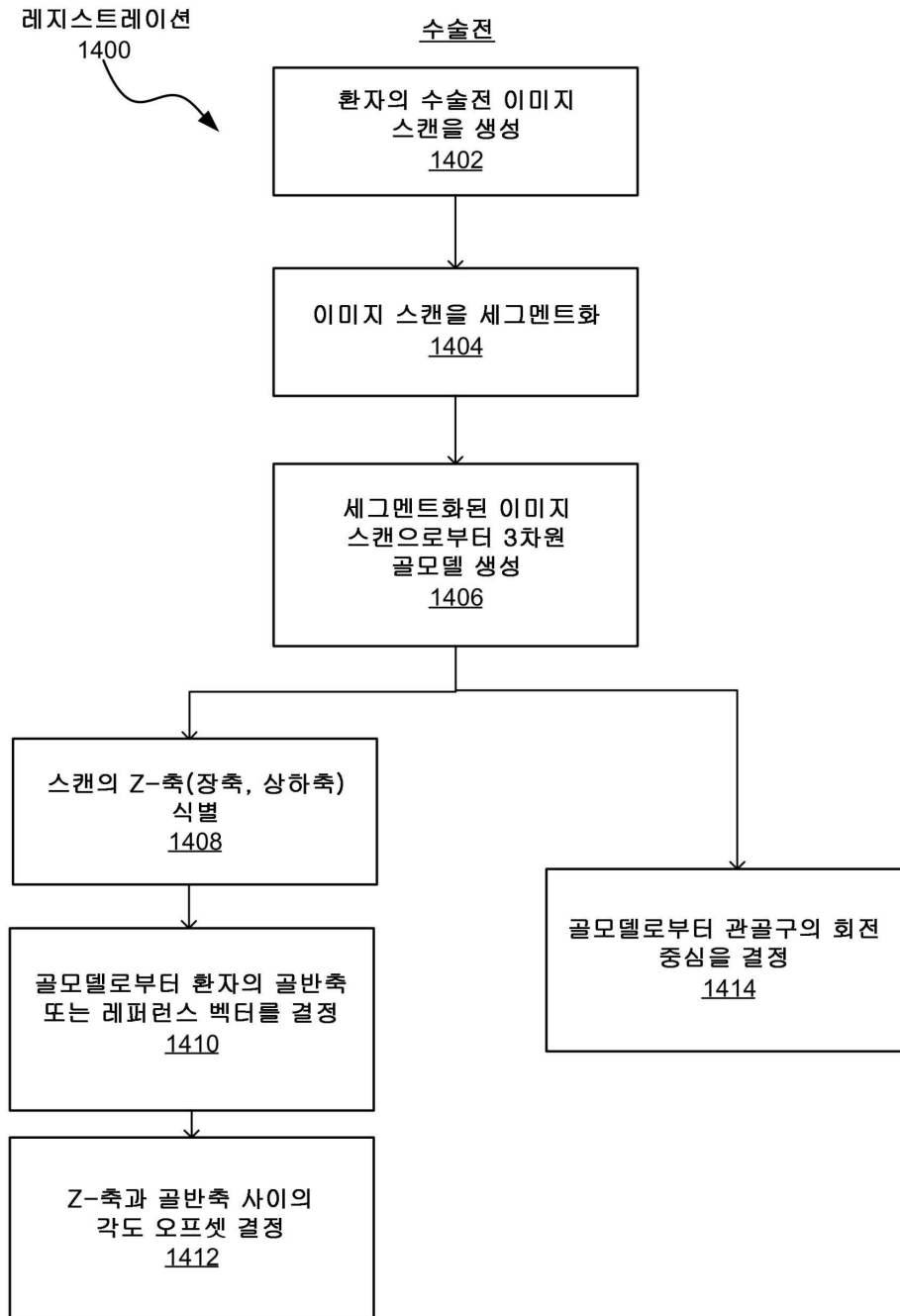
도면13e



도면 13f



도면14a

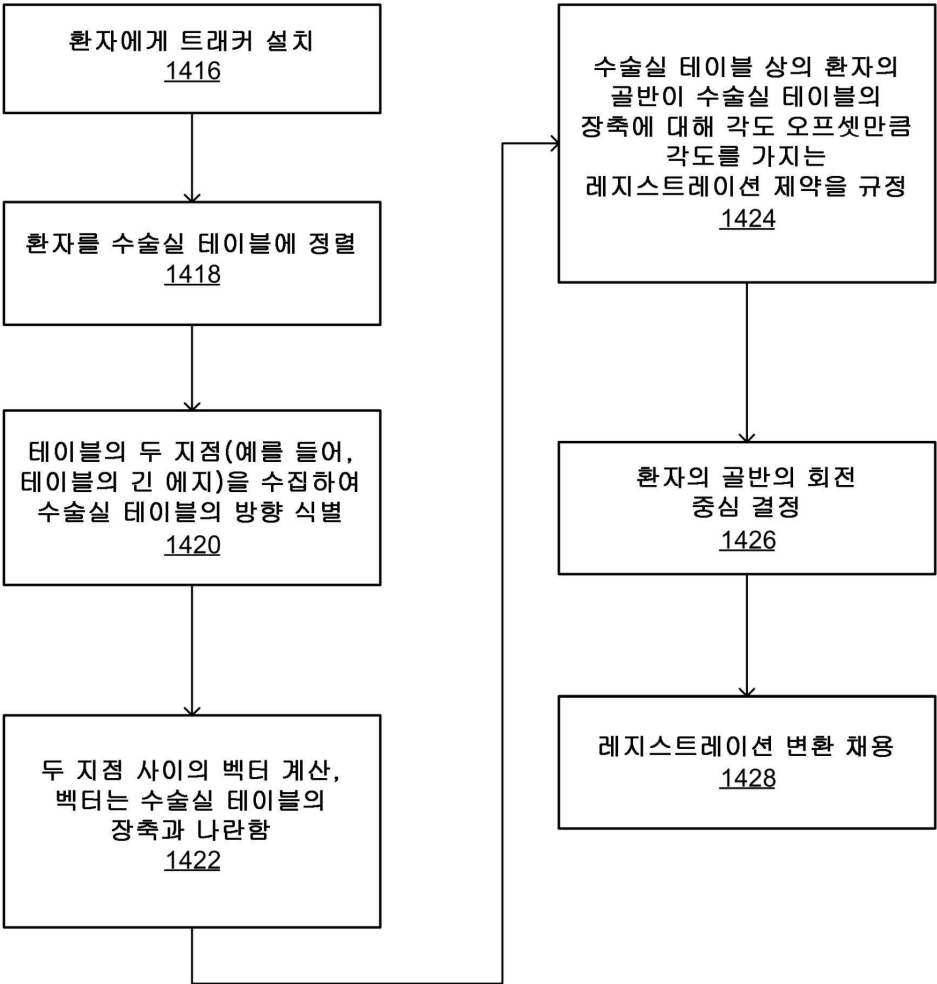


도면14b

