(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년01월18일
(11) 등록번호 10-2626744
(24) 등록일자 2024년01월15일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 34/30 (2016.01) *A61B 34/20* (2016.01)
A61B 34/32 (2016.01) *A61B 5/00* (2021.01)
A61B 5/11 (2006.01) *A61B 90/00* (2016.01)
A61G 13/10 (2016.01)
(52) CPC특허분류
A61B 34/30 (2016.02)
A61B 34/20 (2016.02)
(21) 출원번호 10-2022-7046255(분할)
(22) 출원일자(국제) 2014년09월30일
심사청구일자 2022년12월29일
(85) 번역문제출일자 2022년12월29일
(65) 공개번호 10-2023-0007564
(43) 공개일자 2023년01월12일
(62) 원출원 특허 10-2022-7004832
원출원일자(국제) 2014년09월30일
심사청구일자 2022년02월25일
(86) 국제출원번호 PCT/US2014/058225
(87) 국제공개번호 WO 2015/048714
국제공개일자 2015년04월02일
(30) 우선권주장
61/884,500 2013년09월30일 미국(US)
(56) 선행기술조사문헌
JP2007202950 A
(뒷면에 계속)
전체 청구항 수 : 총 22 항

(73) 특허권자
스트리커 코포레이션
미국 미시간주 49002 칼라마주 에어뷰 불러바드 2825
(72) 발명자
마라코우스키, 도날드, 더블유.
미국, 미시간 49087, 스쿨크래프트, 프레리 론데 16055
스턴톤, 더글라스, 에이.
미국, 미시간주 49009, 칼라마주, 글렌 하버 드라이브 5390
(74) 대리인
박경재

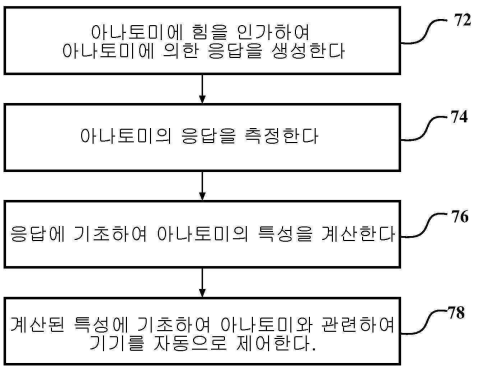
심사관 : 승성민

(54) 발명의 명칭 **사지 홀더에 의해 사지가 지지되는 범위를 평가하는 수술 시스템 및 방법**

(57) 요 약

수술 절차 동안 환자의 아나토미를 조작하기 위한 로봇 시스템을 제어하는 시스템 및 방법은, 아나토미에 힘을 인가하여 아나토미에 의한 응답을 생성하는 단계를 포함한다. 아나토미의 응답이 측정되고 아나토미의 특성이 그 응답에 기초하여 계산된다. 계산된 특성에 기초하여 아나토미와 관련하여 기기가 자동으로 제어된다.

대 표 도 - 도3



(52) CPC특허분류
A61B 34/32 (2016.02)
A61B 5/0036 (2021.08)
A61B 5/1114 (2013.01)
A61B 5/742 (2021.01)
A61B 90/06 (2016.02)
A61G 13/101 (2013.01)
A61B 2090/064 (2016.02)

(56) 선행기술조사문헌
JP2008538184 A
KR1020120028889 A
US20070169267 A1
US20100192961 A1

명 세 서

청구범위

청구항 1

사지 홀더(limb holder)에 의해 고정되는 아나토미와 상호작용하도록 구성되는 시스템으로서,

상기 사지 홀더에 의해 지지되는 상기 아나토미에 대해, 외부에서 힘을 인가하도록 구성되는 힘 인가 디바이스; 및

하나 이상의 제어기를 포함하고,

상기 하나 이상의 제어기는:

상기 힘 인가 디바이스에 의해 상기 아나토미에 대해 외부에서 인가된 힘에 응답하여, 상기 아나토미가 상기 사지 홀더에 대하여 이동하는 범위를 측정하고;

상기 측정된 범위에 기반하여, 상기 아나토미 및 상기 사지 홀더 중의 하나 또는 둘 모두의 물리적 조절에 관한 통지를 생성하도록 구성되는, 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기는:

현재 위치에서 제안된 위치로 상기 아나토미를 재배치하는 것을 추가적으로 제안하도록 상기 통지를 생성하고;

상기 아나토미의 움직임을 모니터링하고 상기 아나토미가 상기 제안된 위치에 도달하였는지 여부를 결정하며;

상기 아나토미가 상기 제안된 위치에 도달하였다고 통신하기 위해 제2 통지를 생성하도록 구성되는, 시스템.

청구항 3

제2항에 있어서,

디스플레이 디바이스를 더 포함하고,

상기 하나 이상의 제어기는 또한, 상기 아나토미의 제안된 위치에 대하여 상기 아나토미의 현재 위치를 동시에 디스플레이하도록 구성되는, 시스템.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기는:

현재 위치에서 제안된 위치로 상기 사지 홀더를 재배치하는 것을 추가적으로 제안하도록 상기 통지를 생성하고;

상기 사지 홀더의 움직임을 모니터링하고 상기 사지 홀더가 상기 제안된 위치에 도달하였는지 여부를 결정하며;

상기 사지 홀더가 상기 제안된 위치에 도달하였다고 통신하기 위해 제2 통지를 생성하도록 구성되는, 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서,

디스플레이 디바이스를 더 포함하고,

상기 하나 이상의 제어기는 또한, 상기 사지 홀더의 제안된 위치에 대하여 상기 사지 홀더의 현재 위치를 동시에 디스플레이하도록 구성되는, 시스템.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기는, 상기 사지 홀더의 지지 기구(retaining feature)를 조이는 것을 추가적으로 제안하기 위해 상기 통지를 생성하도록 구성되는, 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서,

디스플레이 디바이스를 더 포함하고,

상기 하나 이상의 제어기는 또한, 상기 디스플레이 디바이스 상에 상기 통지를 이미지, 텍스트, 및/또는 애니메이션으로 생성하도록 구성되는, 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기는, 상기 통지를 햅틱 통지 및 청각 통지 중 하나 이상으로 생성하도록 구성되는, 시스템.

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기는, 상기 아나토미에 대한 상기 힘 인가 디바이스의 실제 위치를 상기 아나토미에 대한 상기 힘 인가 디바이스의 의도된 위치와 비교함으로써 상기 범위를 측정하도록 구성되는, 시스템.

청구항 10

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기는:

상기 아나토미의 변위; 및 상기 아나토미의 강성 중의 하나 이상을 측정함으로써 상기 범위를 측정하도록 구성되는, 시스템.

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기는:

상기 아나토미의 질량; 및/또는 상기 사지 홀더의 질량 중의 하나 이상을 반영하는, 상기 아나토미의 계단 응답 또는 임펄스 응답을 측정함으로써 상기 범위를 측정하도록 구성되는, 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서,

상기 아나토미 및/또는 사지 홀더의 위치를 추적하도록 구성되는 네비게이션 시스템을 더 포함하고,

상기 하나 이상의 제어기는, 상기 아나토미 및/또는 사지 홀더의 추적된 위치를 평가함으로써 상기 범위를 측정하도록 구성되는, 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서,

상기 힘 인가 디바이스가 로봇 조작부(robotic manipulator)에 결합된 기기인, 시스템.

청구항 14

사지 홀더에 의해 고정되는 아나토미와 상호작용하도록 구성되는 시스템을 동작시키는 방법으로서,

상기 시스템은, 상기 사지 홀더에 의해 지지되는 상기 아나토미에 대해, 외부에서 힘을 인가하도록 구성되는 힘 인가 디바이스와, 하나 이상의 제어기를 포함하고,

상기 방법은:

상기 힘 인가 디바이스에 의해 상기 아나토미에 대해 외부에서 인가된 힘에 응답하여, 상기 하나 이상의 제어기에 의해, 상기 아나토미가 상기 사지 홀더에 대하여 이동하는 범위를 측정하는 단계; 및

상기 측정된 범위에 기반하여, 상기 하나 이상의 제어기에 의해, 상기 아나토미 및 상기 사지 홀더 중의 하나 또는 둘 모두의 물리적 조절에 관한 통지를 생성하는 단계

를 포함하는, 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 15

제14항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기에 의해:

현재 위치에서 제안된 위치로 상기 아나토미를 재배치하는 것을 추가적으로 제안하도록 상기 통지를 생성하는 단계;

상기 아나토미가 상기 제안된 위치에 도달하였는지 여부를 결정하도록 상기 아나토미의 움직임을 모니터링하는 단계; 및

상기 아나토미가 상기 제안된 위치에 도달하였다고 통신하기 위해 제2 통지를 생성하는 단계를 포함하는, 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 16

제14항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기에 의해:

현재 위치에서 제안된 위치로 상기 아나토미를 재배치하는 것을 추가적으로 제안하도록 상기 통지를 생성하는 단계;

상기 사지 홀더가 상기 제안된 위치에 도달하였는지 여부를 결정하도록 상기 사지 홀더의 움직임을 모니터링하는 단계; 및

상기 사지 홀더가 상기 제안된 위치에 도달하였다고 통신하기 위해 제2 통지를 생성하는 단계를 포함하는, 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 17

제14항에 있어서,

상기 하나 이상의 제어기에 의해, 상기 사지 홀더의 지지 기구를 조이는 것을 추가적으로 제안하도록 상기 통지를 생성하는 단계를 포함하는, 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 18

제14항에 있어서,

상기 아나토미에 대한 상기 힘 인가 디바이스의 실제 위치를, 상기 아나토미에 대한 상기 힘 인가 디바이스의 의도된 위치와 비교함으로써, 상기 하나 이상의 제어기에 의해, 상기 범위를 측정하는 단계를 포함하는, 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 19

제14항에 있어서,

상기 아나토미 및/또는 사지 홀더의 변위; 및 상기 아나토미 및/또는 사지 홀더의 강성 중의 하나 이상을 측정함으로써, 상기 하나 이상의 제어기에 의해, 상기 범위를 측정하는 단계를 포함하는, 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 20

제14항에 있어서,

상기 아나토미의 질량; 및/또는 상기 사지 홀더의 질량 중의 하나 이상을 반영하는, 상기 아나토미의 계단 응답 또는 임펄스 응답을 측정함으로써, 상기 하나 이상의 제어기에 의해, 상기 범위를 측정하는 단계를 포함하는, 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 21

제14항에 있어서,

네비게이션 시스템에 의해, 상기 아나토미 및/또는 사지 홀더의 위치를 추적하는 단계; 및

상기 하나 이상의 제어기에 의해, 상기 아나토미 및/또는 사지 홀더의 추적된 위치를 평가함으로써 상기 범위를 측정하는 단계를 더 포함하는, 시스템을 동작시키는 방법.

