



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2024-0124368
(43) 공개일자 2024년08월16일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 34/30 (2016.01) A61B 17/00 (2022.01)
A61B 34/20 (2016.01) A61B 90/50 (2016.01)
A61G 13/02 (2006.01)
(52) CPC특허분류
A61B 34/30 (2016.02)
A61B 34/20 (2016.02)
(21) 출원번호 10-2024-7024110
(22) 출원일자(국제) 2022년12월20일
심사청구일자 없음
(85) 번역문제출일자 2024년07월17일
(86) 국제출원번호 PCT/IB2022/062545
(87) 국제공개번호 WO 2023/119158
국제공개일자 2023년06월29일
(30) 우선권주장
63/293,072 2021년12월22일 미국(US)

(71) 출원인
아우리스 헬스, 인코포레이티드
미국, 캘리포니아 94065, 레드우드 시티, 150 쇼어라인 드라이브
(72) 발명자
아이리 니콜라스 제이.
미국 캘리포니아 94065 레드우드 시티 쇼어라인 드라이브 150
호 알빈 제트.
미국 캘리포니아 94065 레드우드 시티 쇼어라인 드라이브 150
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
장훈

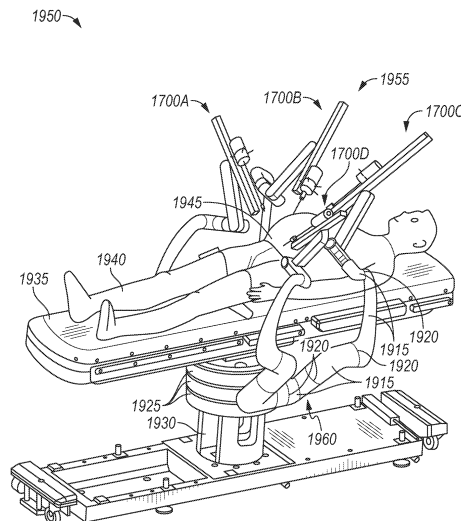
전체 청구항 수 : 총 50 항

(54) 발명의 명칭 동력화된 아암을 구비한 수술 플랫폼

(57) 요약

수술 로봇 시스템은 칼럼-기반 마운트 플랫폼 및 마운트 플랫폼에 결합된 적어도 하나의 로봇 아암을 포함할 수 있다. 로봇 아암은 원격 모션 중심을 집합적으로 한정하는 셋업 링크장치와 원위 조작기 링크장치를 포함할 수 있다. 셋업 링크장치는 원위 조작기 링크장치의 자세 및 원격 모션 중심의 위치를 조작하도록 조절될 수 있다. 또한, 원위 조작기 링크장치는 그에 결합된 도구의 모션의 자유도를 격리시켜 원격 모션 중심에 대해 도구를 관절운동시키도록 구성될 수 있다. 선택적으로, 마운트 플랫폼은 수술 베드 또는 시스템의 칼럼에 의해 지지될 수 있다. 또한, 셋업 링크장치는 로봇일 수 있다. 또한, 원위 조작기 링크장치는 하드웨어-제한된 원격 모션 중심을 사용할 수 있다. 일부 실시예에서, 원위 조작기 링크장치는 평행사변형 링크장치를 포함할 수 있다.

대표도 - 도26b



(52) CPC특허분류

A61B 90/50 (2016.02)

A61G 13/02 (2013.01)

A61B 2017/00809 (2013.01)

A61B 2017/00818 (2013.01)

A61B 2034/2051 (2016.02)

A61B 2034/2059 (2016.02)

A61B 2034/302 (2016.02)

A61B 2090/506 (2016.02)

(72) 발명자

김 세드릭

미국 캘리포니아 94065 레드우드 시티 쇼어라인 드
라이브 150

후앙 야난

미국 캘리포니아 94065 레드우드 시티 쇼어라인 드
라이브 150

월슨 콜린 알렌

미국 캘리포니아 94065 레드우드 시티 쇼어라인 드
라이브 150

조우 렌빈

미국 캘리포니아 94065 레드우드 시티 쇼어라인 드
라이브 150

엔구옌 후인 타이 차우

미국 캘리포니아 94065 레드우드 시티 쇼어라인 드
라이브 150

데벤젠조 로만 엘.

미국 캘리포니아 94065 레드우드 시티 쇼어라인 드
라이브 150

명세서

청구범위

청구항 1

수술 로봇 시스템(surgical robotics system)으로서,
칼럼 상에 지지된 테이블을 갖는 칼럼-기반 마운트 플랫폼(column-based mount platform); 및
상기 테이블에 결합된 로봇 아암(robotic arm)을 포함하고, 상기 로봇 아암은 원격 모션 중심(remote center of motion)을 집합적으로 한정하는 셋업 조인트(setup joint)와 원위 조작기 링크장치(distal manipulator linkage)를 포함하고, 상기 셋업 조인트는 상기 원위 조작기 링크장치의 자세 및 상기 원격 모션 중심의 위치를 조작하도록 조절가능하고, 상기 원위 조작기 링크장치는 그에 결합된 도구의 모션의 자유도를 격리시켜 상기 원격 모션 중심에 대해 상기 도구를 관절운동시키도록 구성되는, 수술 로봇 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 칼럼-기반 마운트 플랫폼은 기부 및 상기 기부로부터 연장되는 칼럼을 추가로 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 3

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 칼럼-기반 마운트 플랫폼은 상기 칼럼에 결합된 쇼울더(shoulder), 제1 회전 조인트에 의해 상기 쇼울더에 결합된 제1 링크, 및 제2 회전 조인트에 의해 상기 제1 링크에 결합된 제2 링크를 추가로 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 칼럼-기반 마운트 플랫폼은 상기 제2 링크에 결합된 조절가능 아암 지지부(adjustable arm support)를 추가로 포함하고, 상기 조절가능 아암 지지부는 그 상에 상기 로봇 아암을 지지하도록 구성되는, 수술 로봇 시스템.

청구항 5

제4항에 있어서, 상기 조절가능 아암 지지부는 바아(bar)를 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 6

제1항 내지 제5항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원위 조작기 링크장치는 단일 조인트에서 상기 도구의 상기 모션을 제한하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원위 조작기 링크장치는 조인트들의 세트에서 상기 도구의 상기 모션을 제한하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 8

제1항 내지 제7항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 로봇 아암은 상기 셋업 조인트를 상기 원위 조작기 링크장치에 결합하는 기부 요 조인트(base yaw joint)를 포함하고, 상기 기부 요 조인트는 상기 원격 모션 중심을 통해 연장되는 회전 축을 갖는, 수술 로봇 시스템.

청구항 9

제1항 내지 제8항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 로봇 아암은 상기 원격 모션 중심을 유지하면서 상기 원위 조작기 링크장치를 재위치시킬 수 있는, 수술 로봇 시스템.

청구항 10

제1항 내지 제9항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 로봇 아암의 상기 원위 조작기 링크장치는 평행사변형 링크장치(parallelogram linkage)를 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 11

제10항에 있어서, 상기 평행사변형 링크장치는 상기 원격 모션 중심에 대해 관절운동하도록 구성되는, 수술 로봇 시스템.

청구항 12

제10항 또는 제11항에 있어서, 상기 평행사변형 링크장치는 하나의 동력식 조인트(powered joint)와 2개의 수동형 조인트들(passive joints)을 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 13

제12항에 있어서, 상기 수동형 조인트들의 회전은 리미터 메커니즘(limiter mechanism)에 의해 기계적으로 제한되는, 수술 로봇 시스템.

청구항 14

제13항에 있어서, 상기 리미터 메커니즘은 밴드, 벨트, 체인, 또는 링크를 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 15

제10항 내지 제14항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 평행사변형 링크장치는 3개의 회전 조인트들에서 서로 회전 가능하게 결합되는 4개의 링크들을 포함하고, 상기 3개의 회전 조인트들은 1:1:1 비로 회전하도록 구성되는, 수술 로봇 시스템.

청구항 16

제15항에 있어서, 상기 4개의 링크들은 피치 기부 링크(pitch base link), 제1 피치 링크, 제2 피치 링크, 및 스테이지 링크(stage link)를 포함하고, 상기 피치 기부 링크는 제1 피치 조인트를 통해 상기 제1 피치 링크에 결합되고, 상기 제1 피치 링크는 제2 피치 조인트를 통해 상기 제2 피치 링크에 결합되고, 상기 제2 피치 링크는 제3 피치 조인트를 통해 상기 스테이지 링크에 결합되는, 수술 로봇 시스템.

청구항 17

제16항에 있어서, 상기 스테이지 링크는 도구 드라이버(tool driver)를 지지하고, 상기 도구 드라이버는 도구를 지지함으로써 상기 원격 모션 중심에 대한 관절운동을 위해 구성되는, 수술 로봇 시스템.

청구항 18

제1항 내지 제17항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 셋업 조인트는 상기 마운트 플랫폼에 결합된 직선형 조인트(prismatic joint)를 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 19

제1항 내지 제18항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 셋업 조인트는 회전가능하게 함께 결합되는 복수의 링크들을 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 20

제1항 내지 제19항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 셋업 조인트는 롤 조인트(roll joint)를 포함하는, 수술 로봇 시스템.

청구항 21

제1항 내지 제20항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 셋업 조인트는 로봇 셋업 조인트인, 수술 로봇 시스템.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 셋업 조인트는 동력화되는(motorized), 수술 로봇 시스템.

청구항 23

제1항 내지 제22항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원격 모션 중심은 하드웨어 제한되는(hardware constrained), 수술 로봇 시스템.

청구항 24

제1항 내지 제23항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원격 모션 중심은 소프트웨어 제한되는(software constrained), 수술 로봇 시스템.

청구항 25

수술 로봇 시스템의 테이블에 결합가능한 로봇 아암으로서,

원위 조작기 링크장치의 자세 및 상기 테이블에 대한 원격 모션 중심의 위치를 조작하도록 조절가능한 로봇 셋업 조인트; 및

원격 모션 중심을 집합적으로 한정하도록 상기 로봇 셋업 조인트에 결합된 원위 조작기 링크장치를 포함하고, 상기 원위 조작기 링크장치는 그에 결합된 도구의 모션의 자유도를 격리시켜 상기 원격 모션 중심에 대해 상기 도구를 관절운동시키도록 구성되는, 로봇 아암.

청구항 26

제25항에 있어서, 상기 원위 조작기 링크장치는 단일 조인트에서 상기 도구의 상기 모션을 제한하는, 로봇 아암.

청구항 27

제25항에 있어서, 상기 원위 조작기 링크장치는 조인트들의 세트에서 상기 도구의 상기 모션을 제한하는, 로봇 아암.

청구항 28

제25항 내지 제27항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 로봇 아암은 상기 셋업 조인트를 상기 원위 조작기 링크장치에 결합하는 기부 요 조인트를 포함하고, 상기 기부 요 조인트는 상기 원격 모션 중심을 통해 연장되는 회전 축을 갖는, 로봇 아암.

청구항 29

제25항 내지 제28항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 로봇 아암의 상기 원위 조작기 링크장치는 평행사변형 링크장치를 포함하는, 로봇 아암.

청구항 30

제29항에 있어서, 상기 평행사변형 링크장치는 상기 원격 모션 중심에 대해 관절운동하도록 구성되는, 로봇 아암.

청구항 31

제29항에 있어서, 상기 평행사변형 링크장치는 하나의 동력식 조인트와 2개의 수동형 조인트들을 포함하는, 로봇 아암.

청구항 32

제31항에 있어서, 상기 수동형 조인트들의 회전은 리미터 메커니즘에 의해 기계적으로 제한되는, 로봇 아암.

청구항 33

제32항에 있어서, 상기 리미터 메커니즘은 밴드, 벨트, 체인, 또는 링크를 포함하는, 로봇 아암.

청구항 34

제29항 내지 제33항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 평행사변형 링크장치는 3개의 회전 조인트들에서 서로 회전 가능하게 결합되는 4개의 링크들을 포함하고, 상기 3개의 회전 조인트들은 1:1:1 비로 회전하도록 구성되는, 로봇 아암.