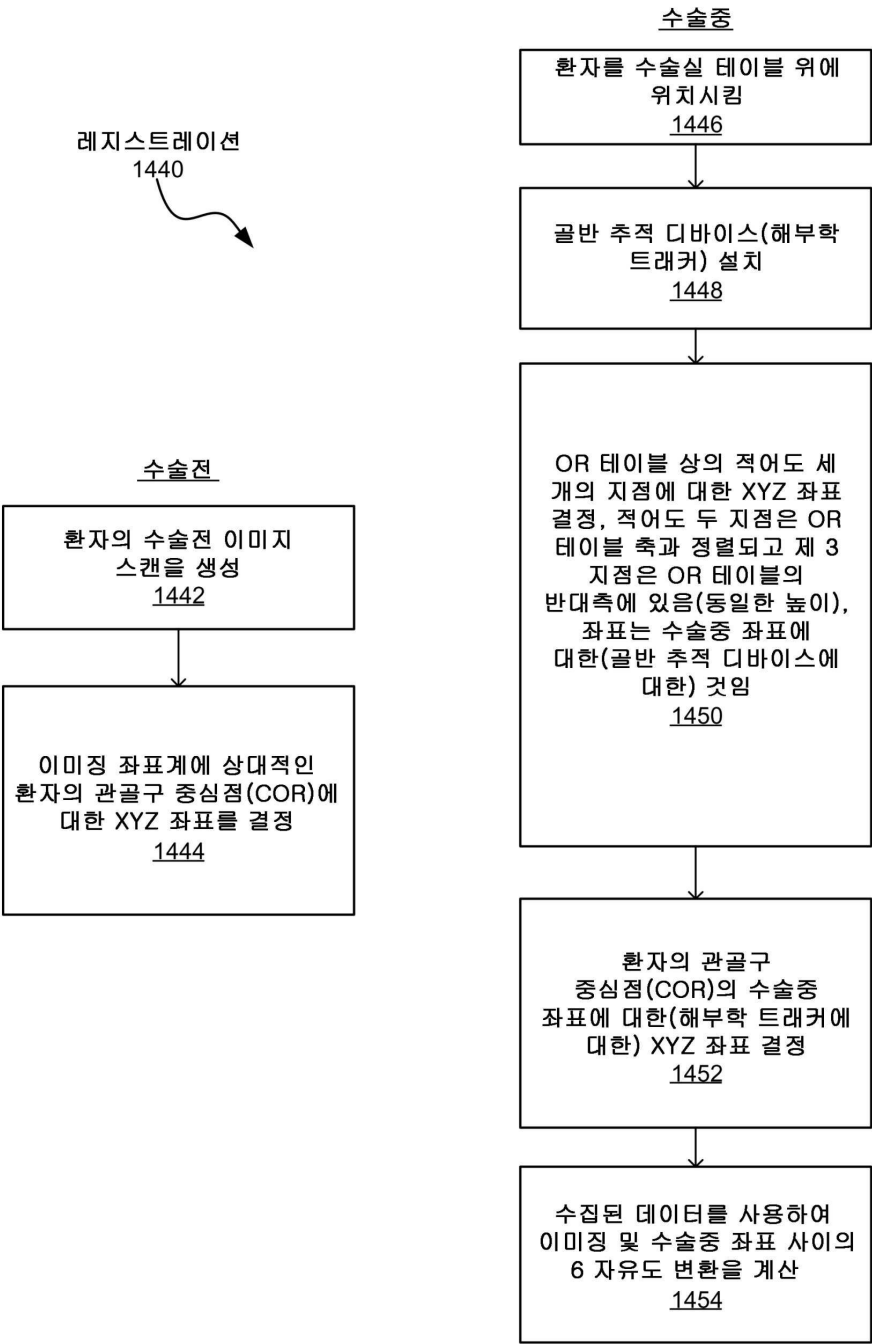
레지스트레이션

1400

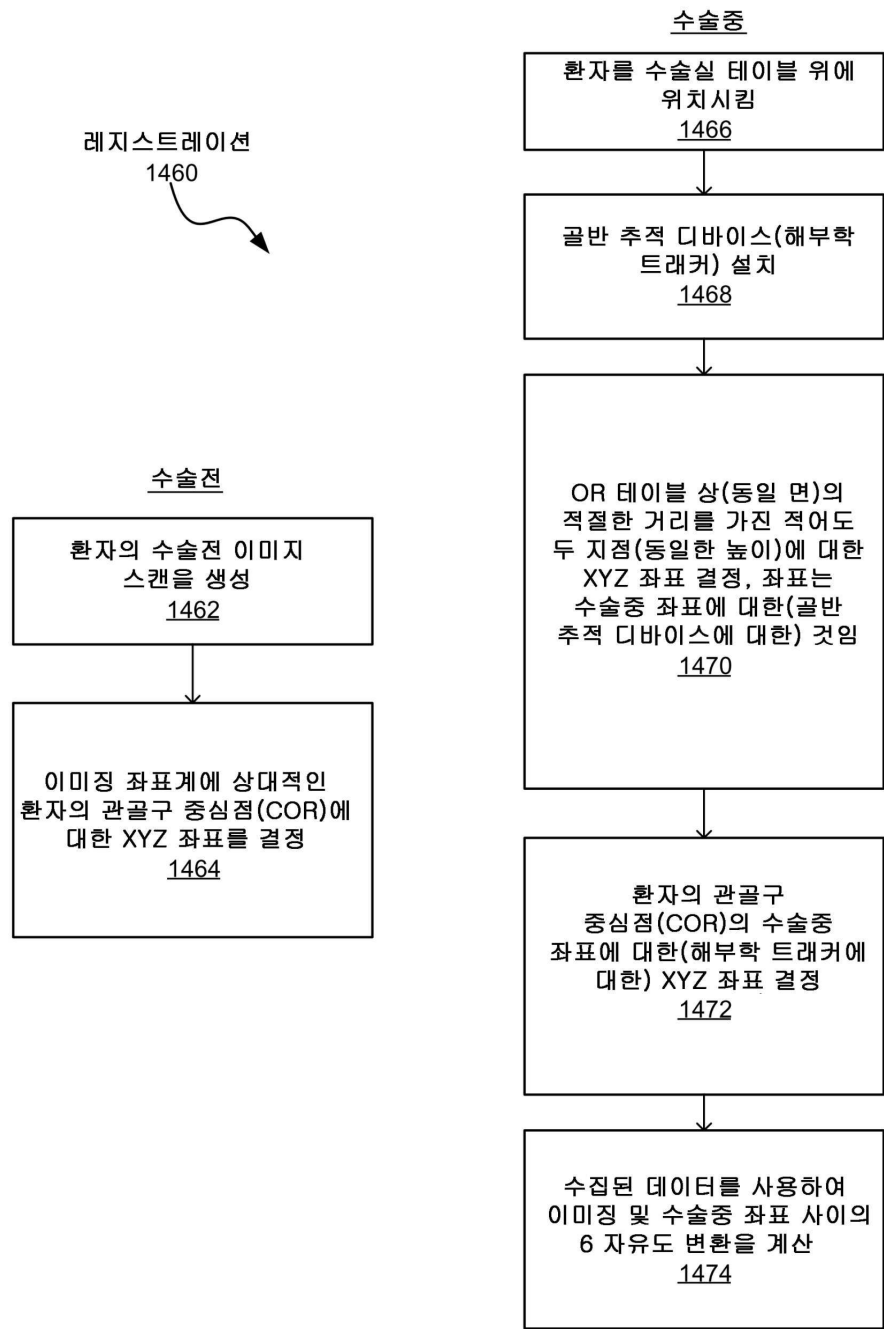
수술중