청구항 22

로봇 시스템을 동작시키는 명령어가 저장된 컴퓨터 판독가능한 저장 매체로서,

상기 로봇 시스템은: 사지 홀더에 의해 지지되는 아나토미에 대해, 외부에서 힘을 인가하도록 구성되는 힘 인가 디바이스를 포함하고,

상기 명령어는, 하나 이상의 프로세서에 의해 실행될 때:

상기 힘 인가 디바이스에 의해 상기 아나토미에 대해 외부에서 인가된 힘에 응답하여, 상기 아나토미가 상기 사지 홀더에 대하여 이동하는 범위를 측정하고;

상기 측정된 범위에 기반하여, 상기 아나토미 및 상기 사지 홀더 중의 하나 또는 둘 모두의 물리적 조절에 관한 통지를 생성하도록 구성되는, 컴퓨터 판독가능한 저장 매체.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] **관련 출원들의 상호 참조**

[0002] 본 특허 출원은 2013년 9월 30일에 출원된 미국 가출원 제 61/884,500호의 우선권 및 모든 이익을 주장하며, 이는 참조로써 본원에 원용된다.

[0003] **기술 분야**

[0004] 본 발명은 환자의 아나토미(anatomy)를 치료하기 위해 수술 절차 동안 사용되는 로봇 시스템을 제어하는 시스템 및 방법에 관한 것이다. 보다 구체적으로, 본 발명의 일 양태는 아나토미에 가해진 힘에 대한 아나토미의 응답에 기초하여 로봇 시스템을 제어하는 것에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0005] 전문의와 같은 의료인은 최근 수술 절차를 수행하는 로봇 시스템을 사용함에 있어서 이익을 발견했다. 이러한 로봇 시스템은 일반적으로 가동 아암을 포함한다. 가동 아암은 매우 높은 정도의 정확성으로 위치할 수 있는, 자유 말단부를 갖는다. 수술 기기는 아암의 자유 단부에 부착된다. 수술 기기는 수술 부위에 적용될 수 있도록 설계된다.

[0006] 초기 로봇 시스템에서, 의료인은 환자를 수술 홀더에 단단하게 고정하여 수술 부위를 정적 환자 좌표계에 고정하였다. 그러나, 최근의 로봇 시스템은 환자의 약간의 움직임을 허용하는 수술 홀더를 채용한다. 이로써, 현대적인 수술 홀더는 수술 부위를 정적 환자 좌표계에 단단하게 고정하지 않는다.

[0007] 수술 부위의 이동을 허용하는 하나의 단점은, 로봇 시스템의 자동 동작동안 수술 부위가 너무 느슨하게 고정될 가능성이다. 이러한 상황에서, 로봇 시스템의 위치 제어 루프는, 동시에 손이 닿지않는 타겟을 지속적으로 누르면서, 수술 부위에서 타겟에 도달하도록 지속적으로 시도한다. 그 결과, 수술 기기는 수술 부위에 부정확하게 위치하여, 수술 절차에 불필요한 지연을 추가한다.

[0008] 이로써, 이들 조건을 보상하거나 그 조건을 완전히 방지할 수 있는 로봇 시스템을 개발하는 것이 바람직하다.

[0009] 본 발명과 관련된 배경 기술은, 2009년 6월 11일에 공개된 미국 특허출원공개공보 US 2009/0149867 A1에 개시되어 있다. 또한, 본 발명과 관련된 배경 기술은, 2012년 7월 20일에 출원되고 발명의 명칭이 "Multi-Position Limb Holder"인 미국 특허 출원 제13/554,010호, 2013년 3월 15일에 출원되고 발명의 명칭이 "Surgical Manipulator Capable of Controlling a Surgical Instrument in Multiple Modes"인 미국 특허 가출원 제61/792,251호, 2013년 3월 12일에 출원되고 발명의 명칭이 "Force/Torque Transducer"인 미국 특허 가출원 제61/777,596호, 2012년 9월 26일에 출원되고 발명의 명칭이 "Navigation System Including Optical and Non-Optical Sensors"인 미국 특허 가출원 번호 제61/705,804호, 및 2013년 3월 15일에 출원되고 발명의 명칭이 "Surgical Manipulator Capable of Controlling a Surgical Instrument in Multiple Modes"인 미국 특허 가출원 제61/716,251호에 추가적으로 개시되어 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

과제의 해결 수단

[0010] 일 실시형태에서, 수술 절차 동안 환자의 아나토미를 조작하기 위한 로봇 시스템이 제공된다. 힘 인가 디바이스는 아나토미에 힘을 인가하여 아나토미에 의한 응답을 생성하도록 구성된다. 응답 측정 디바이스는 아나토미의 응답을 측정하도록 구성된다. 아나토미는 특성을 가지며, 제어기는 응답에 기초하여 아나토미의 특성을 계산하도록 구성된다. 기기는 아나토미를 조작하도록 구성된다. 제어기는 계산된 특성에 기초하여 아나토미와 관련된 기기를 자동으로 제어한다.

[0011] 일 실시형태에서, 수술 절차 동안 환자의 아나토미를 조작하기 위한 로봇 시스템을 제어하는 방법이 제공된다. 아나토미는 특성을 갖는다. 로봇 시스템은 기기를 포함하고 그 기기를 자동으로 제어하도록 구성된다. 방법은 아나토미에 힘을 인가하여 아나토미에 의한 응답을 생성하는 단계를 포함한다. 아나토미의 응답이 측정되고 아나토미의 특성이 그 응답에 기초하여 계산된다. 방법은 또한 계산된 특성에 기초하여 아나토미와 관련된 기기를 자동으로 제어하는 단계를 포함한다.

[0012] 또 다른 실시 양태에서, 수술 절차 동안 환자의 아나토미를 조작하기 위한 로봇 시스템을 제어하는 방법이 제공된다. 아나토미는 지지체에 의해 고정되고, 로봇 시스템은 기기를 포함하며 기기를 자동으로 제어하도록 구성된다. 네비게이션 시스템은 아나토미 및 기기를 추적하도록 구성된다. 방법은, 아나토미가 지지체에 대해 이동하는 정도를 나타내는 데이터를 네비게이션 시스템을 이용하여 결정하는 단계를 포함한다. 방법은, 데이터에 기초하여 아나토미와 관련된 기기를 자동으로 제어하는 단계를 더 포함한다.

[0013] 시스템 및 방법은, 기기가 아나토미에 자동으로 적용됨에 따라 아나토미가 이동하는 상황을 해결한다. 응답을 측정하고 아나토미의 특성을 계산함으로써, 시스템 및 방법은 이러한 이동을 설명한다. 바람직하게는, 시스템 및 방법은 계산된 특성에 기초하여 아나토미와 관련된 기기를 자동으로 제어할 수 있다. 아나토미의 계산된 특성에 기초하여 기기를 자동으로 제어함으로써, 시스템 및 방법은 의료인으로부터의 개입없이 최소한으로 아나토미의 이동을 설명한다. 부가하여, 시스템 및 방법은 이롭게도 아나토미의 특성을 설명하여, 이로써 동시에 손이 닿지 않는 타겟을 지속적으로 누르면서 수술 부위에서 타겟에 도달하도록 지속적으로 시도하는 문제를 회피한다. 대신에, 시스템 및 방법은, 아나토미의 특성을 고려함으로써 수술 부위에서의 타겟에 효율적으로 도달될 수 있게 한다. 이와 같이, 시스템 및 방법은 수술 절차 동안에 수술 부위에서의 수술 기기의 보다 정확한 배치 및 감소된 지연을 제공한다.

도면의 간단한 설명

[0014] 본 발명이 첨부된 도면과 연계하여 고려될 때 하기의 상세한 설명을 참조하여 보다 잘 이해되어짐에 따라, 본

발명의 이점이 용이하게 이해될 것이다.

도 1은 로봇 시스템의 사시도이다.

도 2는 로봇 시스템의 개략도이다.

도 3은 로봇 시스템을 제어하는 방법의 흐름도이다.

도 4는 일 실시형태에 따른 아나토미의 이동을 제안하는 통지를 나타낸 디스플레이의 도면이다.

도 5는 또 다른 실시형태에 따른 아나토미의 이동을 제안하는 통지를 나타낸 디스플레이의 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015] 수술 절차를 수행하기 위해 로봇 시스템을 제어하는 시스템 및 방법이 개시되어 있다. 도 1을 참조하면, 환자에 수술 절차를 수행하기 위한 로봇 시스템(10)이 도시되어 있다.

[0016] 수술 절차 이전에, 의료인은 환자의 수술전 데이터를 수집할 수도 있다. 수술전 데이터는 수술전 데이터를 수집할 수 있는 x-레이, CT 스캔, MRI 또는 임의의 다른 양상에서 올 수도 있다. 수집된 수술전 데이터는 로봇 시스템(10)에 의해 사용하기 위해 저장 및 보관될 수도 있다.

[0017] 일 실시형태에서, 환자는 수술 절차 동안에 지지 스테이션(12) 상에 배치된다. 지지 스테이션(12)은 환자의 아나토미를 고정하는 지지체 또는 수술 홀더(14)를 갖는다. 환자의 아나토미는 도 1에서 A를 참조하여 식별된다. 일부 실시형태에서 아나토미는 대퇴골(F) 및/또는 경골(T)일 수도 있다. 수술 홀더(14)는 어떤 방식으로든 지지 스테이션(12)에 커플링될 수 있음을 이해해야 한다.