청구항 35

제34항에 있어서, 상기 4개의 링크들은 피치 기부 링크, 제1 피치 링크, 제2 피치 링크, 및 스테이지 링크를 포함하고, 상기 피치 기부 링크는 제1 피치 조인트를 통해 상기 제1 피치 링크에 결합되고, 상기 제1 피치 링크는 제2 피치 조인트를 통해 상기 제2 피치 링크에 결합되고, 상기 제2 피치 링크는 제3 피치 조인트를 통해 상기 스테이지 링크에 결합되는, 로봇 아암.

청구항 36

제35항에 있어서, 상기 스테이지 링크는 도구 드라이버를 지지하고, 상기 도구 드라이버는 도구를 지지함으로써 상기 원격 모션 중심에 대한 관절운동을 위해 구성되는, 로봇 아암.

청구항 37

제25항 내지 제36항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 셋업 조인트는 회전가능하게 함께 결합되는 복수의 링크들을 포함하는, 로봇 아암.

청구항 38

제25항 내지 제37항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 셋업 조인트는 롤 조인트를 포함하는, 로봇 아암.

청구항 39

제25항 내지 제38항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 셋업 조인트는 동력화되는, 로봇 아암.

청구항 40

제25항 내지 제39항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원격 모션 중심은 하드웨어 제한되는, 로봇 아암.

청구항 41

제25항 내지 제40항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원격 모션 중심은 소프트웨어 제한되는, 로봇 아암.

청구항 42

수술 방법으로서,

테이블에 결합되는 로봇 아암의 셋업 조인트를 셋업 위치에 위치시키기 위한 셋업 명령을 수신하는 단계;

상기 셋업 명령에 응답하여, 상기 셋업 조인트를 상기 셋업 위치에 위치시키기 위해 상기 로봇 아암의 상기 셋업 조인트의 하나 이상의 동력화된 조인트들(motorized joints)을 구동하는 단계;

원격 모션 중심에 대해 원위 조작기 링크장치를 위치시키기 위한 조절 명령을 수신하는 단계; 및

상기 조절 명령에 응답하여, 상기 로봇 아암의 원위 조작기 링크장치를 조절된 위치로 구동하는 단계를 포함하고, 상기 원위 조작기 링크장치는 그에 결합된 도구의 모션의 자유도를 제한하고 상기 원격 모션 중심에 대해 상기 도구를 관절운동시키는, 방법.

청구항 43

제42항에 있어서, 상기 셋업 명령에 응답하여, 상기 방법은 상기 로봇 아암을 상기 셋업 위치를 향해 이동시키기 위해 칼럼-기반 마운트 플랫폼을 구동하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 44

제42항 또는 제43항에 있어서, 상기 원위 조작기 링크장치를 구동하는 상기 단계는 단일 조인트에서 상기 도구의 상기 관절운동을 제한하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 45

제42항 내지 제44항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원위 조작기 링크장치를 구동하는 상기 단계는 조인트들의 세트에서 상기 도구의 상기 관절운동을 제한하는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 46

제42항 내지 제45항 중 어느 한 항에 있어서, 상기 원위 조작기 링크장치를 구동하는 상기 단계는 평행사변형 링크장치를 관절운동시키는 단계를 포함하는, 방법.

청구항 47

제46항에 있어서, 상기 원위 조작기 링크장치를 구동하는 상기 단계는 3개의 회전 조인트들에서 서로 회전가능하게 결합되는 4개의 링크들을 갖는 평행사변형 링크장치를 관절운동시키는 단계를 포함하고, 상기 3개의 회전 조인트들은 1:1:1 비로 구동되는, 방법.

청구항 48

제47항에 있어서, 상기 도구의 동작을 제어하기 위해 도구 드라이버를 관절운동시키는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 49

제42항 내지 제48항 중 어느 한 항에 있어서, 하드웨어를 통해 상기 원격 모션 중심을 제한하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

청구항 50

제42항 내지 제49항 중 어느 한 항에 있어서, 소프트웨어를 통해 상기 원격 모션 중심을 제한하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 명세서에 개시된 시스템 및 방법은 의료 장치에 관한 것으로, 더 상세하게는 로봇 시스템에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 로봇 시스템은 의사가 의료 절차를 수행하는 것을 보조할 수 있다. 다양한 의료 절차는 진단 및/또는 치료를 제공하기 위해 환자의 신체 내에서 의료 기구의 3차원 위치의 위치결정(localization)을 수반한다. 관절운동식 로봇 아암(articulated robotic arm)은 의료 기구를 정확한 위치에 위치시키기 위해 의사의 제어 하에, 부분적으로 자율적으로, 또는 완전히 자율적으로 동작될 수 있다. 로봇 시스템의 사용으로 인해, 몇 가지 예를 들자면, 더 큰 정밀도, 더 작은 절개부, 감소된 혈액 손실, 및 더 빠른 치유 시간으로 절차가 수행될 수 있다.

발명의 내용

[0003] 의료 로봇 시스템에 있어서 한 가지 문제는, 각각의 절차가 절차 동안 사용가능한 로봇 아암에 대한 고유한 운동학적 요건들의 세트를 갖는, 매우 다양한 의료 절차가 있다는 것이다. 예를 들어, 로봇-보조식 내시경술에 대한 요건은, 다른 차이들 중에서도, 시스템 대역폭, 강성, 작업공간 범위 및 위치설정, 및 속도에 관하여 로봇-보조식 복강경술에 대한 요건과 상이하다. 그 결과, 기존 의료 로봇 시스템은 전형적으로 특정 의료 절차를 위해 특별히 제작되고, 다른 유형의 의료 절차를 수행할 수 없다. 따라서, 그러한 로봇 시스템을 사용하려는 병원 또는 다른 진료소는 다수의 시스템의 매입(예컨대, 구매 또는 임대) 및 보관과 관련된 비용이 증가하였다. 이는 결국 그러한 절차를 받는 환자에게 전가되는 비용을 증가시킬 수 있다.

[0004] 본 명세서에 개시된 일부 실시예는 베드-기반 수술 로봇 플랫폼(bed-based surgical robotics platform) 상에

서 복강경 수술을 수행하기 위한 로봇 아암 운동학적 레이아웃(kinematic layout)을 구현할 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에 개시된 일부 실시예에 따르면, 현재 로봇 시스템이, 다른 것들 중에서도, 로봇 아암의 이용가능한 도달 범위, 로봇 아암의 잠재적 접근 및 조종성, 로봇 아암 및 지원 아키텍처의 강성, 및 시스템의 성능을 포함하는 소정 제한 및 문제에 계속 직면하는 것으로 인식된다.

[0005] 또한, 본 명세서에 개시된 일부 실시예에 따르면, 소프트웨어-제한된 원격 모션 중심(software-constrained remote center of motion)을 이용하는 로봇 시스템의 증가된 복잡성이 인식되고 인정된다. 실제로, 이들 및 다른 문제는 6개의 로봇 아암을 사용하는 로봇 시스템에서 특히 심각할 수 있다. 따라서, 본 명세서에 개시된 일부 실시예는 로봇 아암들을 위한 공통 장착 플랫폼, 로봇 셋업 조인트(robotic setup joint), 및 하드웨어-제한된(hardware-constrained) 원격 모션 중심을 사용하는 원위 조작기 링크장치(distal manipulator linkage)를 이용하는 로봇 시스템을 제공하기 위해 이들 및 다른 고려사항을 해결하도록 구성될 수 있다.

[0006] 이들 및 다른 선택적인 특징은 개선된 강직성을 제공하고, 충동을 감소시키고, 시스템의 로봇 아암의 조종성 및 위치설정을 증가시키도록 로봇 시스템에서 구현될 수 있다. 또한, 일부 실시예는 복잡성을 감소시키고, 신뢰성을 증가시키고, 시스템의 동작을 간소화하기 위해 시스템의 하나 이상의 로봇 아암에 대한 하드웨어-제한된 모션 중심을 선택적으로 구현할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0007] 개시된 태양은, 개시된 태양을 제한하지 않고 예시하기 위해 제공되는 첨부 도면과 함께 본 명세서에 후술될 것이며, 여기에서 유사한 명칭은 유사한 요소를 나타낸다.

도 1은 진단 및/또는 치료 기관지경술 절차(들)를 위해 배열된 카트(cart)-기반 로봇 시스템의 일 실시예를 예시한다.

도 2는 도 1의 로봇 시스템의 추가 태양을 도시한다.

도 3은 요관경술을 위해 배열된 도 1의 로봇 시스템의 일 실시예를 예시한다.

도 4는 혈관 절차를 위해 배열된 도 1의 로봇 시스템의 일 실시예를 예시한다.

도 5는 기관지경술 절차를 위해 배열된 테이블(table)-기반 로봇 시스템의 일 실시예를 예시한다.

도 6은 도 5의 로봇 시스템의 대안적인 도면을 제공한다.

도 7은 로봇 아암(들)을 적재하도록 구성된 예시적인 시스템을 예시한다.

도 8은 요관경술 절차를 위해 구성된 테이블-기반 로봇 시스템의 일 실시예를 예시한다.

도 9는 복강경술 절차를 위해 구성된 테이블-기반 로봇 시스템의 일 실시예를 예시한다.

도 10은 피치(pitch) 또는 틸트(tilt) 조절을 갖는 도 5 내지 도 9의 테이블-기반 로봇 시스템의 일 실시예를 예시한다.

도 11은 도 5 내지 도 10의 테이블-기반 로봇 시스템의 테이블과 칼럼(column) 사이의 인터페이스의 상세한 예시를 제공한다.

도 12는 예시적인 기구 드라이버(instrument driver)를 예시한다.

도 13은 페어링된(paired) 기구 드라이버를 갖는 예시적인 의료 기구를 예시한다.

도 14는 구동 유닛의 축이 기구의 세장형 샤프트(elongated shaft)의 축에 평행한 기구 드라이버 및 기구에 대한 대안적인 설계를 예시한다.

도 15는 일부 실시예에 따른, 도 13 및 도 14의 기구의 위치와 같은, 도 1 내지 도 10의 로봇 시스템의 하나 이상의 요소의 위치를 추정하는 위치결정 시스템을 예시한 블록도를 도시한다.

도 16은 일부 실시예에 따른, 도 1 내지 도 5 및 도 8 내지 도 10에 도시된 바와 같은 의료 로봇 시스템에 대한 예시적인 명령 콘솔(command console)을 예시한다.

도 17은 아암 지지부(arm support)를 위치시키기 위한 2개의 단일-링크 동력화된 아암(single-link motorized arm)을 포함하는 로봇 시스템의 일 실시예의 단부도이다.

도 18은 동력화된 아암 및 아암 지지부의 일 실시예의 등각도이다.

도 19a 및 도 19b는 적재 구성으로 2개의 단일-링크 동력화된 아암을 포함하는 로봇 시스템의 일 실시예의 각각 사시도 및 단부도를 도시한다.

도 20은 적재 구성으로 2개의 단일-링크 동력화된 아암 및 6개의 로봇 아암을 포함하는 로봇 시스템의 일 실시예의 사시도이다.

도 21은 일 실시예에 따른 로봇 아암의 등각도이다.

도 22a 및 도 22b는 각각 연장 및 적재 구성의 이중-링크(dual-link) 동력화된 아암의 일 실시예의 사시도를 예시한다.

도 23은 아암 지지 링크장치 및 부착된 아암 지지부의 일 실시예의 사시도이다.

도 24는 도 1 내지 도 23에 도시된 시스템 및 구성요소와 함께 사용가능한 로봇 아암의 예를 예시한다.

도 25는 도 1 내지 도 23에 도시된 시스템 및 구성요소와 함께 사용가능한 로봇 아암의 다른 예를 예시한다.

도 26a는 제1 동작 모드에서 작동되기 시작하는 도 24의 로봇 아암을 도시한다.

도 26b는 복강경술 절차를 위한 제1 모드에서 동작하도록 구성된, 도 24에 도시된 바와 같은 다수의 로봇 아암을 포함하는 테이블-기반 로봇 시스템을 도시한다.

도 27a는 제2 동작 모드로 구성된 도 24의 다수의 로봇 아암을 도시한다.

도 27b는 내시경술 절차를 위한 제2 모드에서 동작하기 위해 도 27a에 도시된 바와 같이 구성된 로봇 아암들 중 일부를 포함하는 도 26b의 테이블-기반 로봇 시스템을 도시한다.