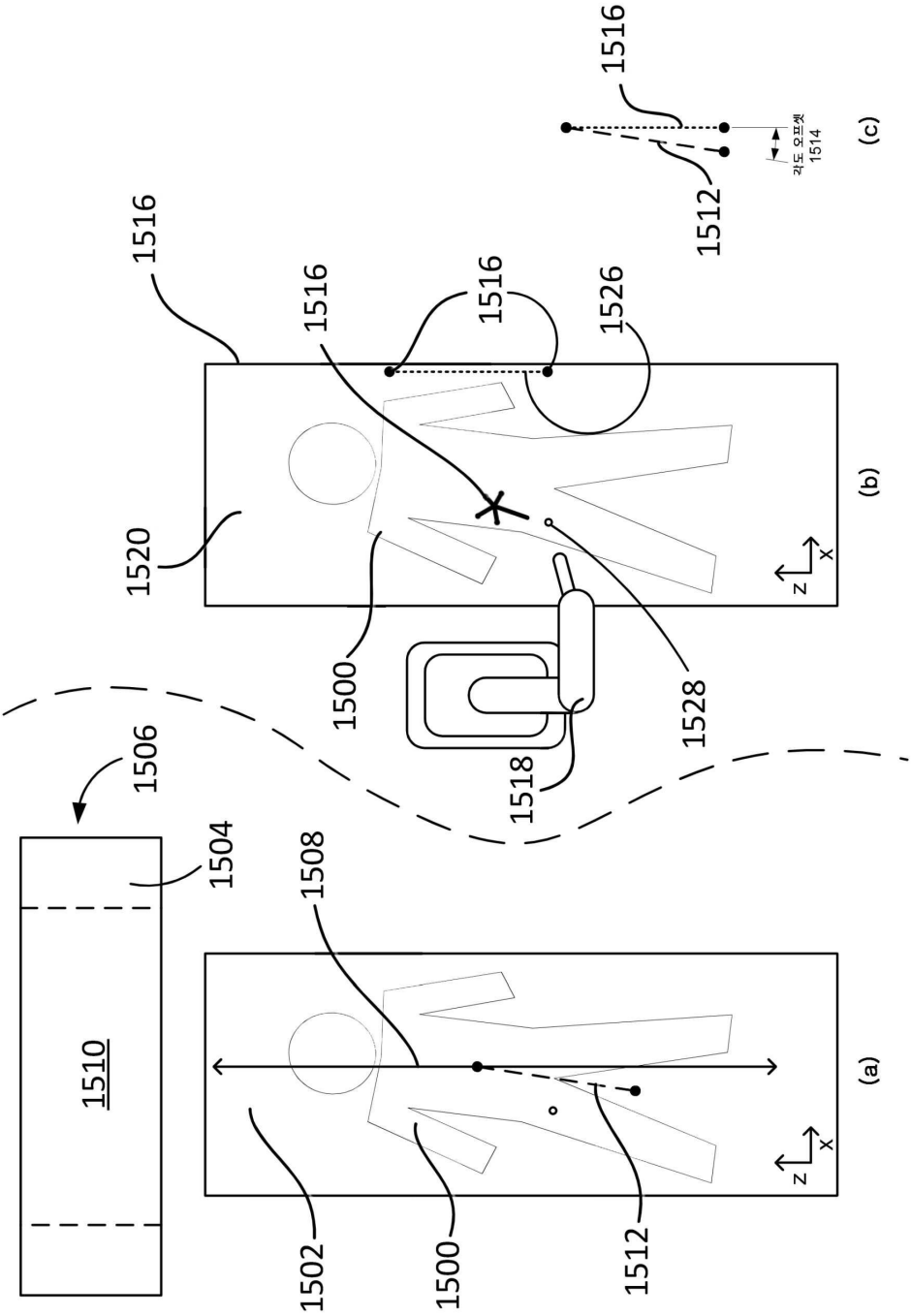
도면14c



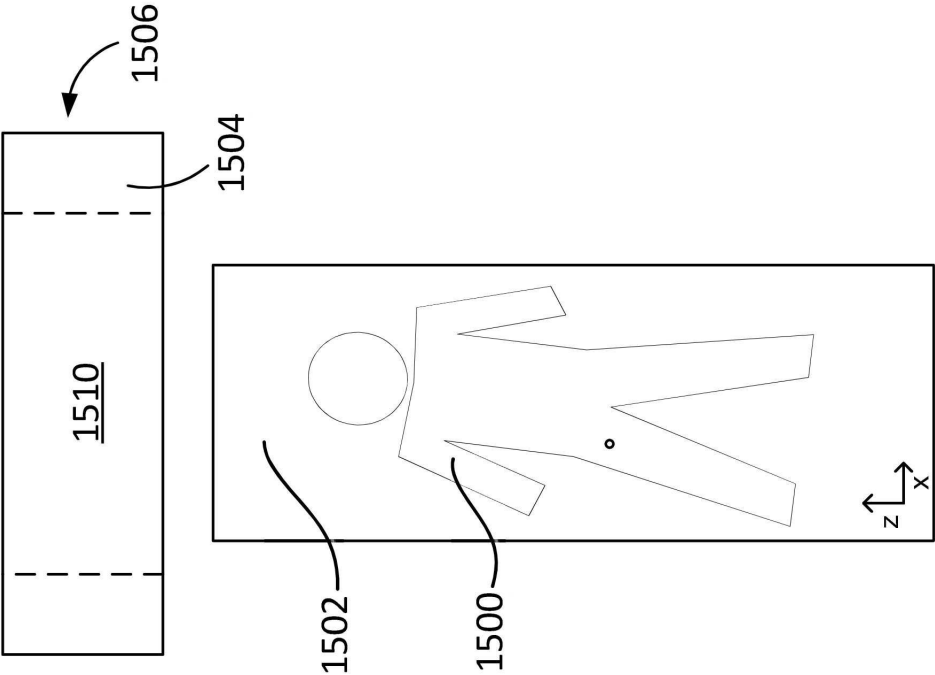
도면14d



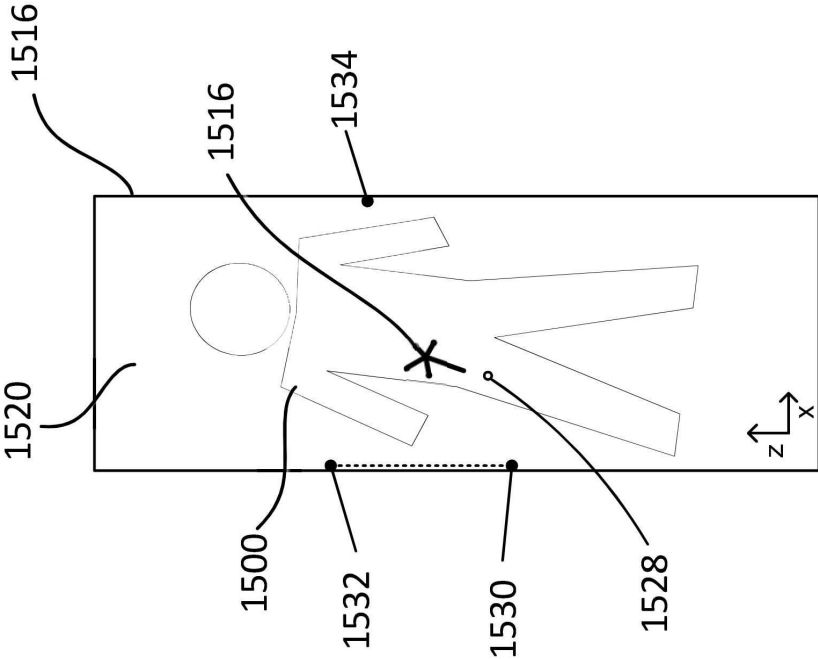