[0018] 도 1에서, 지지 스테이션(12)은 트랙(18)을 갖는 수술 테이블(16)을 포함한다. 수술 홀더(14)가 테이블(16) 위의 트랙(18)을 따라 이동할 수 있도록 수술 홀더(14)는 트랙(18)에 커플링된다. 수술 절차 동안, 의료인은 트랙(18)을 따라 수술 홀더(14)를 전후방으로 슬라이딩시켜 아나토미를 위치시킬 수도 있다. 수술 홀더(14)는, 수술 홀더(14)가 고정 위치에 있도록 트랙(18)에 잠금될 수도 있다. 예를 들어, 수술 홀더(14)는, 아나토미가 최적의 위치에 있는 경우 고정 위치에 잠금될 수도 있다. 적합한 수술 홀더(14)의 일 실시형태는, 2012년 7월 20일에 출원되고 발명의 명칭이 "Multi-Position Limb Holder"인 미국 특허 출원 제 13/554,010으로 도시되어 있으며, 이것은 그 전체가 본원에 참조로써 원용된다.

[0019] 수술 홀더(14)가 고정 위치에 있을 수도 있지만, 아나토미는 아나토미가 여전히 수술 홀더(14)에 대해 이동할 수 있도록 수술 홀더(14)에 배치된다. 예를 들어, 아나토미는, 최대 6 자유도를 포함하여 1 이상의 자유도로 수술 홀더(14)에 대해 이동할 수 있다. 궁극적으로, 아나토미는 효과적으로는 로봇 시스템(10)의 동적 부재이다. 여전히, 수술 홀더(14)는, 로봇 시스템(10)이 아나토미를 치료할 수 있도록 아나토미에 힘 인가시 아나토미의 중대하거나 또는 주요한 이동을 제한하는 방식으로 아나토미를 안전하게 홀딩하도록 구성된다.

[0020] 로봇 시스템(10)은 아나토미를 치료하는 수술 기기(22)를 조작하는데 사용될 수 있는 조작부(20)를 포함한다. 조작부(20)의 일 실시형태는 2013년 3월 15일에 출원되고 발명의 명칭이 "Surgical Manipulator Capable of Controlling a Surgical Instrument in Multiple Modes"인 미국 특허 가출원 제 61/792,251호에 기재되어 있으며, 이는 그 전체가 참조로써 본원에 원용된다.

[0021] 조작부(20)는 카트(24)와 카트(24)에서 말단부까지 연장되는 아암(26)의 쌍을 포함한다. 기기(22)는 아암(26)의 쌍의 말단부에 커플링된다. 기기(22)는 조작부(20)와 어떤 방식으로든 통합될 수 있다는 것을 이해해야 한다. 일 실시형태에서, 기기(22)는 기기(22)로부터 연장되는 에너지 애플리케이터(34)를 포함한다. 에너지 애플리케이터(34)는 수술 절차를 수행하기 위한 초음파 팁, 버, 또는 임의의 다른 치료 디바이스일 수도 있다. 수술 홀더(14)는 일반적으로 조작부(20)에 대해 고정된다.

[0022] 조작부(20)와 기기(22)는 또한 위치, 힘/토크 등을 감지하는 하나 이상의 센서 및/또는 인코더를 가질 수도 있다. 센서 및 인코더는, 조작부(20)와 기기(22)와 연관된 물리적 데이터 또는 다른 유형의 데이터를 제공하기 위해 당업계에 공지된 임의의 형태일 수도 있다. 일 유형의 센서는 힘/토크 센서(28)이며, 이것은 기기(22)에 인가되는 힘 및 토그를 검출할 수 있다. 적합한 힘/토크 센서(28)의 일 실시형태는 2013년 3월 12일에 출원되고 발명의 명칭이 "Force/Torque Transducer"인 미국 특허 가출원 제 61/777,596호에 나타내어지며, 이는 그 전체가 참조로써 본원에 원용된다.

[0023] 조작부(20)는 또한 조작부 제어기(30)를 포함한다. 조작부 제어기(30)는 힘/토크 센서(28)를 포함하는 센서 및

인코더와 통신한다. 조작부 제어기(30)는, 힘/토크 센서(28)에 의해 감지되는 힘 및 토크가 조작부 제어기(30)로 다시 통신되도록 힘/토크 센서(28)와 통신할 수 있다. 조작부 제어기(30)는 또한 네비게이션 시스템(32)과 통신한다.

[0024] 로봇 시스템(10), 보다 구체적으로, 조작부(20)는 수동으로 또는 자동으로 동작될 수도 있다. 수동으로 동작되는 경우, 로봇 시스템(10)은 수동 모드에서 동작한다. 수동 모드에서, 의료인은 로봇 시스템(10)에 명령을 적용함으로써 기기(22)를 수동으로 배치할 수 있다. 명령을 적용하는 일례는, 힘/토크를 파악하고 기기(22)에 적용하는 의료인을 포함한다. 의료인에 의해 적용된 명령에 기초하여, 로봇 시스템(10)은 아암(26)을 작동시켜 기기(22)가 원하는 위치로 상응하여 그리고 효과적으로 동시에 실시간 이동하게 한다.

[0025] 로봇 시스템(10)은 기기(22)를 자동 제어하도록 구성된다. 보다 구체적으로, 로봇 시스템(10)은 자동 모드 또는 반자동 모드의 동작으로 기기(22)를 자동 제어한다. 자동 또는 반자동 모드에서, 조작부 제어기(30)는 사전로딩된 데이터, 네비게이션 시스템(32)으로부터의 데이터 및 인코더로부터의 데이터를 처리하여 경로를 도출하고, 기기(22)가 그 경로를 뒤따른다. 경로는 사전프로그래밍 또는 사전결정될 수도 있다. 로봇 시스템(10)은 아나토미를 치료하기 위한 경로를 따라 기기(22)의 자동 이동을 야기하도록 아암(26)을 작동시킨다. 로봇 시스템(10)은 의료인으로부터의 유효 입력 없이도 절차를 수행한다.

[0026] 반자동 모드에서, 로봇 시스템(10)은 경로를 따라 기기(22)를 자동으로 이동시킨다. 그러나, 의료인은 로봇 시스템(10)의 동작을 제어하기 위해 명령을 어서트할 수 있다. 예를 들어, 로봇 시스템(10)은, 기기의 이동을 허용하기 위해서 로봇 시스템(10)과 연관된 제어 버튼 또는 스위치를 의료인이 계속 가압하는 것을 요구할 수도 있다. 의료인에 의한 버튼 또는 스위치의 가압해제시, 기기(22)의 전진은 일시적으로 중단된다. 자동 또는 반자동 모드에서 이용된 하나의 적합한 네비게이션 시스템은 2012년 9월 26일에 출원되고 발명의 명칭이 "Navigation System Including Optical and Non-Optical Sensors"인 미국 특허 가출원 번호 제 61/705,804호에 기재되어 있으며, 이것은 그 전체가 본원에 참조로써 원용된다. 그러나, 다른 네비게이션 시스템이 사용될 수도 있다는 것을 이해해야 한다.

[0027] 네비게이션 시스템(32)은, 네비게이션 컴퓨터(38)를 하우징하는 컴퓨터 카트 어셈블리(36)를 포함할 수도 있다. 네비게이션 인터페이스는 네비게이션 컴퓨터(38)와 동작 통신한다. 네비게이션 인터페이스는 의료인이 로봇 시스템(10)과 통신할 수 있도록 한다. 네비게이션 인터페이스는 적어도 하나의 디스플레이(40, 42), 및 키보드와 마우스와 같은 입력 디바이스(44, 46)를 포함하여, 의료인 네비게이션 시스템(38)과 통신할 수 있도록 한다.

[0028] 네비게이션 컴퓨터(38)는 조작부 제어기(30)와 협업하여 조작부(20)를 제어한다. 네비게이션 컴퓨터(38)는 조작부 제어기(30)에 기기(22)의 포즈 데이터를 제공하여, 조작부 제어기(30)가 조작부(20), 궁극적으로 기기(22)의 모션을 디렉팅할 수 있게 한다.

[0029] 로컬라이저(48)는 네비게이션 컴퓨터(38)와 통신한다. 도 1에 도시된 실시형태에서, 로컬라이저(48)는 광 로컬라이저(48)이고 카메라 유닛(50)을 포함한다. 카메라 유닛(50)은 하나 이상의 광 센서(52)를 하우징하는 외부 케이싱을 갖는다. 일부 실시형태에서, 적어도 2개의 광 센서(52)가 채용된다. 다른 실시형태에서, 3개 이상의 광 센서(52)가 사용될 수도 있다.

[0030] 네비게이션 시스템(32)은 하나 이상의 추적기를 포함한다. 추적기는 포인터 추적기(PT), 기기 추적기(54), 제 1 환자 추적기(58) 및 제 2 환자 추적기(60)를 포함할 수도 있다. 추적기는 액티브 마커(56)를 포함한다. 액티브 마커(56)는 발광 다이오드 또는 LED일 수도 있다. 다른 실시형태에서, 추적기(54, 58, 60)는 패시브 마커, 예를 들어 카메라 유닛(50)으로부터 방출되는 광을 반사하는 리플렉터를 가질 수도 있다. 로봇 시스템(10)의 일부일 수도 있는 추가 컴포넌트를 추적하기 위해, 추가 추적기가 네비게이션 시스템(32)에 통합될 수 있다는 것을 이해해야 한다.

[0031] 도 1의 예시된 실시형태에서, 제 1 환자 추적기(58)는 환자(P)의 대퇴골(F)에 단단하게 부착되고 제 2 환자 추적기(60)는 환자(P)의 경골(T)에 단단하게 부착된다. 환자 추적기(58, 60)가 뼈의 부분에 단단하게 부착된다. 또한, 기기 추적기(54)가 기기(22)에 단단하게 부착된다. 추적기(54, 58, 60)는, 유용하게 찾을 수도 있는 임의의 방식으로 그 각각의 컴포넌트에 고정될 수도 있다.