도 28a 및 도 28b는 도 24의 로봇 아암에 장착된 기구 드라이버에 대한 위치의 범위를 도시한다.

도 29a 내지 도 29d는 도 26a에 도시된 제1 모드에서 동작하도록 도 24의 로봇 아암을 설정하기 위한 일련의 예시적인 단계를 도시한다.

도 30a 내지 도 30c는 도 26a에 도시된 제1 모드에서 도 25의 로봇 아암을 동작시키기 위한 상이한 서브-모드를 도시한다.

도 31a 및 도 31b는 도 26a에 도시된 제1 모드에서 도 24의 로봇 아암을 동작시키기 위한 상이한 서브-모드를 도시한다.

도 32a 및 도 32b는 도 27a에 도시된 제2 모드에서의 동작 동안 도 25의 로봇 아암에 대한 제2 기구 드라이버의 추가를 도시한다.

도 33은 보관 구성에서의 도 25의 로봇 아암을 도시한다.

도 34는 일부 실시예에 따른, 복수의 로봇 아암을 갖는 로봇 시스템을 도시한다.

도 35는 일부 실시예에 따른, 도 35의 로봇 시스템과 함께 사용하기 위한 로봇 아암의 선택적인 특징부를 도시한다.

도 36은 일부 실시예에 따른, 도 35의 로봇 시스템과 함께 사용하기 위한 로봇 아암의 선택적인 특징부를 도시한다.

도 37은 내시경술 절차를 위한 제2 모드에서 동작하기 위해 도 27a에 도시된 바와 같이 구성된 로봇 아암들 중 일부를 포함하는 도 17의 테이블-기반 로봇 시스템을 도시한다.

도 38은 본 개시에 따른 로봇 아암의 다양한 예를 도시한다.

도 39는 도 24 내지 도 38의 로봇 아암을 동작시키기 위한 예시적인 프로세스의 흐름도를 도시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

1. 개요.

본 개시의 태양은 복강경술과 같은 최소 침습 절차 및 내시경술과 같은 비-침습 절차 둘 모두를 비롯하여 다양

한 의료 절차를 수행할 수 있는 로봇식 의료 시스템(robotically enabled medical system)에 통합될 수 있다. 내시경술 절차 중에서, 시스템은 기관지경술, 요관경술, 위내시경술 등을 수행하는 것이 가능할 수 있다.

[0010] 광범위한 절차를 수행하는 것에 더하여, 시스템은 의사를 보조하기 위한 향상된 이미징 및 안내와 같은 추가의 이점을 제공할 수 있다. 추가적으로, 시스템은 다루기 어려운 아암 모션 및 위치에 대한 필요 없이 인체공학적 위치로부터 절차를 수행하는 능력을 의사에게 제공할 수 있다. 더욱이, 시스템은, 시스템의 기구들 중 하나 이상이 단일 사용자에게 의해 제어될 수 있도록, 개선된 사용 용이성을 갖고서 절차를 수행하는 능력을 의사에게 제공할 수 있다.

[0011] 다양한 실시예가 예시의 목적으로 도면과 함께 후술될 것이다. 개시된 개념의 많은 다른 구현예가 가능하고, 개시된 구현예로 다양한 이점이 달성될 수 있다는 것이 인식되어야 한다. 참조를 위해 그리고 다양한 섹션을 찾는 데 도움을 주기 위해 표제가 본 명세서에 포함된다. 이들 표제는 그와 관련하여 기술되는 개념의 범주를 제한하도록 의도되지 않는다. 그러한 개념은 전체 명세서 전반에 걸쳐 적용될 수 있다.

[0012] A. 로봇 시스템 - 카트.

[0013] 로봇식 의료 시스템은 특정 절차에 따라 다양한 방식으로 구성될 수 있다. 도 1은 진단 및/또는 치료 기관지경술 절차를 위해 배열된 카트-기반 로봇식 시스템(10)의 일 실시예를 예시한다. 기관지경술 동안, 시스템(10)은 기관지경술을 위한 절차-특정적 기관지경일 수 있는, 조향가능 내시경(13)과 같은 의료 기구를 진단 및/또는 치료 도구를 전달하기 위한 자연 구멍 접근 지점(natural orifice access point)(즉, 본 예에서 테이블 상에 위치한 환자의 입)으로 전달하기 위한 하나 이상의 로봇 아암(12)을 갖는 카트(11)를 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 카트(11)는 접근 지점에 대한 접근을 제공하기 위해 환자의 상체에 근접하게 위치될 수 있다. 유사하게, 로봇 아암(12)은 접근 지점에 대해 기관지경을 위치시키도록 작동될 수 있다. 도 1의 배열은 또한, 위장(gastro-intestinal, GI) 절차를 위한 전문화된 내시경인 위내시경으로 GI 절차를 수행할 때 이용될 수 있다. 도 2는 카트의 예시적인 실시예를 더 상세히 도시한다.

[0014] 계속해서 도 1을 참조하면, 일단 카트(11)가 적절하게 위치되면, 로봇 아암(12)은 조향가능 내시경(13)을 로봇으로, 수동으로, 또는 이들의 조합으로 환자 내로 삽입할 수 있다. 도시된 바와 같이, 조향가능 내시경(13)은 적어도 2개의 삽통 부품(telescoping part), 예컨대 내부 리더(leader) 부분 및 외부 시스(sheath) 부분을 포함할 수 있으며, 각각의 부분은 기구 드라이버들(28)의 세트로부터의 별개의 기구 드라이버에 결합되고, 각각의 기구 드라이버는 개별 로봇 아암의 원위 단부에 결합된다. 리더 부분을 시스 부분과 동축으로 정렬하는 것을 용이하게 하는, 기구 드라이버(28)의 이러한 선형 배열은 하나 이상의 로봇 아암(12)을 상이한 각도 및/또는 위치로 조작함으로써 공간에서 재위치될 수 있는 "가상 레일(virtual rail)"(29)을 생성한다. 본 명세서에 기술되는 가상 레일은 파선을 사용하여 도면에 도시되어 있으며, 따라서 파선은 시스템의 임의의 물리적 구조를 도시하지 않는다. 가상 레일(29)을 따른 기구 드라이버(28)의 병진은 외부 시스 부분에 대해 내부 리더 부분을 삽통식으로 이동시키거나, 환자로부터 내시경(13)을 전진 또는 후퇴시킨다. 가상 레일(29)의 각도는 임상 적용 또는 의사 선호도에 기초하여 조절, 병진, 및 피봇될(pivoted) 수 있다. 예를 들어, 기관지경술에서, 도시된 바와 같은 가상 레일(29)의 각도 및 위치는 내시경(13)을 환자의 입 안으로 구부림으로써 발생하는 마찰을 최소화하면서 내시경(13)에 대한 의사 접근을 제공하는 것 사이의 절충을 나타낸다.

[0015] 내시경(13)은 표적 목적지 또는 수술 부위에 도달할 때까지 로봇 시스템으로부터의 정확한 명령을 사용하여 삽입 후 환자의 기관 및 폐를 따라 지향될 수 있다. 환자의 폐 네트워크(lung network)를 통한 내비게이션(navigation)을 향상시키고/시키거나 원하는 표적에 도달하기 위해, 내시경(13)은 향상된 관절운동 및 더 큰 굽힘 반경을 얻기 위해 외부 시스 부분으로부터 내부 리더 부분을 삽통식으로 연장시키도록 조작될 수 있다. 별개의 기구 드라이버(28)의 사용은 또한 리더 부분과 시스 부분이 서로 독립적으로 구동되도록 허용한다.

[0016] 예를 들어, 내시경(13)은, 예를 들어 환자의 폐 내의 병변 또는 결절과 같은 표적에 생검 니들을 전달하도록 지향될 수 있다. 니들은 병리학자에 의해 분석될 조직 샘플을 얻기 위해 내시경의 길이를 따라 연장되는 작업 채널을 따라 전개될 수 있다. 병리학 결과에 따라, 추가 도구가 추가 생검을 위해 내시경의 작업 채널을 따라 전개될 수 있다. 결절을 악성으로 확인한 후에, 내시경(13)은 잠재적인 암 조직을 절제하기 위한 도구를 내시경으로 전달할 수 있다. 일부 경우에, 진단 및 치료 처치제(treatment)가 별개의 절차로 전달될 필요가 있을 수 있다. 그들 상황에서, 내시경(13)은 또한 표적 결절의 위치를 "마킹"하기 위한 기준점을 전달하는 데에도 사용될 수 있다. 다른 경우에, 진단 및 치료 처치제는 동일한 절차 동안 전달될 수 있다.

[0017] 시스템(10)은 또한 이동가능 타워(tower)(30)를 포함할 수 있으며, 이는 카트(11)에 지원 케이블을 통해 연결되

어 카트(11)에 제어부, 전자장치, 유체장치, 광학계, 센서, 및/또는 전력에 대한 지원을 제공할 수 있다. 그러한 기능을 타워(30) 내에 두는 것은 수술 의사 및 그/그녀의 스태프에 의해 더 용이하게 조절 및/또는 재위치될 수 있는 더 작은 형태 인자(form factor)의 카트(11)를 허용한다. 추가적으로, 카트/테이블과 지원 타워(30) 사이의 기능의 분할은 수술실의 어수선함을 감소시키고, 임상 워크플로우의 개선을 용이하게 한다. 카트(11)는 환자 가까이 위치될 수 있지만, 타워(30)는 절차 동안 방해가 되지 않도록 원격 위치에 적재될 수 있다.

[0018] 전술된 로봇 시스템을 지원하기 위해, 타워(30)는, 예를 들어 영구 자기 저장 드라이브(persistent magnetic storage drive), 솔리드 스테이트 드라이브(solid state drive) 등과 같은 비-일시적 컴퓨터-판독가능 저장 매체 내에 컴퓨터 프로그램 명령어를 저장하는 컴퓨터-기반 제어 시스템의 구성요소(들)를 포함할 수 있다. 이들 명령어의 실행은, 실행이 타워(30)에서 발생하든 또는 카트(11)에서 발생하든 간에, 전체 시스템 또는 그의 서브-시스템(들)을 제어할 수 있다. 예를 들어, 컴퓨터 시스템의 프로세서에 의해 실행될 때, 명령어는 로봇 시스템의 구성요소로 하여금 관련 캐리지(carriage) 및 아암 마운트(arm mount)를 작동시키고, 로봇 아암을 작동시키고, 의료 기구를 제어하게 할 수 있다. 예를 들어, 제어 신호를 수신하는 것에 응답하여, 로봇 아암의 조인트 내의 모터는 아암을 소정 자세로 위치시킬 수 있다.

[0019] 타워(30)는 또한, 내시경(13)을 통해 전개될 수 있는 시스템에 제어된 관주 및 흡인 능력을 제공하기 위해 펌프, 유량계, 밸브 제어부, 및/또는 유체 접근부(fluid access)를 포함할 수 있다. 이들 구성요소는 또한 타워(30)의 컴퓨터 시스템을 사용하여 제어될 수 있다. 일부 실시예에서, 관주 및 흡인 능력은 별개의 케이블(들)을 통해 내시경(13)으로 직접 전달될 수 있다.

[0020] 타워(30)는 카트(11)에 필터링되고 보호된 전력을 제공하도록 설계되는 전압 및 서지(surge) 보호기를 포함하여, 카트(11) 내에 전력 변압기 및 다른 보조 전력 구성요소를 배치하는 것을 회피하여, 더 작고 더 이동 가능한 카트(11)를 생성할 수 있다.

[0021] 타워(30)는 또한 로봇 시스템(10) 전체에 걸쳐 전개된 센서에 대한 지원 장비를 포함할 수 있다. 예를 들어, 타워(30)는 로봇 시스템(10) 전체에 걸쳐 광학 센서 또는 카메라로부터 수신된 데이터를 검출, 수신, 및 처리하기 위한 광-전자 장비를 포함할 수 있다. 제어 시스템과 조합하여, 그러한 광-전자 장비는 타워(30) 내를 비롯하여, 시스템 전체에 걸쳐 전개된 임의의 수의 콘솔에 디스플레이하기 위한 실시간 이미지를 생성하는 데 사용될 수 있다. 유사하게, 타워(30)는 또한 전개된 전자기(electromagnetic, EM) 센서로부터 수신되는 신호를 수신하고 처리하기 위한 전자 서브시스템을 포함할 수 있다. 타워(30)는 또한 의료 기구 내의 또는 그 상의 EM 센서에 의한 검출을 위한 EM 필드 발생기(field generator)를 수용하고 위치시키는 데 사용될 수 있다.