도면15



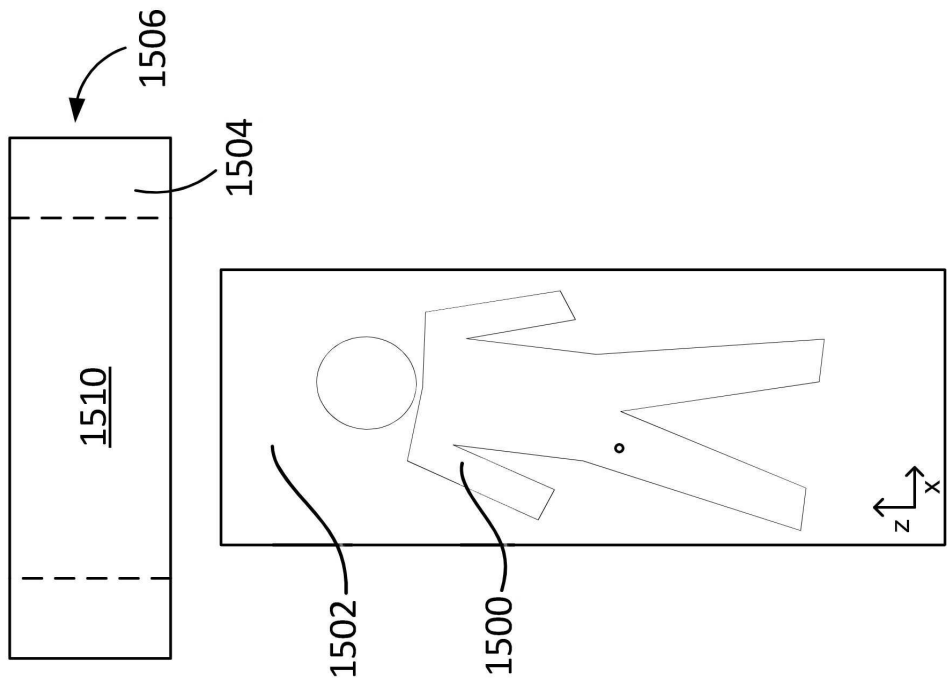
도면15d



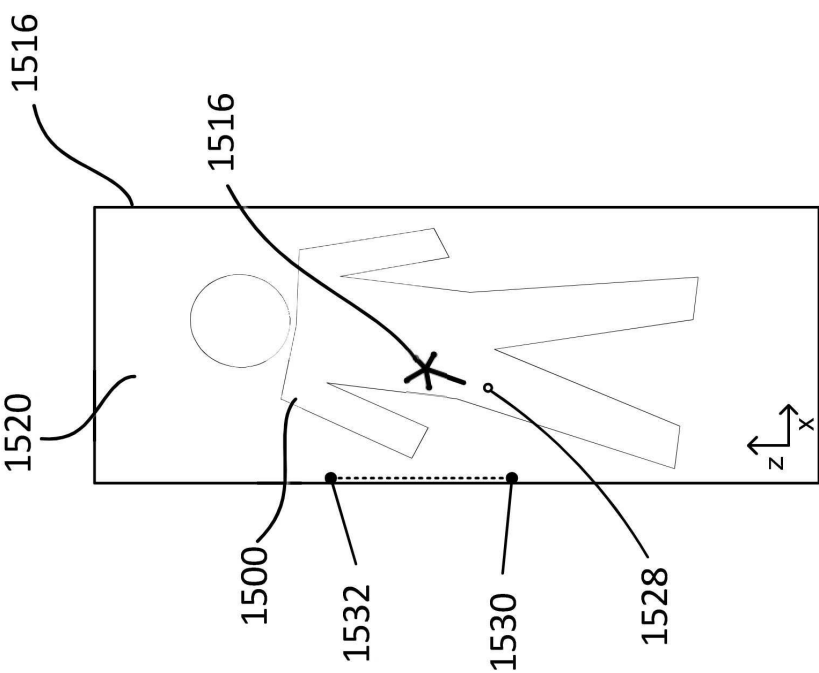
도면15e