[0032] 도 2를 참조하면, LED 각각은, 네비게이션 컴퓨터(38)로/로부터 데이터를 송신/수신하는 연관 추적기의 하우징(미도시)에 위치한 추적기 제어기(62)에 접속된다. 추적기(54, 58, 60)는 또한, 추적기(54, 58, 60)의 각속도를 측정하는 3차원 자이로스코프 센서(64)를 포함한다. 추적기(54, 58, 60)는 또한, 가속도를 x, y, 및 z 좌표계로 측정하기 위해 가속도계(66)를 포함한다.

[0033] 카메라 유닛(50)은 광 센서(52)와 통신하는 카메라 제어기(68)를 포함하여 추적기(54, 58, 60)의 액티브 마커(56)로부터 포즈 데이터를 통신한다. 이후 카메라 제어기(68)는 포즈 데이터를 네비게이션 시스템(38)으로 통신한다. 이후 네비게이션 시스템(38)은 포즈 데이터를 추가 사전동작 데이터로 처리하여, 환자의 아나토미와의 관계에 따라서 기기(22)의 포즈 및 이에 따른 에너지 애플리케이터(34)의 포즈를 통신한다. 일 실시형태에서, 네비게이션 인터페이스는 그러한 데이터를 의료인에게 통신한다. 당업자는, 의료인이 로봇 시스템(10)과 통신하는 이전 실시형태에 기재되어 있지 않은 다른 방법을 찾을 수도 있음을 이해해야 한다.

[0034] 수술 절차 동안, 로봇 시스템(10)이 수동 모드에서 자동 또는 반자동 모드로 스위칭되는 것이 바람직하다. 뼈 절단 절차와 같은 일부 절차에서, 아나토미가 수술 홀더(14)에 안전하게 위치되어, 기기(22)가 뼈와 계합하는 경우 아나토미가 기기(22)와 동일한 속도로 이동하지 않도록 하는 것이 바람직하다. 그렇지 않으면, 기기(22)는 어떠한 뼈도 절단할 수 없을 것이다. 즉, 아나토미가 수술 홀더(14)에 고정될 때 소정의 최소 강성 또는 다른 특성을 갖는 것이 바람직하다. 부가하여, 기기(22)가 수술 절차 동안 아나토미에 적용될 때 아나토미가 기기(22)보다 낮은 속도로 이동하는 것을 보장하기 위해서, 강성 등의 소정의 특성 값에 기초하여 로봇 시스템(10)을 제어하고자 하는 소망이 있다.

[0035] 기기(22)가 아나토미에 적용될 때 아나토미의 이동을 설명하기 위해서, 로봇 시스템(10)은 아나토미의 하나 이상의 특성에 기초하여 교정된다. 하나 이상의 특성은 강성 특성(k), 감쇠 특성(b), 질량(m), 감쇠비(ζ), 주파수 응답(ωn) 및/또는 다른 특성일 수도 있다. 강성 특성(k)은 스프링 상수로 더 정의될 수도 있다. 다른 예에서, 특성은, 아나토미가 수술 홀더(14)에 의해 고정되는 정도를 나타내는 데이터를 포함한다. 보다 구체적으로, 특성은, 아나토미가 수술 홀더(14)에 대해 이동하는 정도를 나타내는 데이터를 포함한다.

[0036] 도 3은 수술 절차 동안 환자(P)의 아나토미를 조작하기 위해 로봇 시스템(10)을 제어하는 기본 단계를 도시한다. 단계 72에서 아나토미에 힘을 인가하여 아나토미에 의한 응답을 생성한다. 단계 74에서 아나토미의 응답이 측정된다. 단계 76에서, 응답에 기초하여 아나토미의 특성이 계산된다. 단계 78에서, 계산된 특성에 기초하여 아나토미와 관련하여 기기(22)를 자동으로 제어한다.

[0037] 단계 72에서 아나토미에 힘을 인가하기 위해, 힘 인가 디바이스는 아나토미에 인접하거나 또는 아나토미에 대항하여 일반적으로 배치된다. 일 실시형태에서, 로봇 시스템(10), 보다 구체적으로 조작부 제어기(30)는 힘 인가 디바이스를 아나토미 측으로 능동 이동시켜 힘을 인가한다. 대안으로, 로봇 시스템(10)은 고정적일 수도 있고, 힘 인가 디바이스는 힘을 인가하기 위해서 로봇 시스템(10)으로부터 아나토미 측으로 연장된다. 힘 인가 디바이스의 이러한 이동은 조작부 제어기(30)와 독립적으로 행해질 수도 있다. 힘 인가 디바이스는 임의의 적합한 구성을 가질 수도 있다. 예를 들어, 아나토미를 조작하는 기기(22)는 힘 인가 디바이스이다. 다른 예에서, 센서 또는 게이지와 같은 기기(22) 이외의 디바이스는 힘 인가 디바이스로서 작용하고 아나토미에 대항하여 배치된다. 기기(22) 이외의 임의의 적합한 디바이스는 힘 인가 디바이스로 작용할 수도 있다.

[0038] 의료인은 수동 모드에서 입력을 제공하여, 로봇 시스템(10), 보다 구체적으로 조작부 제어기(30)가 기기(22) 또는 다른 힘 인가 디바이스를 아나토미에 대항하여 배치하도록 할 수 있다. 일부 경우, 에너지 애플리케이터(34)가 아나토미에 대항하여 배치될 수도 있다. 다른 경우, 수술 기기(22)에는, 아나토미에 대항하여 배치하기 위해서 말단부에 비침습적 및 생체적합한 구조를 갖는 교정 프로브(미도시)가 장착된다.

[0039] 대안의 버전에서는, 단계 72에서 힘을 인가하기 이전에 아나토미에 대항하여 기기(22)를 자동 배치하기 위해서 로봇 시스템(10)이 반자동 또는 자동 모드에서 이용될 수도 있다. 의료인은 네비게이션 인터페이스와 상호작용하여, 아나토미에 대항한 기기(22)의 배치 디렉팅에 자동 동작 동안 개입할 수 있다. 당업자가 기기(22)의 위치를 디렉팅하는 것이 유용할 것이라고 하는 임의의 방식으로, 의료인은 조작부(20), 네비게이션 시스템(32), 또는 로봇 시스템(10)의 임의의 다른 컴포넌트와 상호작용할 수도 있음을 이해해야 한다. 부가하여, 의료인은, 아나토미에 대항하여 기기(22)를 배치할 때 수동, 자동 및/또는 반자동 모드 사이에서 전환할 수도 있다.

[0040] 단계 72에서 아나토미에 힘을 인가한다. 단계 72의 일 실시형태에서, 기기(22)는 아나토미에 힘을 인가한다. 다른 실시형태에서, 기기(22) 이외의 다른 힘 인가 디바이스가 아나토미에 힘을 인가한다. 어느 경우든, 수동 모드, 자동 모드 및/또는 반자동 모드에서 아나토미에 힘을 인가할 수 있다. 일 실시형태에서, 힘은 사전결정된다. 더욱이, 힘은 1 자유도에서 인가될 수도 있다. 대안으로, 힘 및 토크는 6 자유도와 같이 여러 자유도에서 인가될 수 있다.

[0041] 일 실시형태에서, 힘은 계단 함수에 따라 아나토미에 인가된다. 이러한 경우에, 힘은 제 1 구간 동안 제 1 레벨로 및 제 1 구간에 연속하는 제 2 구간 동안 제 2 레벨로 인가된다. 제 1 레벨은 제 2 레벨보다 더 높을 수도

있거나, 또는 그 반대일 수도 있다. 이와 같이, 로봇 시스템(10)은 아나토미에 다양한 레벨의 힘을 인가할 수도 있다. 계단 함수는 임의의 적합한 수의 레벨 및 구간을 포함할 수도 있다.

[0042] 또 다른 실시형태에서, 힘은 임펄스 함수 F(t)에 따라 아나토미에 인가된다. 이 실시형태에서, 힘은 아나토미에 인가되고 신호는 시간의 함수로서 아나토미의 응답을 측정하기 위해 기록된다.

[0043] 또 다른 실시형태에서, 단계 72는 교정 절차를 활성화하는 단계를 포함한다. 이와 같이, 아나토미에 힘을 가하는 것은 교정 절차의 활성화에 응답하여 발생한다. 교정 절차는 조작부 제어기(30)에서의 저장된 교정 프로그램일 수도 있다. 저장된 교정 프로그램은, 컴퓨터 프로그램을 저장할 수 있고 로봇 시스템(10)의 일부인, 임의의 매체에 저장될 수도 있다. 네비게이션 인터페이스는 사용자가 교정 절차를 시작하도록 프롬프트할 수도 있다. 대안으로, 교정 절차는 자동으로 시작할 수도 있다.

[0044] 교정 절차 동안, 저장된 교정 프로그램은 조작부 제어기(30)와 협업하여, 기기(22)에게 아나토미에 힘을 인가하도록 명령할 수도 있다. 일 실시형태에서, 기기(22)가 교정 절차의 전반에 걸쳐 아나토미와의 컨택을 유지하도록 힘이 아나토미에 인가된다. 부가하여 또는 대안으로, 조작부(20)는, 미리결정된 임계 힘이 도달될 때까지 아나토미에 인가된 힘을 계속 증가시킬 수도 있다.

[0045] 아나토미는, 힘을 인가한 이후에 응답을 생성한다. 아래에서 후술될 바와 같이, 아나토미의 생성된 응답은 다양한 형태의 임의의 조합을 취할 수도 있다. 일 실시형태에서, 아나토미의 생성된 응답은 기계적 응답이다. 예를 들면, 생성된 응답은 아나토미의 기계적 이동, 또는 보다 구체적으로, 아나토미의 변위 또는 회전 이동일 수도 있다. 당업자는, 아나토미의 생성된 응답이 비기계적인 형태를 취할 수도 있다는 것을 이해할 것이다. 예를 들면, 생성된 응답은 전기적 응답일 수도 있다.