[0022] 타워(30)는 또한 시스템의 나머지 부분에서 이용가능한 다른 콘솔, 예컨대 카트의 상부에 장착된 콘솔에 더하여 콘솔(31)을 포함할 수 있다. 콘솔(31)은 의사 조작자를 위한 사용자 인터페이스 및 디스플레이 스크린, 예컨대 터치스크린을 포함할 수 있다. 시스템(10) 내의 콘솔은 일반적으로 로봇 제어뿐만 아니라 절차의 수술전 및 실시간 정보, 예컨대 내시경(13)의 내비게이션 및 위치결정 정보 둘 모두를 제공하도록 설계된다. 콘솔(31)이 의사가 이용가능한 유일한 콘솔이 아닐 때, 그것은 간호사와 같은 제2 조작자에 의해, 환자의 건강 또는 바이탈(vital) 및 시스템의 동작을 모니터링할 뿐만 아니라, 내비게이션 및 위치결정 정보와 같은 절차-특정적 데이터를 제공하는 데 사용될 수 있다.

[0023] 타워(30)는 하나 이상의 케이블 또는 연결부(도시되지 않음)를 통해 카트(11) 및 내시경(13)에 결합될 수 있다. 일부 실시예에서, 타워(30)로부터의 지원 기능은 단일 케이블을 통해 카트(11)에 제공되어, 수술실을 간소화하고 정리할 수 있다. 다른 실시예에서, 특정 기능은 별개의 케이블류(cabling) 및 연결부로 결합될 수 있다. 예를 들어, 전력은 단일 전력 케이블을 통해 카트에 제공될 수 있지만, 제어부, 광학계, 유체장치, 및/또는 내비게이션에 대한 지원은 별개의 케이블을 통해 제공될 수 있다.

[0024] 도 2는 도 1에 도시된 카트-기반 로봇식 시스템으로부터의 카트의 일 실시예의 상세한 예시를 제공한다. 카트(11)는 일반적으로 세장형 지지 구조물(14)(흔히 "칼럼"으로 지칭됨), 카트 기부(15), 및 칼럼(14)의 상부에 있는 콘솔(16)을 포함한다. 칼럼(14)은 하나 이상의 로봇 아암(12)(3개가 도 2에 도시됨)의 전개를 지원하기 위한 캐리지(17)(대안적으로 "아암 지지부")와 같은 하나 이상의 캐리지를 포함할 수 있다. 캐리지(17)는 환자에 대한 더 양호한 위치설정을 위해 로봇 아암(12)의 기부를 조절하도록 수직 축을 따라 회전하는 개별적으로 구성 가능한 아암 마운트를 포함할 수 있다. 캐리지(17)는 또한 캐리지(17)가 칼럼(14)을 따라 수직으로 병진하도록 허용하는 캐리지 인터페이스(19)를 포함한다.

[0025] 캐리지 인터페이스(19)는 캐리지(17)의 수직 병진을 안내하기 위해 칼럼(14)의 서로 반대편에 있는 측부들 상에

위치되는, 슬롯(slot)(20)과 같은 슬롯을 통해 칼럼(14)에 연결된다. 슬롯(20)은 캐리지를 카트 기부(15)에 대해 다양한 수직 높이에 위치시키고 유지하기 위한 수직 병진 인터페이스를 포함한다. 캐리지(17)의 수직 병진은 카트(11)가 로봇 아암(12)의 도달범위를 조절하여 다양한 테이블 높이, 환자 크기, 및 의사 선호도를 충족시키도록 허용한다. 유사하게, 캐리지(17) 상의 개별적으로 구성가능한 아암 마운트는 로봇 아암(12)의 로봇 아암 기부(21)가 다양한 구성으로 경사지도록 허용한다.

[0026] 일부 실시예에서, 슬롯(20)은 캐리지(17)가 수직으로 병진함에 따라 수직 병진 인터페이스 및 칼럼(14)의 내부 챔버 내로 먼지 및 유체가 유입되는 것을 방지하기 위해 슬롯 표면과 동일 평면상에 있고 그에 평행한 슬롯 커버로 보완될 수 있다. 슬롯 커버는 슬롯(20)의 수직 상부 및 저부 부근에 위치한 스프링 스푼들(spring spools)의 쌍을 통해 전개될 수 있다. 커버는 캐리지(17)가 상향 및 하향으로 수직으로 병진함에 따라 그들의 코일링된(coiled) 상태로부터 연장 및 후퇴되도록 전개될 때까지 스푼 내에 코일링된다. 스푼의 스프링-로딩(spring-loading)은 캐리지(17)가 스푼을 향해 병진할 때 커버를 스푼 내로 후퇴시키는 힘을 제공함과 동시에, 또한 캐리지(17)가 스푼로부터 멀어지게 병진할 때 밀폐 시일(tight seal)을 유지한다. 커버는 캐리지(17)가 병진함에 따라 커버의 적절한 연장 및 후퇴를 보장하기 위해, 예를 들어 캐리지 인터페이스(19) 내의 브래킷(bracket)을 사용하여 캐리지(17)에 연결될 수 있다.

[0027] 칼럼(14)은 내부적으로, 사용자 입력, 예컨대 콘솔(16)로부터의 입력에 응답하여 생성된 제어 신호에 응답하여 기계화된 방식으로 캐리지(17)를 병진시키기 위해 수직으로 정렬된 리드 스크류(lead screw)를 사용하도록 설계되는, 기어 및 모터와 같은 메커니즘을 포함할 수 있다.

[0028] 로봇 아암(12)은 일반적으로, 일련의 조인트(24)에 의해 연결되는 일련의 링크장치(23)에 의해 분리되는 로봇 아암 기부(21) 및 엔드 이펙터(end effector)(22)를 포함할 수 있으며, 각각의 조인트는 독립적인 액추에이터(actuator)를 포함하고, 각각의 액추에이터는 독립적으로 제어가능한 모터를 포함한다. 각각의 독립적으로 제어가능한 조인트는 로봇 아암이 이용가능한 독립적인 자유도(degree of freedom)를 나타낸다. 아암들(12) 각각은 7개의 조인트를 가지며, 따라서 7 자유도를 제공한다. 다수의 조인트는 다수의 자유도를 생성하여, "여유(redundant)" 자유도를 허용한다. 여유 자유도는 로봇 아암(12)이 상이한 링크장치 위치 및 조인트 각도를 사용하여 공간에서 특정 위치, 배향, 및 궤적으로 그들 각각의 엔드 이펙터(22)를 위치시키도록 허용한다. 이는 시스템이 의료 기구를 공간에서 원하는 지점으로부터 위치시키고 지향시키도록 허용함과 동시에, 의사가 아암 충돌을 회피하면서 더 우수한 접근을 생성하기 위해 아암 조인트를 환자로부터 떨어진 임상적으로 유리한 위치로 이동시키도록 허용한다.

[0029] 카트 기부(15)는 바닥 위에서 칼럼(14), 캐리지(17), 및 아암(12)의 중량의 균형을 잡는다. 따라서, 카트 기부(15)는 전자장치, 모터, 전력 공급부와 같은 더 무거운 구성요소뿐만 아니라, 이동을 가능하게 하고/하거나 카트를 고정화하는 구성요소를 수용한다. 예를 들어, 카트 기부(15)는 질차 전에 카트가 수술실을 용이하게 돌아다니도록 허용하는 롤링가능 휠(rollable wheel)-형상의 캐스터(caster)(25)를 포함한다. 적절한 위치에 도달한 후에, 캐스터(25)는 질차 동안 카트(11)를 제위치로 유지하기 위해 휠 로크(wheel lock)를 사용하여 고정화될 수 있다.

[0030] 칼럼(14)의 수직 단부에 위치되어, 콘솔(16)은 사용자 입력을 수신하기 위한 사용자 인터페이스, 및 수술전 데이터 및 수술중 데이터 둘 모두를 의사 사용자에게 제공하기 위한 디스플레이 스크린 둘 모두(또는 예를 들어 터치스크린(26)과 같은 이중-목적 장치)를 허용한다. 터치스크린(26) 상의 잠재적인 수술전 데이터는 수술전 계획, 수술전 컴퓨터 단층촬영(computerized tomography, CT) 스캔으로부터 도출된 내비게이션 및 매핑 데이터(mapping data), 및/또는 수술전 환자 인터뷰로부터의 기록을 포함할 수 있다. 디스플레이 상의 수술중 데이터는 도구로부터 제공되는 광학 정보, 센서로부터의 센서 및 좌표 정보뿐만 아니라, 호흡, 심박수, 및/또는 맥박과 같은 바이탈 환자 통계치를 포함할 수 있다. 콘솔(16)은 의사가 캐리지(17) 반대편에 있는 칼럼(14)의 측부로부터 콘솔에 접근하게 허용하도록 위치되고 틸팅될 수 있다. 이러한 위치로부터, 의사는 카트(11) 뒤로부터 콘솔(16)을 동작시키면서 콘솔(16), 로봇 아암(12), 및 환자를 관찰할 수 있다. 도시된 바와 같이, 콘솔(16)은 또한 카트(11)를 조종하고 안정시키는 것을 보조하기 위한 손잡이(27)를 포함한다.

[0031] 도 3은 요관경술을 위해 배열된 로봇식 시스템(10)의 일 실시예를 예시한다. 요관경술 절차에서, 카트(11)는 환자의 요도 및 요관을 통과하도록 설계된 질차-특정적 내시경인 요관경(32)을 환자의 하복부 영역으로 전달하도록 위치될 수 있다. 요관경술에서, 요관경(32)이 환자의 요도와 직접 정렬되어 그러한 영역 내의 민감한 해부학적 구조에 대한 마찰과 힘을 감소시키는 것이 바람직할 수 있다. 도시된 바와 같이, 카트(11)는 로봇 아암(12)이 환자의 요도에 대한 직접적인 선형 접근을 위해 요관경(32)을 위치시키게 허용하도록 테이블의 풋(foot)

t)에 정렬될 수 있다. 테이블의 궤로부터, 로봇 아암(12)은 요관경(32)을 가상 레일(33)을 따라 요도를 통해 환자의 하복부 내로 직접 삽입할 수 있다.

[0032] 요도 내로의 삽입 후에, 기관지경술에서와 유사한 제어 기법을 사용하여, 요관경(32)은 진단 및/또는 치료 응용을 위해 방광, 요관, 및/또는 신장 내로 내비게이션될 수 있다. 예를 들어, 요관경(32)은 요관경(32)의 작업 채널을 따라 전개된 레이저 또는 초음파 쇄석술 장치를 사용하여 신장 결석 축적물을 부수기 위해 요관 및 신장 내로 지향될 수 있다. 쇄석술이 완료된 후에, 생성된 결석 파편은 요관경(32)을 따라 전개된 바스켓을 사용하여 제거될 수 있다.

[0033] 도 4는 혈관 절차를 위해 유사하게 배열된 로봇식 시스템의 일 실시예를 예시한다. 혈관 절차에서, 시스템(10)은 카트(11)가 조향가능 카테터(steerable catheter)와 같은 의료 기구(34)를 환자의 다리 내의 대퇴 동맥 내의 접근 지점으로 전달할 수 있도록 구성될 수 있다. 대퇴 동맥은 내비게이션을 위한 더 큰 직경뿐만 아니라 환자의 심장으로부터 상대적으로 덜 우회하고 사행형인 경로 둘 모두를 나타내며, 이는 내비게이션을 단순화한다. 요관경술 절차에서와 같이, 카트(11)는 로봇 아암(12)이 환자의 대퇴부/둔부 영역 내의 대퇴 동맥 접근 지점에 대한 직접적인 선형 접근을 갖는 가상 레일(35)을 제공하게 허용하도록 환자의 다리 및 하복부를 향해 위치될 수 있다. 동맥 내로의 삽입 후에, 의료 기구(34)는 기구 드라이버(28)를 병진시킴으로써 지향되고 삽입될 수 있다. 대안적으로, 카트는, 예를 들어 어깨 및 손목 부근의 경동맥 및 상완 동맥과 같은 대안적인 혈관 접근 지점에 도달하기 위해 환자의 상복부 주위에 위치될 수 있다.