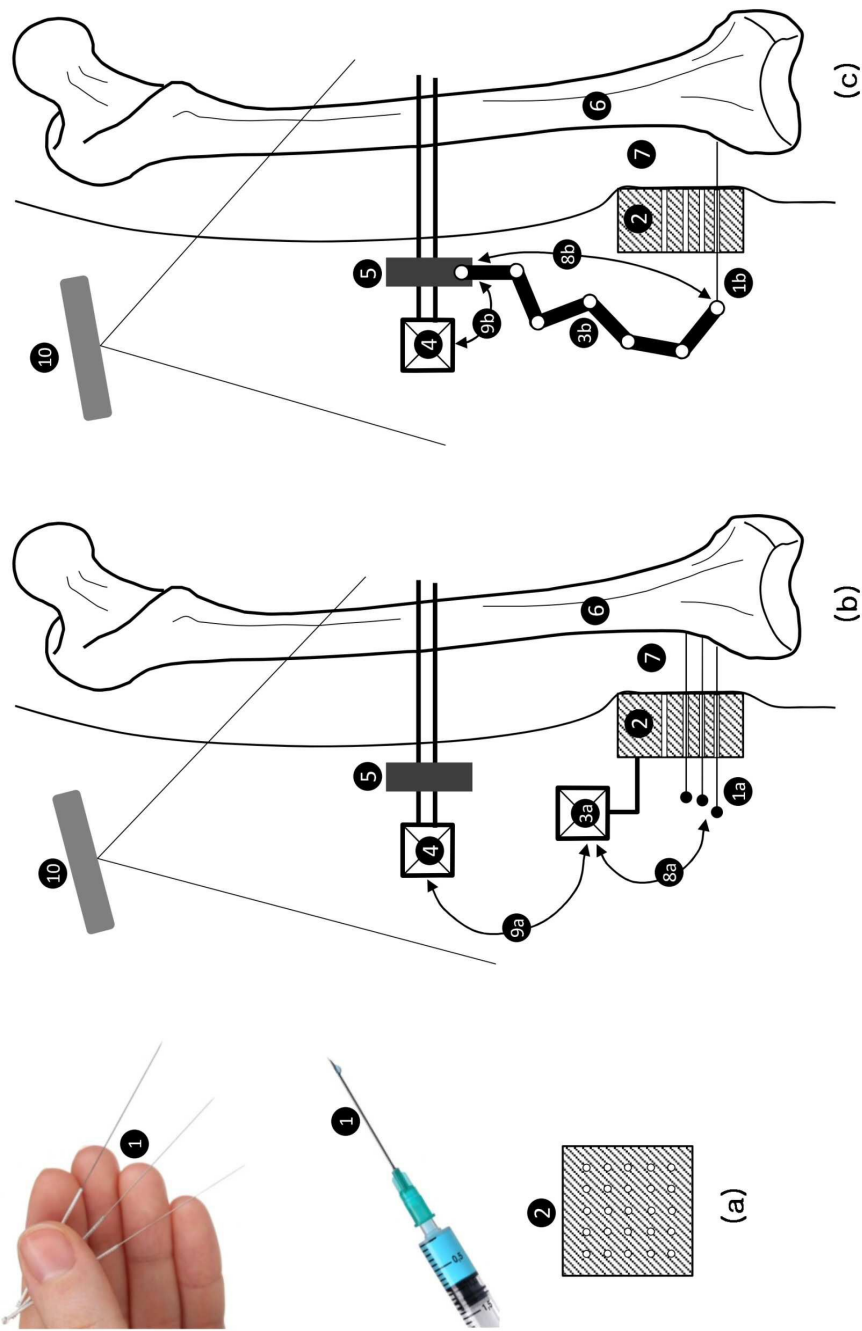
도면15f



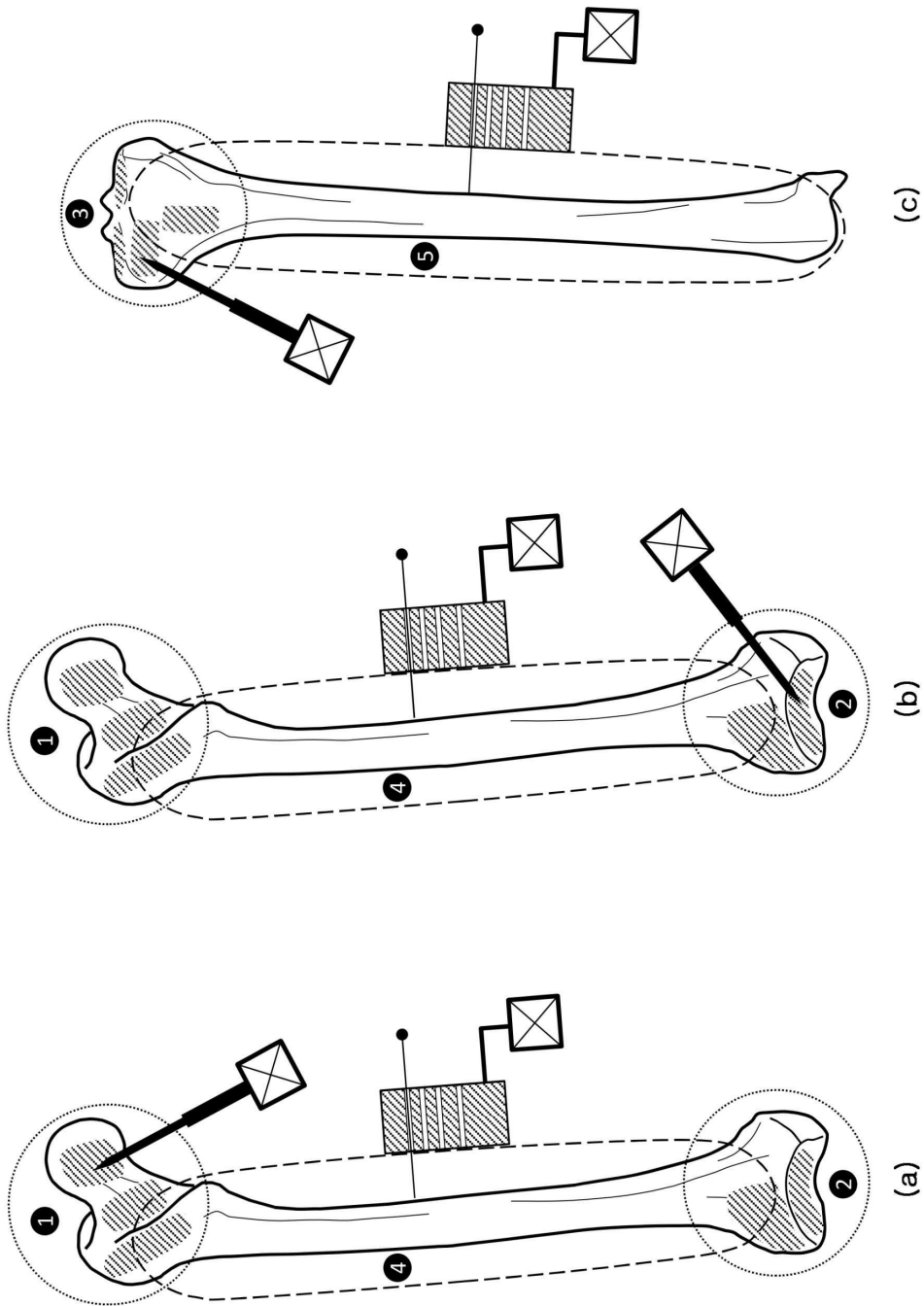
도면15g