[0046] 아나토미에 의한 응답이 생성된 이후, 응답은 단계 74에서 측정된다. 응답은 다양한 방법에 따라 측정될 수도 있다. 응답 측정 디바이스는 응답을 측정한다. 단계 74의 일 실시형태에서, 응답은 힘/토크 센서(28)를 이용하여 측정된다. 힘/토크 센서(28)는 기기(22)와 연관될 수도 있다. 기기(22)가 아나토미에 힘 및/또는 토크를 인가하는 경우, 힘/토크 센서(28)는 힘 및/또는 토크를 측정할 수도 있다. 대안으로, 힘/토크 센서(28)는 기기(22) 이외의 다른 디바이스와 연관될 수도 있다. 힘 및/또는 토크는 시간의 함수로 측정될 수도 있다. 부가하여, 힘 및/또는 토크는 이산적으로 또는 연속적으로 측정될 수도 있다.

[0047] 단계 74의 다른 실시형태에서, 아나토미의 응답은 관절 토크를 측정함으로써 측정된다. 관절 토크는 조작부(20)의 관절 중 하나의 관절과 관련된 토크에 상응한다. 임의의 적합한 센서 및/또는 인코더는 관절 토크를 감지할 수도 있다. 부가하여, 하나 초과의 관절 토크가 측정될 수도 있다. 일 실시형태에서, 관절 토크가 계산되고 아래 방정식 (1)을 이용하여 공구 중심점(TCP; Tool Center Point) 힘/토크로 변환된다. 방정식 (1)에서, (J')는 TCP에서 관절까지의 야코비 행렬의 전치이고, (t)는 관절 토크의 벡터이다. 아래 식 (2)에 도시된 바와 같이, 관절 토크는 기기(22)를 조작하기 위해 사용되는 모터 제어기에 의해 드로잉된 전류로부터 계산될 수 있으며, 여기서 (kt)는 모터 토크 상수이고 (i)는 전류이다. 부가하여, 관절 토크의 추정치는 관절 토크 센서를 이용하여 결정될 수도 있다. 관절 토크는 다양한 다른 방법에 따라 측정될 수도 있다.

$$(1)\ F = J' * t$$

$$(2)\ \tau = kt * i$$

[0048]

[0049] 단계 74의 또 다른 실시형태에서, 아나토미의 응답은 아나토미의 변위를 측정함으로써 측정된다. 변위는, 힘이 인가되기 때문에 아나토미가 이동하는 거리일 수도 있다. 변위는 시간의 함수로 측정될 수도 있다. 부가하여, 변위는 이산적으로 또는 연속적으로 측정될 수도 있다. 일부 실시형태에서, 조작부(20)는, 원하는 변위가 도달될 때까지 기기(22)를 아나토미에 계속 적용할 수도 있다. 임의의 적합한 디바이스 또는 방법은 아나토미의 변위를 측정하기 위해서 이용될 수도 있다. 일례에서, 네비게이션 시스템(32)은 추적기(58 및 60)의 위치 변화를 측정함으로써 변위를 계산한다. 이를 테면, 네비게이션 시스템(32)은 단계 72에서 힘을 인가하기 이전에 아나토미의 초기 위치를 결정할 수도 있다. 힘이 인가된 이후, 네비게이션 시스템(32)은 아나토미의 변위 위치를 결정할 수도 있다. 이후 네비게이션 시스템(32)은 변위를 결정하기 위해 초기 위치에 대하여 변위 위치를 비교할 수도 있다.

[0050] 변위를 측정할 때, 로봇 시스템(10)은 최종 힘과 변위 측정을 기록할 수도 있다. 단계 74에서, 조작부(20)는, 로봇 시스템(10)이 최종 힘과 변위의 측정을 기록하기 이전에 아나토미 및 기기(22)가 평형 지점에 도달하도록

정의된 설정 시간을 대기할 수도 있다. 부가하여, 조작부 제어기(30)는 인코더와 역학적 계산을 이용하여 아나토미의 변위를 계산할 수도 있다. 당업자는 아나토미의 변위를 계산하는 대안의 방법을 찾을 수 있음을 이해해야 한다.

[0051] 아나토미의 응답 측정에서, 아나토미의 질량(m)이 고려될 수도 있다. 일 실시형태에서, 아나토미의 질량은 사전 동작 데이로부터 추정된다. 부가하여, 아나토미의 질량은 수술 홀더(14)의 질량에 추가될 수도 있다. 이와 같이, 아나토미와 홀더(14)의 질량은 아나토미의 응답의 측정에서 고려될 수도 있다. 더욱이, 질량 및 변위의 양자는 응답을 측정하는 경우 고려될 수도 있다.

[0052] 아나토미의 응답은 상기 실시형태의 임의의 조합에 따라 측정될 수도 있다. 일 실시형태에서, 방법의 소정 단계는 상이한 시간에 일어난다. 예를 들어, 단계 72 및 74는 상이한 시간에 일어난다. 보다 구체적으로, 아나토미의 응답이 측정되기 이전에 아나토미에 힘을 인가한다. 또 다른 예에서, 단계 72 및 78은 상이한 시간에 일어난다. 구체적으로, 기기(22)의 자동 제어 이전에 아나토미에 힘을 인가한다. 이러한 경우, 아나토미에 힘을 인가하는 단계 72는 기기(22)를 자동 제어하는 단계 78와 별도로 그리고 분리하여 일어난다.

[0053] 대안으로, 방법의 소정 단계는 동시에 일어날 수도 있다. 예를 들어, 단계 72 및 74는, 힘이 인가될 때 아나토미의 응답이 동시적으로 측정되도록 동시에 일어날 수도 있다. 또 다른 예에서, 단계 72는 단계 78과 동시에 일어난다. 구체적으로, 기기(22)가 자동 제어될 때 힘이 인가된다. 이러한 경우, 힘을 인가하는 단계 72는 기기(22)를 자동 제어하기 이전에 실행될 필요가 없다. 즉, 기기(22)의 자동 제어는, 힘을 아나토미에 미리 인가하지 않고도 개시될 수 있다. 오히려, 기기(22)의 자동 제어동안, 힘은 아나토미에 연속적으로 인가된다. 부가하여, 단계 74 및 76은 단계 78과 동시에 일어날 수도 있다. 즉, 기기(22)가 자동 제어될 때 아나토미의 응답이 측정될 수도 있고 아나토미의 특성이 계산될 수도 있다.

[0054] 부가하여, 당업자는 방법의 최광의 범위로부터 벗어나지 않고도 아나토미의 응답을 측정하는 대안의 방법을 찾을 수도 있음을 이해해야 한다.

[0055] 상술한 바와 같이, 아나토미의 특성은 단계 76에서의 아나토미의 측정된 응답에 기초하여 계산된다. 특성은 다양한 실시형태에 따라 계산될 수도 있다. 일 실시형태에서, 특성은 정적 방법(static approach)을 이용하여 측정된다. 이 방법에서, 아나토미의 강성 특성 (k)가 결정된다. 아나토미에 인가된 힘은 공지되어 있으며 (F)로 표현된다. 아나토미의 계산된 변위도 또한 공지되어 있으며 (x)로 표현된다. 조작부 제어기(30)는 힘(F), 및 힘(F)과 변위(x)를 아래 식 (3)에 입력하는 것에 의한 계산된 변위(x)를 프로세싱하여, 단계 76에서 강성 특성(k)에 대해 해결한다.

[0056] $$(3)\ F = k * x$$

[0057] 식 (3) 에서, 아나토미의 정적 편향을 측정한다. 강성 특성 (k)은, 정상 상태 조건 하에서 추정될 수 있는 스프링 상수이다. 당업자는 아나토미의 특성을 계산하기 위한 대안의 정적 방법을 찾을 수도 있음을 이해해야 한다.

[0058] 다른 실시형태에서, 특성은 동적 방법을 이용하여 측정된다. 이 방법에서, 아나토미의 단계 또는 임펄스 응답이 측정된다. 파라미터는 질량/스프링/댐퍼 모델에 대해 다음의 특성 방정식 (4)를 이용하여 추정된다:

[0059] $$(4)\ m * x'' + b * x' + k * x = 0$$

[0060] 방정식 (4)에서, (m)은 홀더 및/또는 아나토미의 질량이고, (b)는 감쇠 계수 등의 감쇠 특성이고, (k)는 스프링 상수이고, (x")는 변위의 시간에 대한 2차 미분(예를 들어, 가속도)이고, (x')는 변위의 시간에 대한 1차 미분(예를 들어, 속도)이고, 그리고 (x)는 변위이다. 방정식 (4)에서, 파라미터 (m, b 또는 k) 중 적어도 하나는 나머지 파라미터의 용이한 추정을 허용하는 것으로 가정 또는 공지될 수도 있다. 예를 들어, 3개의 파라미터 중 2개가 공지되어 있다면, 이것은 제 3 파라미터의 개선된 추정을 허용한다. 일례에서, 질량이 공지되어 있거나 또는 이용가능한 임상 데이터로부터 추정될 수도 있다. 다른 예에서, 스프링 상수(k)가 정적 시험을 통해 컴퓨팅 및 추정된다. 어느 예에서든, 나머지 2개의 변수가 실험 데이터로부터 계산될 수도 있다. 대안으로, 양 예의 방법이 조합되어, 감쇠 특성(b)이 실험 데이터로부터 계산될 수 있도록 (m) 및 (k) 양자에 대한 초기 추정치를 제공할 수 있다.