[0034] B. 로봇 시스템 — 테이블.

[0035] 로봇식 의료 시스템의 실시예는 또한 환자의 테이블을 통합할 수 있다. 테이블의 통합은 카트를 제거함으로써 수술실 내의 자본 장비의 양을 감소시키며, 이는 환자에 대한 더 우수한 접근을 허용한다. 도 5는 기관지경술 절차를 위해 배열된 그러한 로봇식 시스템의 일 실시예를 예시한다. 시스템(36)은 바닥 위에서 플랫폼(38)("테이블" 또는 "베드"로 도시됨)을 지지하기 위한 지지 구조물 또는 칼럼(37)을 포함한다. 카트-기반 시스템에서와 매우 유사하게, 시스템(36)의 로봇 아암(39)의 엔드 이펙터는 기구 드라이버(42)를 포함하며, 이는 도 5의 기관지경(40)과 같은 세장형 의료 기구를 기구 드라이버(42)의 선형 정렬로부터 형성된 가상 레일(41)을 통해 또는 그를 따라 조작하도록 설계된다. 실제로, 형광투시 이미징(fluoroscopic imaging)을 제공하기 위한 C-아암이 방출기(emitter) 및 검출기(detector)를 테이블(38) 주위에 배치함으로써 환자의 상복부 영역 위에 위치될 수 있다.

[0036] 도 6은 논의 목적을 위해 환자 및 의료 기구가 없는 시스템(36)의 대안적인 도면을 제공한다. 도시된 바와 같이, 칼럼(37)은 시스템(36) 내에 링(ring)-형상으로 도시된 하나 이상의 캐리지(43)를 포함할 수 있으며, 하나 이상의 로봇 아암(39)이 그로부터 기초할 수 있다. 캐리지(43)는 로봇 아암(39)이 그로부터 환자에게 도달하도록 위치될 수 있는 상이한 유리한 지점을 제공하기 위해 칼럼(37)의 길이를 따라 연장되는 수직 칼럼 인터페이스(44)를 따라 병진할 수 있다. 캐리지(들)(43)는, 로봇 아암(39)이 예를 들어 환자의 양쪽 측부와 같은 테이블(38)의 다수의 측부에 접근할 수 있도록 허용하기 위해, 칼럼(37) 내에 위치한 기계식 모터를 사용하여 칼럼(37)을 중심으로 회전할 수 있다. 다수의 캐리지를 갖는 실시예에서, 캐리지는 칼럼 상에 개별적으로 위치될 수 있고, 다른 캐리지와 독립적으로 병진 및/또는 회전할 수 있다. 캐리지(43)가 칼럼(37)을 둘러싸거나 심지어 원형일 필요는 없지만, 도시된 바와 같은 링-형상은 구조적 균형을 유지하면서 칼럼(37)을 중심으로 하는 캐리지(43)의 회전을 용이하게 한다. 캐리지(43)의 회전 및 병진은 시스템이 내시경 및 복강경과 같은 의료 기구를 환자 상의 상이한 접근 지점으로 정렬하도록 허용한다.

[0037] 아암(39)은 로봇 아암(39)에 추가의 구성가능성(configurability)을 제공하기 위해 개별적으로 회전하고/하거나 삽입식으로 연장될 수 있는 일련의 조인트를 포함하는 아암 마운트들(45)의 세트를 통해 캐리지 상에 장착될 수 있다. 추가적으로, 아암 마운트(45)는, 캐리지(43)가 적절하게 회전될 때, 아암 마운트(45)가 (도 6에 도시된 바와 같이) 테이블(38)의 동일한 측부 상에, (도 9에 도시된 바와 같이) 테이블(38)의 서로 반대편에 있는 측부들 상에, 또는 테이블(38)의 인접한 측부들 상에(도시되지 않음) 위치될 수 있도록 캐리지(43) 상에 위치될 수 있다.

[0038] 칼럼(37)은 테이블(38)에 대한 지지, 및 캐리지의 수직 병진을 위한 경로를 구조적으로 제공한다. 내부적으로, 칼럼(37)은 캐리지의 수직 병진을 안내하기 위한 리드 스크류, 및 리드 스크류에 기초하여 상기 캐리지의 병진을 기계화하기 위한 모터를 구비할 수 있다. 칼럼(37)은 또한 캐리지(43) 및 그 상에 장착된 로봇 아암(39)에 전력 및 제어 신호를 전달할 수 있다.

- [0039] 테이블 기부(46)는 도 2에 도시된 카트(11) 내의 카트 기부(15)와 유사한 기능을 하여, 테이블/베드(38), 칼럼(37), 캐리지(43), 및 로봇 아암(39)의 균형을 잡기 위해 더 무거운 구성요소를 수용한다. 테이블 기부(46)는 또한 절차 동안 안정성을 제공하기 위해 강직성 캐스터를 통합할 수 있다. 테이블 기부(46)의 저부로부터 전개되어, 캐스터는 기부(46)의 양쪽 측부 상에서 반대 방향으로 연장될 수 있고, 시스템(36)이 이동될 필요가 있을 때 집어넣어질 수 있다.
- [0040] 계속해서 도 6을 참조하면, 시스템(36)은 또한 타워(도시되지 않음)를 포함할 수 있으며, 이는 테이블의 형태 인자 및 부피(bulk)를 감소시키기 위해 시스템(36)의 기능을 테이블과 타워 사이에서 분할한다. 이전에 개시된 실시예에서와 같이, 타워는 처리, 컴퓨팅, 및 제어 능력, 전력, 유체장치, 및/또는 광학 및 센서 처리와 같은 다양한 지원 기능을 테이블에 제공할 수 있다. 타워는 또한, 의사 접근을 개선하고 수술실을 정리하기 위해 환자로부터 멀리 위치되도록 이동가능할 수 있다. 추가적으로, 타워 내에 구성요소를 배치하는 것은 로봇 아암의 잠재적인 적재를 위한, 테이블 기부 내의 더 많은 보관 공간을 허용한다. 타워는 또한, 키보드 및/또는 펜던트(pendant)와 같은, 사용자 입력을 위한 사용자 인터페이스뿐만 아니라, 실시간 이미징, 내비게이션, 및 추적 정보와 같은 수술전 및 수술중 정보를 위한 디스플레이 스크린(또는 터치스크린) 둘 모두를 제공하는 콘솔을 포함할 수 있다.
- [0041] 일부 실시예에서, 테이블 기부는 사용하지 않을 때 로봇 아암을 적재 및 보관할 수 있다. 도 7은 테이블-기반 시스템의 일 실시예에서 로봇 아암을 적재하는 시스템(47)을 예시한다. 시스템(47)에서, 캐리지(48)는 로봇 아암(50), 아암 마운트(51), 및 캐리지(48)를 기부(49) 내에 적재하기 위해 기부(49) 내로 수직으로 병진될 수 있다. 기부 커버(52)는 병진 및 후퇴되어 개방되어 캐리지(48), 아암 마운트(51), 및 아암(50)을 칼럼(53) 주위로 전개시킬 수 있고, 사용하지 않을 때 그들을 적재하여 보호하기 위해 폐쇄될 수 있다. 기부 커버(52)는 그 개구의 에지를 따라 멤브레인(membrane)(54)으로 밀봉되어, 폐쇄될 때 먼지 및 유체 유입을 방지할 수 있다.
- [0042] 도 8은 요관경술 절차를 위해 구성된 로봇식 테이블-기반 시스템의 일 실시예를 예시한다. 요관경술에서, 테이블(38)은 환자를 칼럼(37) 및 테이블 기부(46)로부터 벗어난 각도로 위치시키기 위한 스윙블 부분(swivel portion)(55)을 포함할 수 있다. 스윙블 부분(55)은 스윙블 부분(55)의 저부 부분을 칼럼(37)으로부터 멀리 위치시키기 위해 피벗 지점(예컨대, 환자의 머리 아래에 위치됨)을 중심으로 회전 또는 피벗할 수 있다. 예를 들어, 스윙블 부분(55)의 피벗팅(pivoting)은 C-아암(도시되지 않음)이 테이블(38) 아래의 칼럼(도시되지 않음)과 공간을 경합함이 없이 환자의 하복부 위에 위치되도록 허용한다. 캐리지(35)(도시되지 않음)를 칼럼(37)을 중심으로 회전시킴으로써, 로봇 아암(39)은 요관경(56)을 가상 레일(57)을 따라 환자의 서혜부 영역 내로 직접 삽입하여 요도에 도달하게 할 수 있다. 요관경술에서, 스테리프(stirrup)(58)이 또한 테이블(38)의 스윙블 부분(55)에 고정되어, 절차 동안 환자의 다리의 위치를 지지하고 환자의 서혜부 영역에 대한 명확한 접근을 허용할 수 있다.
- [0043] 복강경술 절차에서, 환자의 복벽 내의 작은 절개부(들)를 통해, 최소 침습 기구(하나 이상의 절개부의 크기를 수용하기 위해 형상이 세장형임)가 환자의 해부학적 구조 내로 삽입될 수 있다. 환자의 복강의 팽창 후에, 흔히 복강경으로 지칭되는 기구는 파지, 절단, 절제, 봉합 등과 같은 수술 작업을 수행하도록 지향될 수 있다. 도 9는 복강경술 절차를 위해 구성된 로봇식 테이블-기반 시스템의 일 실시예를 예시한다. 도 9에 도시된 바와 같이, 시스템(36)의 캐리지(43)는 로봇 아암들(39)의 쌍을 테이블(38)의 서로 반대편에 있는 측부들 상에 위치시키도록 회전되고 수직으로 조절될 수 있어서, 복강경(59)이 환자의 양쪽 측부 상의 최소 절개부로 통과되어 그/그녀의 복강에 도달하도록 아암 마운트(45)를 사용하여 위치될 수 있게 한다.
- [0044] 복강경술 절차를 수용하기 위해, 로봇식 테이블 시스템은 또한 플랫폼을 원하는 각도로 틸팅되게 할 수 있다. 도 10은 피치 또는 틸트 조절을 갖는 로봇식 의료 시스템의 일 실시예를 예시한다. 도 10에 도시된 바와 같이, 시스템(36)은 테이블(38)의 틸트를 수용하여, 테이블의 하나의 부분을 다른 부분보다 바닥으로부터 더 큰 거리를 두고 위치시킬 수 있다. 추가적으로, 아암 마운트(45)는 틸트와 일치하도록 회전할 수 있어서, 아암(39)이 테이블(38)과 동일한 평면 관계를 유지하게 한다. 더 급격한 각도를 수용하기 위해, 칼럼(37)은 또한, 칼럼(37)의 수직 연장이 테이블(38)이 바닥에 닿거나 기부(46)와 충돌하지 않게 하도록 허용하는 삽통 부분(60)을 포함할 수 있다.
- [0045] 도 11은 테이블(38)과 칼럼(37) 사이의 인터페이스의 상세한 예시를 제공한다. 피치 회전 메커니즘(61)은 다중 자유도로 칼럼(37)에 대한 테이블(38)의 피치 각도를 변경하도록 구성될 수 있다. 피치 회전 메커니즘(61)은 칼럼-테이블 인터페이스에서의 직교 축(1, 2)의 위치설정에 의해 가능해질 수 있으며, 각각의 축은 전기 피치 각도 명령에 응답하여 별개의 모터(2, 4)에 의해 작동된다. 하나의 스크류(5)를 따른 회전은 하나의 축(1)에서

의 틸트 조절을 가능하게 할 것인 한편, 다른 하나의 스크류(6)를 따른 회전은 다른 하나의 축(2)을 따른 틸트 조절을 가능하게 할 것이다.