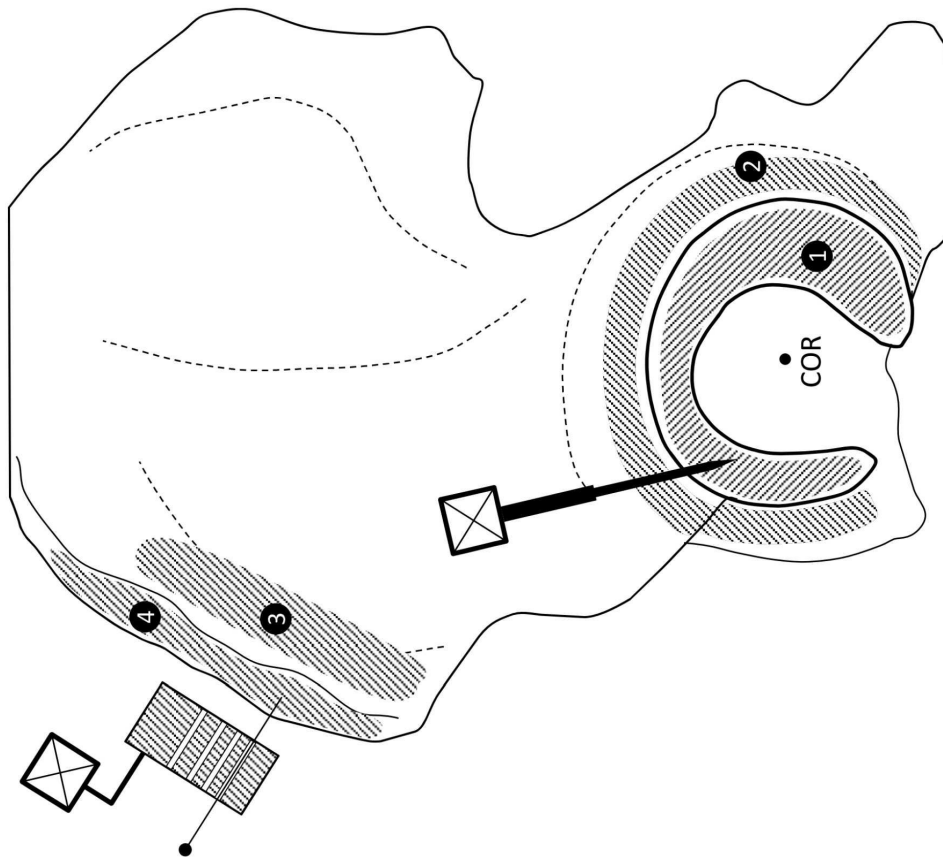
도면16



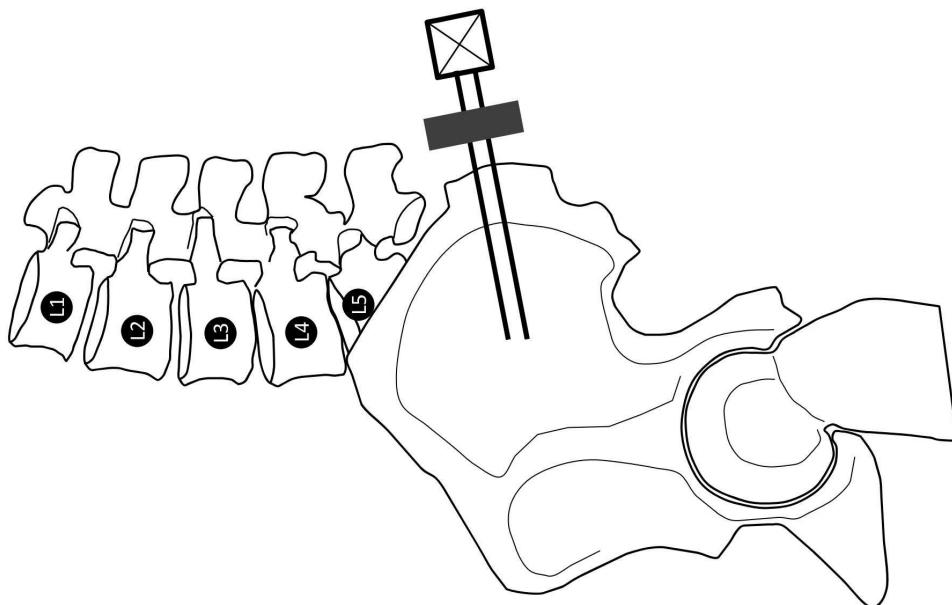
도면17



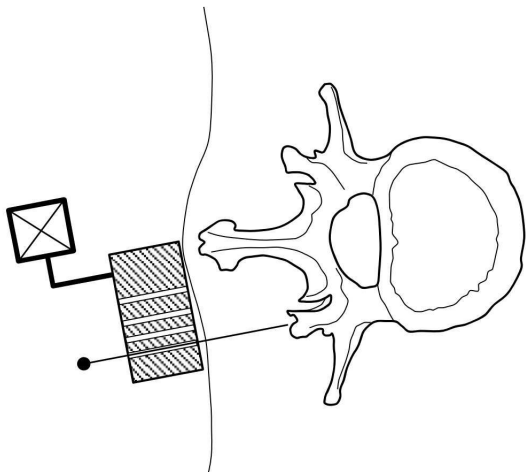