[0061] 단계 76의 또 다른 실시형태에서, 특성을 계산하는 것은 조작부 제어기(30)에 의해 생성된 시간에 걸친 변위 그래프로부터 아나토미의 응답의 공진 주파수(ωn) 및 감쇠비(ζ)를 추정하는 것을 포함한다. 추정된 질량을 이용

하고, 아래 방정식 (5) 및 방정식 (6)을 풀어서, 강성 특성(k) 및 감쇠 특성(b)을 계산할 수 있다. 다른 예에서, 질량, 강성 특성(k), 및 감쇠 특성(b)을 추정한다.

$$(5)\ \omega n = \sqrt{k/m}$$

$$(6)\ (2 * (\zeta) * \omega n) = \frac{b}{m}$$

[0062]

[0063] 또 다른 실시형태에서, 단계 76은, 변위 대 시간 데이터로부터 평가된, 계산된 응답 xc(t)와 실험 응답 x(t) 사이의 평균 제곱 오차를 최소화하는 파라미터 값을 검색하기 위해 반복적 최적화 루틴을 수행하는 것을 포함한다. 이 실시형태에서, 방정식 (7)에서의 질량, 스프링, 댐퍼 모델, H s의 전체 전달 함수는 질량(m), 감쇠 특성(b) 및 강성 특성(k)의 값을 계산하는데 이용된다.

$$(7)\ H(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = 1/(m * s^2 + b * s + k)$$

[0064]

[0065] 방정식 (8)에서, 힘 입력, f(t)는 공지되어 있고, F(s)를 풀기 위해 f(t)의 라플라스 변환이 계산된다. 이와 같이, 방정식 (7)에서의 F(s)는 힘 입력의 라플라스 변환이다. 방정식 (7)에서, X(s)는 변환 출력의 라플라스 변환이고, s는 라플라스 주파수 변수이다. 방정식 (7)에서, X(s)는 F(s)의 계산값 및 (m), (k), 및 (b)의 추측값을 사용하여 푼다. X(s)가 공지되면, 아래 방정식 (9)로 나타낸 바와 같이, 역 라플라스 변환이 X(s)를 주파수 도메인으로부터 xc(t)로서의 시간 도메인으로 변환하기 위해서 사용된다. 이후 xc(t) 및 x(t) 사이에서 평균 제곱 오차가 계산된다. 이후 프로세스는, 평균 제곱 오차가 허용가능한 마진 내에서 수렴할 때까지 (m), (k), 및 (b)에 대해 업데이트된 추측을 이용하여 반복된다.

$$(8)\ F(s) = \mathcal{L}\{f(t)\}(s)$$

$$(9)\ xc(t) = \mathcal{L}^{-1}\{X(s)\}$$

[0066]

[0067] 당업자는 아나토미의 특성을 계산하기 위해 상기에서 언급되지 않은 대안의 수학적 방법을 이용하여 예상할 수 있음을 이해해야 한다.

[0068] 상술된 바와 같이, 단계 78에서 로봇 시스템(10)은 계산된 특성에 기초하여 아나토미와 관련하여 기기(22)를 자동으로 제어한다. 그렇게 함으로써, 방법은 기기(22)를 자동 제어하는 경우 아나토미의 특성을 고려한다. 조작부 제어기(30)는 계산된 특성에 기초하여 아나토미와의 관계에서 기기(22), 궁극적으로 에너지 애플리케이터(34)의 팁의 변위를 제어할 수도 있다. 일 실시형태에 따르면, 기기(22)의 자동 제어는 계산된 특성을 이용하여 수술 절차 동안 아나토미의 이동을 설명하는 것을 포함한다.

[0069] 또 다른 실시형태에서, 계산된 특성은 자동 또는 반자동 모드에서 조작부의 공급 속도를 제어하는 인자로서 사용된다. 조작부의 공급 속도는 2013년 3월 15일에 출원되고 발명의 명칭이 "Surgical Manipulator Capable of Controlling a Surgical Instrument in Multiple Modes"인 미국 특허 가출원 제 61/716,251호에 기재되어 있으며, 이는 그 전체가 참조로써 본원에 원용된다.

[0070] 일례에서, 기기(22)의 공급 속도는 계산된 특성에 기초하여 조절된다. 예를 들어, 수술 절차 동안 기기(22)를 아나토미에 적용할 때 아나토미가 이동하는 속도보다 공급 속도가 더 빠르도록 공급 속도가 조절된다. 이 방식으로, 계산된 특성은, 수술 홀더(14)의 이동에 민감할 수도 있는 아나토미에 기기(22)를 접촉시키는 것을 허용하기에 기기(22)의 공급 속도가 충분하다는 것을 보장하기 위해서 감안된다.

[0071] 다른 예에서, 공급 속도는 아나토미가 수술 홀더(14)에 의해 고정되는 정도를 나타내는 데이터에 기초하여 조절된다. 보다 구체적으로, 공급 속도는 수술 홀더(14)에 대해 아나토미가 이동하는 정도를 나타내는 데이터에 기초하여 조절된다. 이러한 데이터는, 기기(22)의 실제 위치를 아나토미에 대한 기기(22)의 의도된 위치와 비교함으로써 도출될 수도 있다. 네비게이션 시스템(32)은 아나토미 및 기기(22)를 추적하여 실제 위치를 결정한다. 실제 위치는 기기(22)의 이송 절단 경로를 포함할 수도 있다. 의도된 위치는 의도된 이송 절단 경로를 나타내는 사전결정되고 사전로딩된 데이터일 수도 있다. 기기(22)의 절단 경로는 복수의 이산 지점에서 결정될 수도 있다. 프로파일 에러는 실제 경로와 의도된 경로 사이에서 결정될 수 있다. 프로파일 에러는 이후 사전결정된 임계값과 비교될 수도 있다. 일례에서, 임계값을 초과하는 프로파일 에러를 갖는 이송 절단 경로 지점의 비율이

허용될 수 없다고 판단되는 경우, 공급 속도는 감소되고 및/또는 통지가 표시된다. 일부의 경우, 프로파일 에러 타겟뿐만 아니라 허용가능한 비율은 조절되거나 또는 가변될 수 있다. 이러한 조절은 예를 들어 절단이 거칠거나 또는 마무리 절단된 여부에 따라 행해질 수도 있다. 또한, 이러한 조절은 절단되는 아나토미의 중요도에 기초하여 행해질 수도 있다. 언더컷은 또한 오버컷과 상이한 임계값을 가질 수도 있다. 다른 예에서, 전술한 방법은, 기기(22)에 의한 실제 뼈 제거를 기기(22)에 의한 의도된 뼈 제거와 비교하기 위해 채용된다.

[0072] 또 다른 실시형태에서, 자동적으로 기기를 제어하는 것은 아나토미의 계산된 특성에 기초하여 기기(22)의 최대 공급 속도를 설정하는 것을 포함한다. 일부 경우에서, 로봇 시스템(10)은 수술 절차의 대상이 되는 특정 아나토미에 따라 기기(22)의 기본(default) 최대 공급 속도를 지정할 수도 있다. 즉, 기본 최대 공급 속도는 대상 아나토미에 따라 상이할 수도 있다. 그러나, 계산된 특성에 따라, 로봇 시스템(10)은 최대 공급 속도를 기본 최대 공급 속도 이하로 설정할 수도 있다. 예를 들어, 계산된 특성이 비교적 단단한 아나토미를 나타낸다면, 로봇 시스템(10)은 최대 공급 속도를 기본 최대 공급 속도로 설정할 수도 있다. 로봇 시스템(10)은, 아나토미가 비교적 단단한 경우, 기기(22)의 응용시 부정확성의 가능성이 적기 때문에 최대 공급 속도를 유지할 수도 있다. 대안으로, 예를 들어, 계산된 특성이 비교적 느슨하게 고정된 아나토미를 나타내는 경우라면, 로봇 시스템(10)은 기기(22)의 최대 공급 속도를 기본 최대 공급 속도 미만이거나 또는 기본 최대 공급 속도 미만인 공급 속도 범위 내로 설정할 수도 있다. 로봇 시스템(10)은, 아나토미가 느슨하게 고정되는 것에 의해 발생할 수 있는, 기기(22)의 응용시 부정확성을 방해하기 위해 최대 공급 속도를 제한할 수도 있다. 다른 실시형태에서, 최대 공급 속도는 전술한 바와 같이 기본 최대 공급 속도에도 불구하고 계산된 특성의 함수로서 간단히 설정된다.

[0073] 또한, 계산된 특성에 기초하여 기기(22)를 자동 제어하는 것은 계산된 특성을 시뮬레이션 프로그램에 적용하는 것을 포함할 수도 있다. 시뮬레이션 프로그램은 수술 절차 중에 아나토미와의 관계에서 기기(22), 보다 구체적으로 에너지 애플리케이터(34)의 움직임을 모델링할 수도 있다. 일 실시형태에서, 시뮬레이션은 뼈 밀링 절차를 모델링한다.

[0074] 당업자는, 방법의 범위를 벗어나지 않고 상기 실시형태에 기재된 것 이외에 계산된 특성에 기초하여 기기(22)를 자동 제어하기 위한 용도를 찾을 수 있음을 인식해야 한다.

[0075] 계산된 특성에 기초하여, 로봇 시스템(10)은 도 4 및 5에 도시된 바와 같이 메시지 또는 통지(80)를 제공할 수도 있다. 통지(80)는 수술 절차 동안 의료 인력을 원조한다. 통지(80)는 사용자 인터페이스와 같은 임의의 적합한 매체 상에 제공될 수도 있다. 도 4 및 도 5에서, 통지(80)는 네비게이션 시스템(32)의 디스플레이(42) 상에 제공된다. 통지(80)는 이미지, 텍스트, 또는 이미지와 텍스트의 조합에 의해 제공될 수도 있다. 또한, 통지(80)는 애니메이션화될 수도 있다.

[0076] 통지(80)는 계산된 특성에 기초하여 제공된다. 일 실시형태에서, 통지(80)는 계산된 특성의 평가에 기초하여 제공된다. 예를 들어, 통지(80)는 최적의 동작에 관련된 임계값과 계산된 특성의 비교에 기초하여 제공될 수도 있다. 임계값은 최소 임계값 또는 최대 임계값일 수도 있다. 계산된 특성이 최대 임계값 초과 또는 최소 임계값 미만인 경우, 로봇 시스템(10)은 통지(80)를 제공한다. 예를 들어, 강성 k(또는 파라미터 m, b 및 k의 조합)에 대한 최소 임계값이 결정될 수도 있다. 계산된 강성이 강성 k에 대한 최소 임계값 미만이면, 로봇 시스템(10)은 아나토미가 더 안전하게 고정될 때까지 절차를 계속할 수 없다는 통지(80)를 의료인에게 제공한다.