[0046] 예를 들어, 피치 조절은, 하복부 수술을 위해, 테이블을 트렌델렌부르크 자세(Trendelenburg position)로 위치시키려고 할 때, 즉 환자의 하복부를 환자의 하복부보다 바닥으로부터 더 높은 위치에 위치시키려고 할 때 특히 유용하다. 트렌델렌부르크 자세는 환자의 내부 장기가 중력을 통해 그/그녀의 상복부를 향해 미끄러지게 하여, 최소 침습 도구가 들어가서 복강경 전립선절제술과 같은 하복부 수술 절차를 수행할 복강을 비운다.

[0047] 시스템 및 로봇 아암의 다른 특징 및 태양이 출원인 자신의 미국 특허 공개 제2019/0000576호 및 제 2020/0268460호에 개시되어 있으며, 이들 각각은 전체적으로 본 명세서에 참고로 포함된다.

[0048] C. 기구 드라이버 및 인터페이스.

[0049] 시스템의 로봇 아암의 엔드 이펙터는 (i) 의료 기구를 작동시키기 위한 전기-기계 수단을 통합하는 기구 드라이버(대안적으로 "기구 구동 메커니즘" 또는 "기구 장치 조작기"로 지칭됨), 및 (ii) 모터와 같은 임의의 전기-기계 구성요소가 없을 수 있는 제거가능 또는 탈착가능 의료 기구를 포함한다. 이러한 이분법은 의료 절차에 사용되는 의료 기구를 멸균할 필요성, 및 그들의 복잡한 기계 조립체 및 민감한 전자장치로 인해 고가의 자본 장비를 적절하게 멸균할 수 없기 때문에 발생할 수 있다. 따라서, 의료 기구는 의사 또는 의사의 스태프에 의한 개별적인 멸균 또는 폐기를 위해 기구 드라이버(및 그에 따라 시스템)로부터 탈착, 제거, 및 교환되도록 설계될 수 있다. 대조적으로, 기구 드라이버는 변경 또는 멸균될 필요가 없고, 보호를 위해 드레이핑(draped) 수 있다.

[0050] 도 12는 예시적인 기구 드라이버를 예시한다. 로봇 아암의 원위 단부에 위치되어, 기구 드라이버(62)는 구동 샤프트(64)를 통해 의료 기구에 제어된 토크를 제공하기 위해 평행 축으로 배열되는 하나 이상의 구동 유닛(63)으로 구성된다. 각각의 구동 유닛(63)은 기구와 상호작용하기 위한 개별 구동 샤프트(64), 모터 샤프트 회전을 원하는 토크로 변환하기 위한 기어 헤드(65), 구동 토크를 생성하기 위한 모터(66), 모터 샤프트의 속도를 측정하고 제어 회로부에 피드백을 제공하기 위한 인코더(67), 및 제어 신호를 수신하고 구동 유닛을 작동시키기 위한 제어 회로부(68)를 포함한다. 각각의 구동 유닛(63)이 독립적으로 제어되고 동력화되기 때문에, 기구 드라이버(62)는 의료 기구에 다수의(도 12에 도시된 바와 같이 4개의) 독립적인 구동 출력부를 제공할 수 있다. 동작 시에, 제어 회로부(68)는 제어 신호를 수신할 것이고, 모터(66)에 모터 신호를 전송할 것이며, 인코더(67)에 의해 측정된 바와 같은 생성된 모터 속도를 원하는 속도와 비교할 것이고, 모터 신호를 변조하여 원하는 토크를 생성할 것이다.

[0051] 멸균 환경을 필요로 하는 절차의 경우, 로봇 시스템은 기구 드라이버와 의료 기구 사이에 있는, 멸균 드레이프에 연결된 멸균 어댑터(sterile adapter)와 같은 구동 인터페이스를 통합할 수 있다. 멸균 어댑터의 주된 목적은 기구 드라이버의 구동 샤프트로부터 기구의 구동 입력부로 각도 모션을, 구동 샤프트와 구동 입력부 사이의 물리적 분리, 및 그에 따라 멸균을 유지하면서, 전달하는 것이다. 따라서, 예시적인 멸균 어댑터는 기구 드라이버의 구동 샤프트 및 기구 상의 구동 입력부와 정합되도록 의도되는 일련의 회전 입력부 및 출력부로 구성될 수 있다. 멸균 어댑터에 연결되어, 투명 또는 반투명 플라스틱과 같은 얇은 가요성 재료로 구성된 멸균 드레이프는 기구 드라이버, 로봇 아암, (카트-기반 시스템 내의) 카트 또는 (테이블-기반 시스템 내의) 테이블과 같은 자본 장비를 덮도록 설계된다. 드레이프의 사용은 자본 장비가 멸균을 필요로 하지 않는 영역(즉, 비-멸균 영역) 내에 여전히 위치되면서 환자에게 근접하게 위치되도록 허용할 것이다. 멸균 드레이프의 다른 하나의 측부 상에서, 의료 기구는 멸균을 필요로 하는 영역(즉, 멸균 영역)에서 환자와 인터페이싱할 수 있다.

[0052] D. 의료 기구.

[0053] 도 13은 페어링된 기구 드라이버를 갖는 예시적인 의료 기구를 예시한다. 로봇 시스템과 함께 사용하도록 설계된 다른 기구와 마찬가지로, 의료 기구(70)는 세장형 샤프트(71)(또는 세장형 본체) 및 기구 기부(72)를 포함한다. 의사에 의한 수동 상호작용을 위한 그의 의도된 설계로 인해 "기구 손잡이"로 또한 지칭되는 기구 기부(72)는 일반적으로, 로봇 아암(76)의 원위 단부에서 기구 드라이버(75) 상의 구동 인터페이스를 통해 연장되는 구동 출력부(74)와 정합되도록 설계되는 회전가능 구동 입력부(73), 예컨대 리셉터클(receptacle), 폴리(pulley) 또는 스풀을 포함할 수 있다. 물리적으로 연결, 래칭(latched), 및/또는 결합될 때, 기구 기부(72)의 정합된 구동 입력부(73)는 기구 드라이버(75) 내의 구동 출력부(74)와 회전 축을 공유하여, 구동 출력부(74)로부터 구동 입력부(73)로의 토크의 전달을 허용할 수 있다. 일부 실시예에서, 구동 출력부(74)는 구동 입력부(73) 상의 리셉터클과 정합하도록 설계되는 스플라인(spline)을 포함할 수 있다.

- [0054] 세장형 샤프트(71)는, 예컨대 내시경술에서와 같이, 해부학적 개구 또는 내강, 또는 예컨대 복강경술에서와 같이, 최소 침습 절개부를 통해 전달되도록 설계된다. 세장형 샤프트(66)는 가요성(예컨대, 내시경과 유사한 특성을 가짐) 또는 강직성(예컨대, 복강경과 유사한 특성을 가짐)이거나 가요성 부분 및 강직성 부분 둘 모두의 맞춤형 조합을 포함할 수 있다. 복강경술을 위해 설계될 때, 강직성의 세장형 샤프트의 원위 단부는, 회전 축을 갖는 클레비스(clevis)로부터 형성되는 조인트식 리스트(jointed wrist), 및 구동 입력부가 기구 드라이버(75)의 구동 출력부(74)로부터 수신된 토크에 응답하여 회전에 따라 텐돈(tendon)으로부터의 힘에 기초하여 작동될 수 있는, 예를 들어 파지기 또는 가위와 같은 수술 도구를 포함하는 엔드 이펙터에 연결될 수 있다. 내시경술을 위해 설계될 때, 가요성의 세장형 샤프트의 원위 단부는 기구 드라이버(75)의 구동 출력부(74)로부터 수신된 토크에 기초하여 관절운동되고 구부러질 수 있는 조향가능 또는 제어가능 굽힘 섹션을 포함할 수 있다.
- [0055] 기구 드라이버(75)로부터의 토크는 샤프트(71) 내의 텐돈을 사용하여 세장형 샤프트(71)를 따라 전달된다. 당김 와이어(pull wire)와 같은 이들 개별 텐돈은 기구 손잡이(72) 내의 개별 구동 입력부(73)에 개별적으로 고정될 수 있다. 손잡이(72)로부터, 텐돈은 세장형 샤프트(71) 내의 하나 이상의 당김 루멘(pull lumen)을 따라 지향되고, 세장형 샤프트(71)의 원위 부분에 고정된다. 복강경술에서, 이들 텐돈은 리스트, 파지기, 또는 가위와 같은 원위에 장착된 엔드 이펙터에 결합될 수 있다. 그러한 배열 하에서, 구동 입력부(73)에 가해진 토크는 텐돈에 장력을 전달하여, 엔드 이펙터가 일정 방식으로 작동하게 할 것이다. 복강경술에서, 텐돈은 조인트가 축을 중심으로 회전하게 하여, 엔드 이펙터가 하나의 방향 또는 다른 방향으로 이동하게 할 수 있다. 대안적으로, 텐돈은 세장형 샤프트(71)의 원위 단부에서 파지기의 하나 이상의 조오(jaw)에 연결될 수 있으며, 여기에서 텐돈으로부터의 장력은 파지기가 폐쇄되게 한다.
- [0056] 내시경술에서, 텐돈은 접착제, 제어 링, 또는 다른 기계적 고정을 통해 (예컨대, 원위 단부에서) 세장형 샤프트(71)를 따라 위치된 굽힘 또는 관절운동 섹션에 결합될 수 있다. 굽힘 섹션의 원위 단부에 고정식으로 부착될 때, 구동 입력부(73)에 가해진 토크는 텐돈을 따라 전달되어, 더 연결된 굽힘 섹션(때때로 관절운동가능 섹션 또는 영역으로 지칭됨)이 구부러지거나 관절운동하게 할 것이다. 비-굽힘 섹션을 따라, 내시경 샤프트의 벽을 따라(또는 그 내측에서) 개별 텐돈을 지향시키는 개별 당김 루멘을 나선형화 또는 나선화하여, 당김 와이어의 장력으로부터 발생하는 반경방향 힘의 균형을 잡는 것이 유리할 수 있다. 나선(spiraling)의 각도 및/또는 그들 사이의 간격은 특정 목적을 위해 변경 또는 조작될 수 있으며, 여기에서 더 조밀한 나선은 하중 힘 하에서의 더 작은 샤프트 압축을 나타내는 한편, 더 적은 양의 나선은 하중 힘 하에서의 더 큰 샤프트 압축을 가져오지만, 또한 한계 굽힘을 나타낸다. 스펙트럼의 다른 단부 상에서, 당김 루멘은 원하는 굽힘 또는 관절운동가능 섹션에서의 제어된 관절운동을 허용하기 위해 세장형 샤프트(71)의 길이방향 축에 평행하게 지향될 수 있다.
- [0057] 내시경술에서, 세장형 샤프트(71)는 로봇 절차를 보조하기 위한 다수의 구성요소를 수용한다. 샤프트는 샤프트(71)의 원위 단부에서 수술 영역에 수술 도구, 관주, 및/또는 흡인을 전개시키기 위한 작업 채널로 구성될 수 있다. 샤프트(71)는 또한, 광학 카메라를 포함할 수 있는, 원위 팁(distal tip)에 있는 광학 조립체로/그로부터 신호를 전달하기 위한 와이어 및/또는 광섬유를 수용할 수 있다. 샤프트(71)는 또한, 발광 다이오드와 같은 근위에 위치한 광원으로/그로부터 샤프트의 원위 단부로 광을 전달하기 위한 광섬유를 수용할 수 있다.
- [0058] 기구(70)의 원위 단부에서, 원위 팁은 또한, 진단 및/또는 치료, 관주, 및 흡인을 위한 도구를 수술 부위로 전달하기 위한 작업 채널의 개구를 포함할 수 있다. 원위 팁은 또한, 내부 해부학적 공간의 이미지를 캡처하기 위한, 섬유경 또는 디지털 카메라와 같은 카메라를 위한 포트를 포함할 수 있다. 이와 관련하여, 원위 팁은 또한, 카메라를 사용할 때 해부학적 공간을 조명하기 위한 광원을 위한 포트를 포함할 수 있다.
- [0059] 도 13의 예에서, 구동 샤프트 축, 및 그에 따라 구동 입력부 축은 세장형 샤프트의 축에 직교한다. 그러나, 이러한 배열은 세장형 샤프트(71)에 대한 롤(roll) 능력을 복잡하게 한다. 구동 입력부(73)를 정지 상태로 유지하면서 세장형 샤프트(71)를 그의 축을 따라 롤링시키는 것은 텐돈이 구동 입력부(73)로부터 연장되고 세장형 샤프트(71) 내의 당김 루멘에 들어감에 따라 텐돈의 바람직하지 않은 엉킴을 야기한다. 그러한 텐돈의 결과적인 엉킴은 내시경술 절차 동안 가요성의 세장형 샤프트의 이동을 예측하도록 의도된 임의의 제어 알고리즘을 방해할 수 있다.
- [0060] 도 14는 구동 유닛의 축이 기구의 세장형 샤프트의 축에 평행한 기구 드라이버 및 기구에 대한 대안적인 설계를 예시한다. 도시된 바와 같이, 원형 기구 드라이버(80)는 그들의 구동 출력부(81)가 로봇 아암(82)의 단부에서 평행하게 정렬되는 4개의 구동 유닛을 포함한다. 구동 유닛, 및 그들 각각의 구동 출력부(81)는 기구 드라이버(80)의 회전 조립체(83) 내에 수용되며, 이는 조립체(83) 내의 구동 유닛들 중 하나에 의해 구동된다. 회전 구