도면18



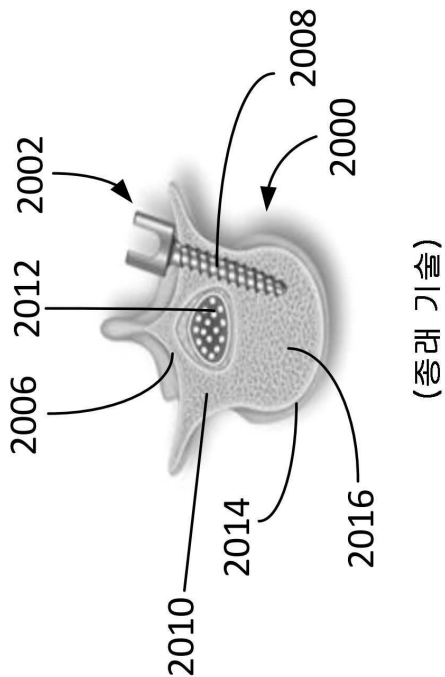
도면19a



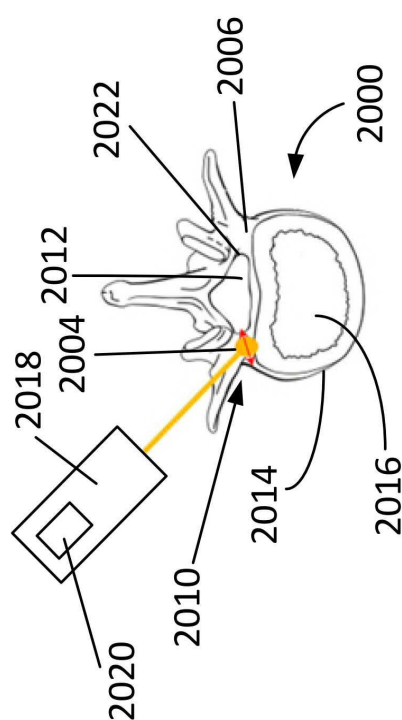
도면19b