[0077] 대안으로 또는 부가하여, 계산된 특징에 기초하여, 자동 또는 반자동 모드의 공급 속도는 머시닝 정확성을 유지하는데 필요한 레벨로 조절될 수도 있다. 일례에서, 공급 속도는 아나토미가 더 단단히 고정될 때까지 또는 고정되지 않으면 감소된다. 구체적으로, 공급 속도는, 아나토미가 낮은 강성을 나타내는 자유도로 더 단단히 고정될 때까지 또는 고정되지 않는다면 감소될 수도 있다. 공급 속도의 조절은, 의료인이 공급 속도를 수동으로 조절할 필요가 없도록 자동적 및 수동적일 수도 있다. 오히려, 아나토미의 강성은, 보다 빠른 머시닝이 필요한 경우 조절된다. 그후 로봇 시스템(10)은, 아나토미가 더 안전하게 고정되는 경우 공급 속도를 증가시킬 수도 있다는 통지(80)를 의료인에게 표시할 수도 있다.

[0078] 다른 실시형태에서, 계산된 특성은 최적의 동작을 위한 특성의 소정 범위에 대해 비교된다. 계산된 특성이 그 범위를 벗어나는 경우라면, 로봇 시스템(10)은 통지(80)를 전송할 수도 있다. 예를 들어, 로봇 시스템(10)이 강성 특성(k)과 같은 계산된 특성이 최적의 동작을 위한 범위를 벗어난다고 결정한다면, 로봇 시스템(10)은 계산된 특성이 그 범위 밖에 있다는 것 또는 수술 절차가 중지되어야 한다는 것을 경고하는 통지(80)를 의료인에게 전송할 수도 있다. 한편, 강성 특성(k)이 최적의 동작 특성의 범위 내에 있다면, 로봇 시스템(10)은 수술 절차를 계속할 수도 있다는 것을 의료인에게 통지할 수도 있다. 또한, 상술된 실시형태는 교정 과정동안 실현될 수도 있다. 예를 들어, 교정 절차는 계산된 특성이 최적의 동작 특성의 범위 내에 있는 때에 종결될 수도 있다.

[0079] 많은 경우에, 계산된 특성에 기초하여 환자의 아나토미를 조절하는 방법에 대한 명령을 통지(80)에 제공하는 것이 유리하다. 통지(80)는, 아나토미가 더 안전하게 고정되도록, 수술 홀더(14)에 아나토미를 재배치할 것을 의료인에게 경고할 수도 있다. 아나토미의 재배치는 수술 홀더(14)를 조작하여 수행된다. 이로써, 통지(80)는 수술 홀더(14)를 조작(예를 들어, 이동/조절)하는 방법에 대한 명령을 제안할 수도 있다. 아나토미의 위치는 수술 홀더(14)를 이용하여 복수의 자유도에 따라 조절가능하게 설정될 수 있다. 아나토미에 인가된 힘은 각각의 자유도와 관련하여 아나토미에 의한 응답을 생성한다. 각각의 자유도에 대해, 아나토미의 응답이 측정된다. 계산된 특성은 각각의 자유도에 대해 결정된다. 계산된 특성에 기초하여, 아나토미가 임의의 자유도와 관련하여 조절되어야 하는지에 대해 결정이 이루어질 수 있다. 결정은, 계산된 특성이 소정의 임계값 또는 범위를 초과하는지의 여부를 포함하여, 다양한 방법에 따라 제조될 수 있다. 조절의 크기 또는 범위도 또한 결정될 수 있다.

[0080] 통지(80)는 아나토미의 자유도에 기초한 계산에서 도출되는 제안을 제공한다. 아나토미의 어느 자유도가 조작 및 이와 같은 조작의 범위를 필요로 하는지를 결정함으로써, 통지(80)는 수술 홀더(14)의 위치를 변경하기 위한 제안을 제공한다. 수술 홀더(14)의 위치를 변경시킴으로써, 아나토미의 위치를 변화시킨다. 아나토미의 위치가 변함에 따라 계산된 특성 변화도 변한다. 이와 같이, 통지(80)는 아나토미의 재배치를 촉진하여 계산된 특성을 변경시킨다.

[0081] 도 4 및 도 5에 도시된 바와 같이, 통지(80)는, 수술 홀더(14)를 조절하는 방법을 시각적으로 나타내는 이미지 또는 애니메이션으로 표시될 수도 있다. 통지(80)는, 아나토미를 현재 위치(90)에서 제안된 위치(92)로 이동시키는 방법을 나타낸다. 아나토미의 현재 위치(90)는 아나토미의 실시간 위치이다. 전술한 바와 같이, 제안된 위치(92)는 계산된 특성으로부터 도출된다. 도 4 및 도 5에서, 현재 위치(90)는 점선으로 도시되고, 제안된 위치(92)는 실선으로 도시된다.

[0082] 통지(80)에 의해 제공된 제안은 수술 홀더(14)의 구성에 의존할 수도 있다. 도 4 및 도 5에서, 예를 들면, 수술 홀더(14)에 의해 지지되는 아나토미는 다리와 같은 사지이다. 수술 홀더(14)는 아나토미를 연장 또는 굴곡시키기 위한 메커니즘을 포함한다. 수술 홀더(14)는, 지지 바(102)를 따라 이동하는 슬레드(100)에 의해 지지된다. 통지(80)는, 지지 바(102)로부터 슬레드(100)를 잠금해제하고 제안 바(102)를 따라 제안된 위치(92)로 슬레드(100)를 이동시키는 것을 제안할 수도 있다. 이후, 수술 홀더(14)는 제안된 위치(92)에서 잠금된다. 도 4에서 슬레드(100)의 제안된 이동의 방향은 간략히 화살표로 나타내진다. 통지(80)는 연장에서 굽힘으로 또는 그 반대로 다리의 움직임을 제안할 수도 있다. 통지(80)는 임의의 주어진 자유도(들)에 따른 아나토미의 이동을 의미한다. 예를 들어, 도 5에서, 통지(80)는 (환자의 중심선을 향해) 내측으로의 수술 홀더(14)의 회전을 제안한다. 대안으로, 통지(80)는 (환자의 중심선으로부터 멀리) 횡방향으로의 수술 홀더(14)의 회전을 제안한다. 이러한 경우에서, 통지(80)는 횡방향 또는 내측으로 수술 홀더(14)를 이동시키는 것을 제안할 수도 있다. 또한, 도 4에 도시된 바와 같이, 수술 홀더(14)는 아나토미를 고정하기 위한 적어도 하나의 스트랩(106)을 포함할 수도 있다. 통지(80)는 스트랩(106)을 조이는 것을 제안할 수도 있다.

[0083] 물론, 수술 홀더(14)는 다양한 다른 구성을 가질 수도 있고 여기에 언급되지 않은 다양한 다른 방식으로 조작될 수도 있다. 또한, 통지(80)는 수술 홀더(14)의 하나 초과의 피쳐를 재배치하는 것을 제안할 수도 있다. 통지(80)는 또한 단일의 단계 또는 일련의 단계를 통해 명령을 제공할 수도 있다. 예를 들어, 통지(80)는 먼저 제 1 단계로서 도 4에 도시된 제안을 표시할 수도 있고, 후속하여 제 2 단계로서 도 5에 도시된 제안을 표시할 수도 있다.

[0084] 몇몇 경우에서는, 통지(80)는 수동적이며 단지 제안된 위치(92)로의 이동만을 제안한다. 이러한 경우, 로봇 시스템(10)은 일반적으로 수술 홀더(14)가 제안된 위치(92)로 이동되는지의 여부를 결정하지 않는다. 다른 경우, 통지(80)는, 아나토미 및/또는 수술 홀더(14)가 제안된 위치(92)에 도달했는지 여부를 로봇 시스템(10)이 결정하도록 활성화된다. 로봇 시스템(10)은 아나토미 및 수술 홀더(14)의 이동을 간헐적으로 또는 연속적으로 모니터링할 수도 있다. 로봇 시스템(10)은, 아나토미 및 수술 홀더(14)가 제안된 위치(92)에 도달했는지 여부를 결정하기 위한 임의의 적합한 방법 또는 시스템을 채용할 수도 있다. 예를 들어, 로봇 시스템(10)은, 아나토미 및/또는 수술 홀더(14)의 현재 및 제안된 위치(92)를 결정하기 위한 네비게이션 시스템(32) 및 환자 추적기(58, 60)를 이용할 수도 있다.