동 유닛에 의해 제공되는 토크에 응답하여, 회전 조립체(83)는 회전 조립체(83)를 기구 드라이버의 비-회전 부분(84)에 연결하는 원형 베어링을 따라 회전한다. 전력 및 제어 신호가 기구 드라이버(80)의 비-회전 부분(84)으로부터, 브러시형 슬립 링 연결부(brushed slip ring connection)(도시되지 않음)에 의해 회전을 통해 유지될 수 있는 전기 접촉부를 통해 회전 조립체(83)로 전달될 수 있다. 다른 실시예에서, 회전 조립체(83)는, 비-회전가능 부분(84)에 통합되어, 그에 따라 다른 구동 유닛에 평행하지 않은 별개의 구동 유닛에 응답할 수 있다. 회전 메커니즘(83)은 기구 드라이버(80)가 구동 유닛, 및 그들 각각의 구동 출력부(81)를 단일 유닛으로서 기구 드라이버 축(85)을 중심으로 회전시키도록 허용한다.

[0061] 이전에 개시된 실시예와 마찬가지로, 기구(86)는 세장형 샤프트 부분(88), 및 기구 드라이버(80) 내의 구동 출력부(81)를 수용하도록 구성되는 (리셉터클, 폴리, 및 스플과 같은) 복수의 구동 입력부(89)를 포함하는 기구 기부(87)(논의 목적을 위해 투명 외부 스킨으로 도시됨)로 구성될 수 있다. 이전에 개시된 실시예와 달리, 기구 샤프트(88)는 축이 도 13의 설계에서와 같이 직교하기보다는 구동 입력부(89)의 축에 실질적으로 평행한 상태로 기구 기부(87)의 중심으로부터 연장된다.

[0062] 기구 드라이버(80)의 회전 조립체(83)에 결합될 때, 기구 기부(87) 및 기구 샤프트(88)를 포함하는 의료 기구(86)는 회전 조립체(83)와 조합하여 기구 드라이버 축(85)을 중심으로 회전한다. 기구 샤프트(88)가 기구 기부(87)의 중심에 위치되기 때문에, 기구 샤프트(88)는 부착될 때 기구 드라이버 축(85)과 동축이다. 따라서, 회전 조립체(83)의 회전은 기구 샤프트(88)가 그 자체의 길이방향 축을 중심으로 회전하게 한다. 더욱이, 기구 기부(87)가 기구 샤프트(88)와 함께 회전함에 따라, 기구 기부(87) 내의 구동 입력부(89)에 연결된 임의의 텐돈은 회전 동안 엉키지 않는다. 따라서, 구동 출력부(81), 구동 입력부(89), 및 기구 샤프트(88)의 축의 평행성은 임의의 제어 텐돈을 엉키게 하지 않고서 샤프트 회전을 허용한다.

[0063] E. 내비게이션 및 제어.

[0064] 전통적인 내시경술은 (예컨대, C-아암을 통해 전달될 수 있는 바와 같은) 형광투시법 및 다른 형태의 방사선-기반 이미징 모달리티(imaging modality)의 사용을 수반하여, 조작자 의사에게 관내 안내를 제공할 수 있다. 대조적으로, 본 개시에 의해 고려되는 로봇 시스템은 비-방사선-기반 내비게이션 및 위치결정 수단을 제공하여, 방사선에 대한 의사의 노출을 감소시키고 수술실 내의 장비의 양을 감소시킬 수 있다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 용어 "위치결정"은 기준 좌표계에서 물체의 위치를 결정 및/또는 모니터링하는 것을 지칭할 수 있다. 수술전 매핑, 컴퓨터 비전(computer vision), 실시간 EM 추적, 및 로봇 명령 데이터와 같은 기술은 방사선이 없는 수술 환경을 달성하기 위해 개별적으로 또는 조합으로 사용될 수 있다. 방사선-기반 이미징 모달리티가 여전히 사용되는 다른 경우에, 수술전 매핑, 컴퓨터 비전, 실시간 EM 추적, 및 로봇 명령 데이터는 방사선-기반 이미징 모달리티만을 통해 획득된 정보를 개선하기 위해 개별적으로 또는 조합으로 사용될 수 있다.

[0065] 도 15는 예시적인 실시예에 따른, 기구의 위치와 같은, 로봇 시스템의 하나 이상의 요소의 위치를 추정하는 위치결정 시스템(90)을 예시한 블록도이다. 위치결정 시스템(90)은 하나 이상의 명령어를 실행하도록 구성되는 하나 이상의 컴퓨터 장치들의 세트일 수 있다. 컴퓨터 장치는 위에서 논의된 하나 이상의 구성요소 내의 프로세서(또는 프로세서들) 및 컴퓨터-판독가능 메모리에 의해 구현될 수 있다. 제한이 아닌 예로서, 컴퓨터 장치는 도 1에 도시된 타워(30), 도 1 내지 도 4에 도시된 카트, 도 5 내지 도 10에 도시된 베드 등 내에 있을 수 있다.

[0066] 도 15에 도시된 바와 같이, 위치결정 시스템(90)은 의료 기구의 원위 팁에 대한 위치 데이터(96)를 생성하도록 입력 데이터(91 내지 94)를 처리하는 위치결정 모듈(95)을 포함할 수 있다. 위치 데이터(96)는 기준 프레임(frame of reference)에 대한 기구의 원위 단부의 위치 및/또는 배향을 나타내는 데이터 또는 논리일 수 있다. 기준 프레임은 환자의 해부학적 구조 또는 알려진 물체, 예컨대 EM 필드 발생기(EM 필드 발생기에 대해서는 아래의 논의 참조)에 대한 기준 프레임일 수 있다.

[0067] 이제, 다양한 입력 데이터(91 내지 94)가 더 상세히 기술된다. 수술전 매핑은 저 선량 CT 스캔의 집합의 사용을 통해 달성될 수 있다. 수술전 CT 스캔은, 각각 환자의 내부 해부학적 구조의 절결도의 "슬라이스(slice)"를 표현하는 2차원 이미지를 생성한다. 전체적으로 분석될 때, 환자 폐 네트워크와 같은 환자의 해부학적 구조의 해부학적 공동, 공간 및 구조에 대한 이미지-기반 모델이 생성될 수 있다. 중심선 기하학(center-line geometry)과 같은 기법이 CT 이미지로부터 결정되고 근사화되어, 수술전 모델 데이터(91)로 지칭되는, 환자의 해부학적 구조의 3차원 볼륨(three-dimensional volume)을 개발할 수 있다. 중심선 기하학의 사용은 그 내용이 전체적으로 본 명세서에 포함되는 미국 특허 출원 제14/523,760호에서 논의된다. 네트워크 위상 모델(network topological model)이 또한 CT-이미지로부터 도출될 수 있으며, 기관지경술에 특히 적절하다.

- [0068] 일부 실시예에서, 기구는 비전 데이터(92)를 제공하기 위한 카메라를 구비할 수 있다. 위치결정 모듈(95)은 하나 이상의 비전-기반 위치 추적을 가능하게 하도록 비전 데이터를 처리할 수 있다. 예를 들어, 수술전 모델 데이터는 비전 데이터(92)와 함께 사용되어 의료 기구의 컴퓨터 비전-기반 추적을 가능하게 할 수 있다(예컨대, 내시경 전진 또는 내시경의 작업 채널을 통한 기구 전진). 예를 들어, 수술전 모델 데이터(91)를 사용하여, 로봇 시스템은 내시경의 예상 이동 경로에 기초하여 모델로부터 예상 내시경 이미지의 라이브러리(library)를 생성할 수 있으며, 각각의 이미지는 모델 내의 일정 위치에 링크된다. 수술중에, 이러한 라이브러리는, 카메라(예컨대, 내시경의 원위 단부에 있는 카메라)에서 캡처된 실시간 이미지를 이미지 라이브러리 내의 이미지와 비교하여 위치결정을 보조하기 위해 로봇 시스템에 의해 참조될 수 있다.
- [0069] 다른 컴퓨터 비전-기반 추적 기법은 특징부 추적을 사용하여 카메라, 및 그에 따라 내시경의 모션을 결정한다. 위치결정 모듈(95)의 일부 특징부는 해부학적 내강에 대응하는 수술전 모델 데이터(91) 내의 원형 기하학적 구조를 식별하고 그들 기하학적 구조의 변화를 추적하여, 어느 해부학적 내강이 선택되었는지뿐만 아니라 카메라의 상대 회전 및/또는 병진 모션을 결정할 수 있다. 위상 맵(topological map)의 사용은 비전-기반 알고리즘 또는 기법을 추가로 향상시킬 수 있다.
- [0070] 다른 컴퓨터 비전-기반 기법인 옵티컬 플로우(optical flow)는 비전 데이터(92) 내의 비디오 시퀀스에서 이미지 픽셀의 변위 및 병진을 분석하여 카메라 이동을 추론할 수 있다. 다수의 반복에 걸친 다수의 프레임의 비교를 통해, 카메라(및 그에 따라 내시경)의 이동 및 위치가 결정될 수 있다.
- [0071] 위치결정 모듈(95)은 수술전 모델에 의해 표현되는 환자의 해부학적 구조에 정합될 수 있는 전역 좌표계에서 내시경의 실시간 위치를 생성하기 위해 실시간 EM 추적을 사용할 수 있다. EM 추적에서, 의료 기구(예컨대, 내시경 도구) 내에 하나 이상의 위치 및 배향으로 내장된 하나 이상의 센서 코일로 구성되는 EM 센서(또는 추적기)가 알려진 위치에 위치된 하나 이상의 정적 EM 필드 발생기에 의해 생성되는 EM 필드의 변화를 측정한다. EM 센서에 의해 검출된 위치 정보는 EM 데이터(93)로서 저장된다. EM 필드 발생기(또는 전송기)는 내장된 센서가 검출할 수 있는 저 강도 자기장을 생성하기 위해 환자 가까이에 배치될 수 있다. 자기장은 EM 센서의 센서 코일에 소전류(small current)를 유도하며, 이는 EM 센서와 EM 필드 발생기 사이의 거리 및 각도를 결정하기 위해 분석될 수 있다. 이들 거리 및 배향은 좌표계 내의 단일 위치를 환자의 해부학적 구조의 수술전 모델 내의 위치와 정렬하는 기하학적 변환을 결정하기 위해 수술중에 환자 해부학적 구조(예컨대, 수술전 모델)에 "정합될" 수 있다. 일단 정합되면, 의료 기구의 하나 이상의 위치(예컨대, 내시경의 원위 팁)에 있는 내장된 EM 추적기는 환자의 해부학적 구조를 통한 의료 기구의 진행의 실시간 표시를 제공할 수 있다.
- [0072] 로봇 명령 및 운동학 데이터(94)가 또한 위치결정 모듈(95)에 의해 사용되어, 로봇 시스템에 대한 위치결정 데이터(96)를 제공할 수 있다. 관절운동 명령으로부터 발생하는 장치 피치 및 요(yaw)는 수술전 보정 동안 결정될 수 있다. 수술중에, 이들 보정 측정치는 알려진 삽입 깊이 정보와 조합하여 사용되어 기구의 위치를 추정할 수 있다. 대안적으로, 이들 계산치는 EM, 비전, 및/또는 위상 모델링과 조합하여 분석되어 네트워크 내의 의료 기구의 위치를 추정할 수 있다.
- [0073] 도 15가 도시하는 바와 같이, 다수의 다른 입력 데이터가 위치결정 모듈(95)에 의해 사용될 수 있다. 예를 들어, 도 15에 도시되어 있지 않지만, 형상-감지 섬유를 이용하는 기구가, 위치결정 모듈(95)이 기구의 위치 및 형상을 결정하는 데 사용할 수 있는 형상 데이터를 제공할 수 있다.
- [0074] 위치결정 모듈(95)은 입력 데이터(91 내지 94)를 조합(들)으로 사용할 수 있다. 일부 경우에, 그러한 조합은 위치결정 모듈(95)이 입력 데이터(91 내지 94) 각각으로부터 결정된 위치에 신뢰 가중치(confidence weight)를 할당하는 확률적 접근법(probabilistic approach)을 사용할 수 있다. 따라서, (EM 간섭이 있는 경우 그러할 수 있는 바와 같이) EM 데이터가 신뢰가능하지 않을 수 있는 경우, EM 데이터(93)에 의해 결정된 위치의 신뢰도가 감소될 수 있고, 위치결정 모듈(95)은 비전 데이터(92) 및/또는 로봇 명령 및 운동학 데이터(94)에 더 많이 의존할 수 있다.
- [0075] 위에서 논의된 바와 같이, 본 명세서에서 논의되는 로봇 시스템은 위의 기술들 중 하나 이상의 조합을 통합하도록 설계될 수 있다. 타워, 베드 및/또는 카트에 기반한 로봇 시스템의 컴퓨터-기반 제어 시스템은 예를 들어 영구 자기 저장 드라이브, 솔리드 스테이트 드라이브 등과 같은 비-일시적 컴퓨터-판독가능 저장 매체 내에 컴퓨터 프로그램 명령어를 저장할 수 있으며, 이는, 실행 시에, 시스템으로 하여금 센서 데이터 및 사용자 명령을 수신 및 분석하고, 시스템 전체에 걸쳐 제어 신호를 생성하고, 전역 좌표계, 해부학적 맵 등 내에서의 기구의 위치와 같은 내비게이션 및 위치결정 데이터를 디스플레이하게 한다.