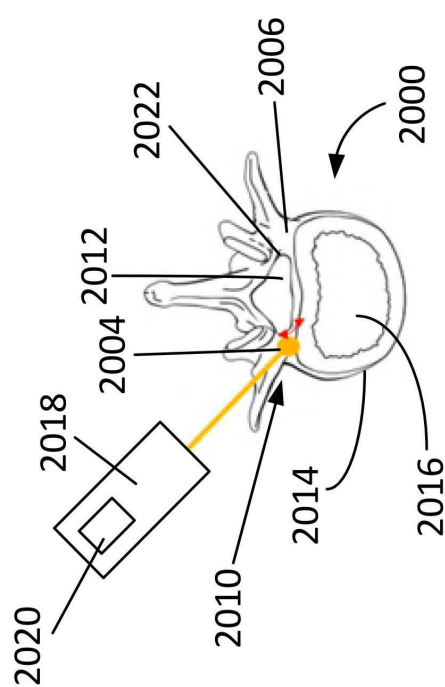
도면20a



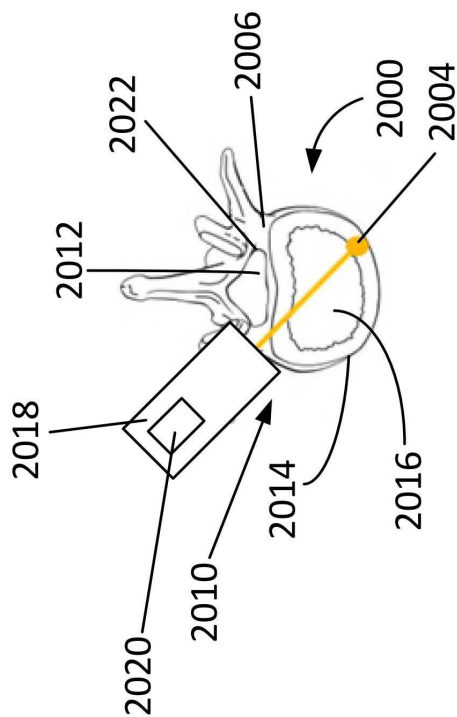
도면20b



도면20c



도면20d



도면21