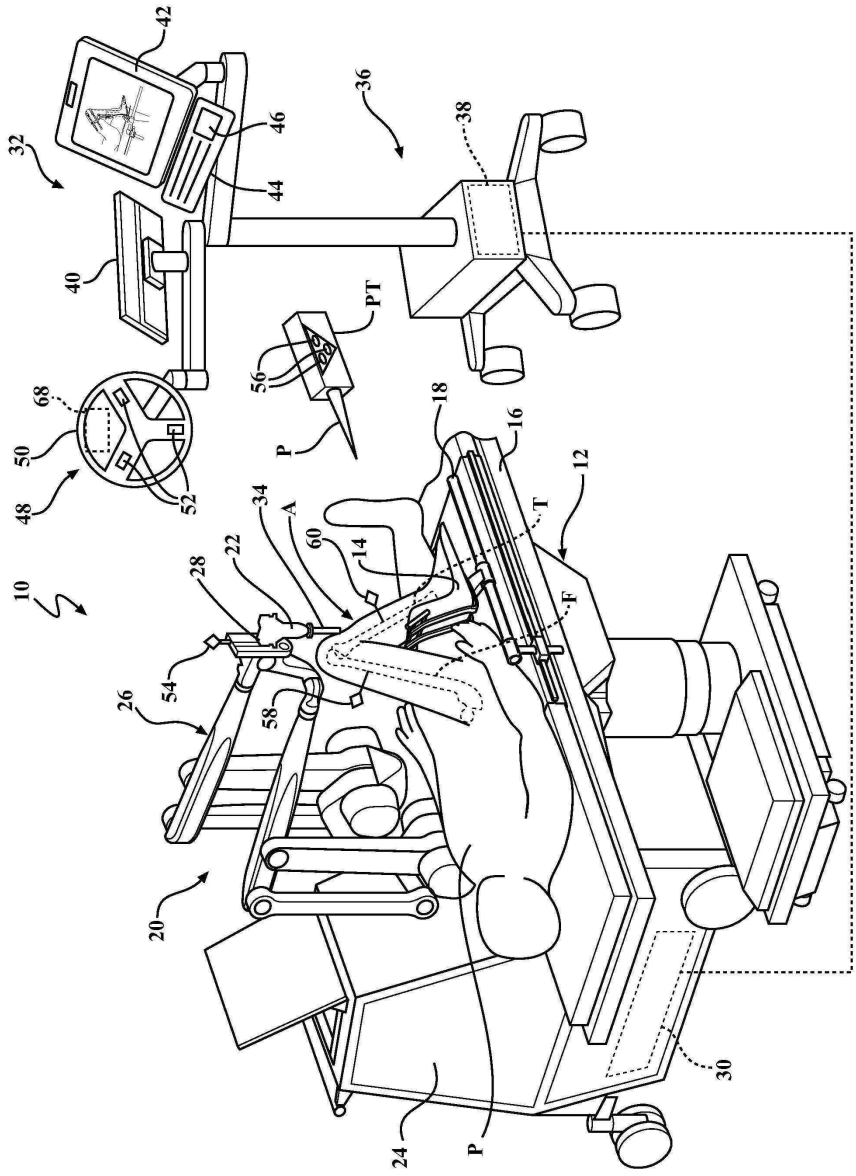
[0085] 부가하여, 로봇 시스템(10)은 제안된 위치(92)가 도달되었다는 것을 통신하기 위한 임의의 적합한 통지 방법을 채용할 수도 있다. 예를 들어, 네비게이션 시스템(32)은 아나토미 및/또는 수술 홀더(14)의 제안된 위치(92)와 관련하여 아나토미 및/또는 수술 홀더(14)의 현재 위치(90)를 표시할 수도 있다. 아나토미 및/또는 수술 홀더(14)가 이동됨에 따라, 아나토미 및/또는 수술 홀더(14)의 표시된 현재 위치(90)는 표시된 제안된 위치(92)에

접근한다. 조절은, 표시된 현재 위치(90)가 표시된 제안된 위치(92)에 도달할 때까지 이루어진다. 물론, 햅틱 또는 청각 방법과 같은 다른 통신 방법은, 제안된 위치(92)가 도달되었음을 통신하기 위해 채용될 수도 있다.

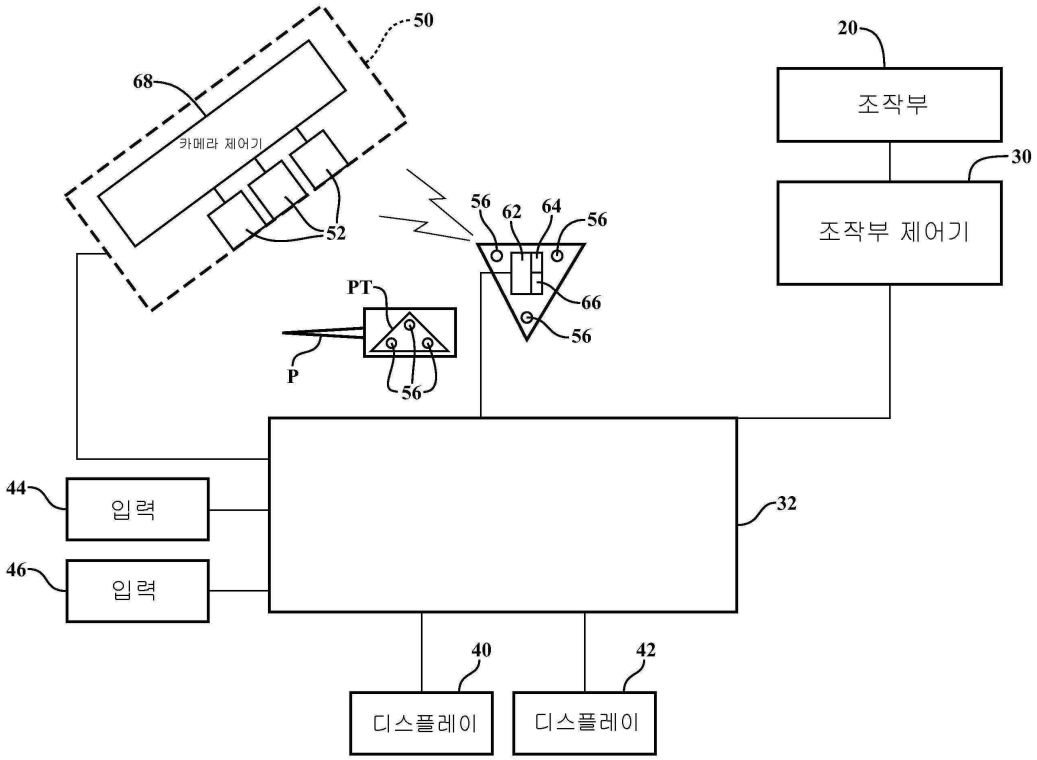
[0086] 본 발명의 많은 특징 및 이점은 상세한 설명으로부터 명백하며, 따라서 본 발명의 진정한 사상 및 범위 내에 있는 본 발명의 이러한 모든 특징 및 이점을 커버하도록 첨부된 청구범위에 의해 의도된다. 또, 다양한 수정 및 변형이 당업자에게 발생할 수 있기 때문에, 예시 및 설명된 정확한 구성 및 동작에 본 발명을 제한하는 것이 바람직하지 않으며, 이에 따라서, 본 발명의 범위 내에 있는 모든 적절한 변형 및 균등물이 재분류될 수도 있다.

도면

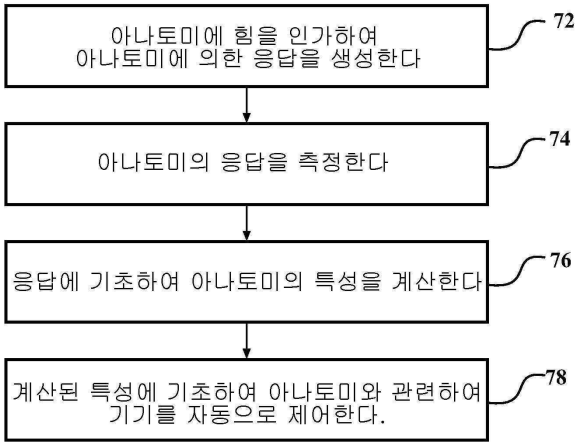
도면1



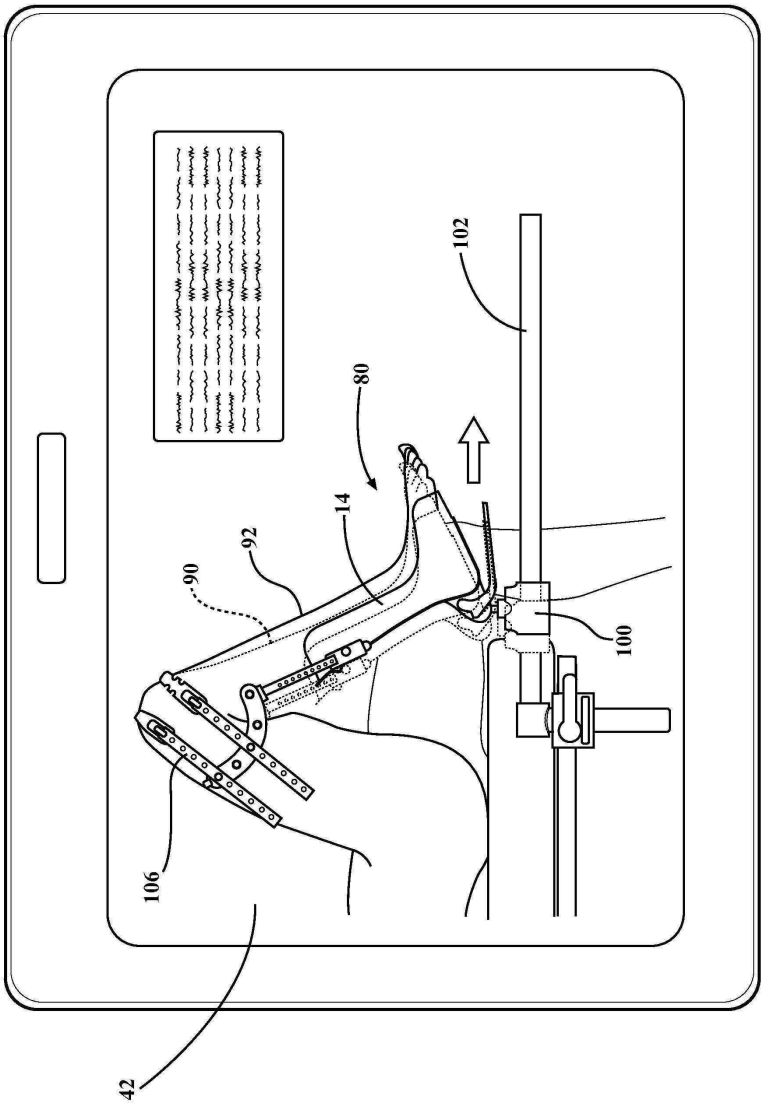
도면2


50
68
카메라 제어기
52
56
62
64
56
66
56
PT
P
56
20
조작부
30
조작부 제어기
44
입력
46
입력
32
40
디스플레이
42
디스플레이

도면3


아나토미에 힘을 인가하여
아나토미에 의한 응답을 생성한다
72
아나토미의 응답을 측정한다
74
응답에 기초하여 아나토미의 특성을 계산한다
76
계산된 특성에 기초하여 아나토미와 관련하여
기기를 자동으로 제어한다.
78

도면4



도면5