[0076] 2. 의료 로봇 시스템 및 기법

[0077] 본 개시의 실시예는 다수의 유형의 의료 절차를 수행할 수 있는 단일 로봇 시스템과 연관된 다용도 로봇 시스템 및 동작 기법에 관한 것이다. 전술된 바와 같이, 상이한 의료 절차의 다양한 요건으로 인해, 로봇 시스템은 단일 의료 절차를 수행하도록 특별히 설계 및 제작될 수 있고, 그 결과 다른 의료 절차를 수행하기 위한 요건을 충족시킬 수 없을 수 있다.

[0078] 예를 들어, 하나의 기존 시스템은 복강경 수술을 위해 특별히 제작된다. 이러한 기존 시스템은 로봇 아암이 의료 기구를 원격 중심에 대해 삽입, 피치, 및 요시키도록 제공된 기계적으로 제한된 원격 중심을 포함하는 로봇 아암 운동학으로 설계된다. 기계적으로 제한된 원격 중심은 밴드에 의해 서로 연결된 다수의 조인트에 의해 달성되어, 모든 조인트가 단일 모터에 의해 제어될 수 있다. 로봇 아암의 관성은 일반적으로 낮고 로봇 아암은 전력 상실 시에도 원격 중심을 유지할 수 있지만, 이러한 설계의 잠재적인 단점은 그것이 비-복강경술 절차를 수행하기 위해 사용되지 않는다는 것이다. 예를 들어, 기계적 원격 중심으로 인해, 로봇 아암을 내시경술 절차를 위해 이용하는 것이 어려울 수 있는데, 이는 기계적으로 제한된 원격 중심이 로봇 아암을 가상 레일을 따라 정렬하는 것을 어렵게 하기 때문이다. 또한, 기계적 원격 중심을 생성하는 데 사용되는 밴드는 로봇 아암의 컴팩트한 보관을 방해한다.

[0079] 유사하게, 내시경술 절차를 위해 사용되는 기존 직렬 링크 조작용은 복강경술로 잘 전환되지 않는데, 이는 저관성 아암을 유지하면서 복강경술을 위한 강성 및 속도 요건을 충족시키기 어렵기 때문이다.

[0080] 다른 것들 중에서도, 전술된 문제는 광범위한 절차를 수용할 수 있는 본 명세서에 기술된 다목적 로봇 시스템 및 연관된 동작 기법에 의해 해결된다. 예를 들어, 본 개시에 따른 로봇 아암은 다용도 운동학적 체인(versatile kinematic chain)을 포함하고, 로봇 아암이 다양한 모드에서 동작할 수 있게 하는 컴퓨터-구현 명령어에 의해 제어되며, 이때 상이한 모드는 상이한 유형의 의료 절차를 위해 사용가능하다. 운동학적 체인은, (예컨대, 셋업 조인트 또는 로봇 시스템의 기부에 가장 가까운) 로봇 아암의 근위 단부에 있는 회전형 동력화된 조인트(revolute motorized joint), (예컨대, 의료 기구에 가장 가까운) 로봇 아암의 원위 단부에 있는 직선형 동력화된 조인트(prismatic motorized joint), 및 제1 및 제2 동력화된 조인트들 사이에 직렬로 위치한 다수의 추가 동력화된 조인트와 함께, 직렬 방식으로 링크장치에 의해 결합된 다수의 동력화된 조인트를 포함한다. 추가 동력화된 조인트는 더 상세히 후술되는 바와 같이 회전형 또는 직선형일 수 있다. 로봇 아암은 복강경술 절차를 수행하기 위해 원격 중심에 대해 제1 모드로 동작될 수 있고, 내시경술 절차를 수행하기 위해 가상 레일에 대해 제2 모드로 동작될 수 있다. 본 개시는 각각 복강경술 및 내시경술 절차를 위한 제1 및 제2 동작 모드의 예를 제공하지만, 개시된 로봇 시스템은 또한 다른 유형의 의료 절차를 수행하는 데 사용될 수 있다.

[0081] 개시된 로봇 시스템은 개시된 모드에 따라 의료 절차를 수행하기 위해 의사 또는 다른 조작자에 의해 제어될 수 있다. 도 16은 본 명세서에 기술된 바와 같은 의료 로봇 시스템을 위한, 예를 들어 도 1 내지 도 5 및 도 8 내지 도 10에 도시된 바와 같은 의료 로봇 시스템의 예시적인 명령 콘솔(200)을 예시한다. 명령 콘솔(200)은 예를 들어 예시적인 수술 환경(100)의 명령 콘솔(105)로서 사용될 수 있다. 명령 콘솔(200)은 콘솔 기부(201), 디스플레이 모듈(202), 예컨대 모니터, 및 제어 모듈, 예컨대 키보드(203) 및 조이스틱(204)을 포함한다. 일부 실시예에서, 명령 콘솔(200) 기능 중 하나 이상은 도 1 내지 도 5 및 도 8 내지 도 10에 도시된 바와 같은 의료 로봇 시스템의 기부 또는 의료 로봇 시스템에 통신가능하게 결합된 다른 시스템에 통합될 수 있다. 사용자(205), 예컨대 의사가 명령 콘솔(200)을 사용하여 인체공학적 위치로부터 의료 로봇 시스템을 원격으로 제어한다.

[0082] 콘솔 기부(201)는 하나 이상의 프로세서 및 메모리와, 선택적으로 하나 이상의 데이터 버스 및 연관된 데이터 통신 포트를 포함하는 제어기(206)를 포함할 수 있다. 제어기(206)는 로봇 위치 데이터, 카메라 이미지, 및 예컨대 내시경(13), 요관경(32), 의료 기구(34), 복강경(59), 위내시경, 기관지경, 또는 다른 절차-특정적 의료 기구와 같은 의료 기구로부터의 추적 센서 데이터와 같은 신호의 해석 및 처리를 담당한다. 제어기(206)의 메모리는 본 명세서에 기술된 의료 기구 및 로봇 시스템의 동작을 위한 명령어를 저장할 수 있다. 일부 실시예에서, 콘솔 기부(201) 및 의료 로봇 시스템의 기부 둘 모두는 부하-분산(load-balancing)을 위한 신호 처리를 수행할 수 있고, 따라서 제어기(206)는 상이한 시스템 구성요소들 사이에서 분할될 수 있다. 제어기(206)는 또한 제어 모듈(203, 204)을 통해 사용자(205)에 의해 제공되는 명령 및 명령어를 처리할 수 있다. 도 16에 도시된 키보드(203) 및 조이스틱(204)에 더하여, 제어 모듈은 다른 장치, 예를 들어 컴퓨터 마우스, 트랙패드, 트랙볼, 제어 패드, 제어부, 예컨대 핸드헬드 원격 제어기, 및 손 제스처와 손가락 제스처를 캡처하는 센서(예컨대, 모션 센서 또는 카메라)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 일부 복강경 로봇 시스템의 경우, 제어 모듈은 한 쌍의 7

자유도("7 DOF") 햅틱 마스터(haptic master)를 포함한다. 햅틱 마스터는, 입력(예컨대, 사람 사용자에게 의해 인가된 힘)을 출력(예컨대, 로봇 시스템의 엔드 이펙터의 변위)으로 변환하고 또한 사용자에게 다시 촉각 피드백을 제공하는 힘 제어식 햅틱 인터페이스이다. 7 DOF 햅틱 마스터는 X, Y, Z 방향으로 3 모션 자유도(degree of motion) 및 피치, 요, 롤 및 관절운동의 4 모션 자유도를 제공할 수 있다. 제어부는 기구의 동작(예컨대, 관절운동, 구동, 물 관주 등)에 매핑되는 사용자 입력부들(예컨대, 버튼, 조이스틱, 지향성 패드 등)의 세트를 포함할 수 있다.

[0083] 사용자(205)는 속도 모드 또는 위치 제어 모드에서 명령 콘솔(200)을 사용하여 본 명세서에 기술된 바와 같은 로봇 아암을 통해 의료 기구를 제어할 수 있다. 속도 모드에서, 사용자(205)는 제어 모듈을 사용한 직접 수동 제어에 기초하여 의료 기구의 원위 단부의 피치 및 요 모션을 직접 제어한다. 예를 들어, 조이스틱(204)에 대한 이동은 의료 기구의 원위 단부의 요 및 피치 이동에 매핑될 수 있다. 조이스틱(204)은 사용자(205)에게 햅틱 피드백을 제공할 수 있다. 예를 들어, 조이스틱(204)은 의료 기구가 소정 방향으로 추가로 병진하거나 회전할 수 없음을 나타내기 위해 진동할 수 있다. 명령 콘솔(200)은 또한 의료 기구가 최대 병진 또는 회전에 도달하였음을 나타내기 위해 시각 피드백(예컨대, 팝-업 메시지) 및/또는 청각 피드백(예컨대, 비프음(beeping))을 제공할 수 있다.

[0084] 위치 제어 모드에서, 명령 콘솔(200)은 환자 내강 네트워크의 3D 맵 및 본 명세서에 기술된 바와 같은 내비게이션 센서로부터의 입력을 사용하여 의료 기구를 제어한다. 명령 콘솔(200)은 의료 기구를 표적 위치로 조작하기 위해 의료 로봇 시스템의 로봇 아암에 제어 신호를 제공한다. 3D 맵에 대한 의존성으로 인해, 위치 제어 모드는 환자의 해부학적 구조의 정확한 매핑을 필요로 할 수 있다.

[0085] 일부 실시예에서, 사용자(205)는 명령 콘솔(200)을 사용하지 않고 의료 로봇 시스템의 로봇 아암을 수동으로 조작할 수 있다. 외과 수술실에서의 셋업 동안, 사용자(205)는 환자에게 접근하기 위해 로봇 아암, 의료 기구, 및 다른 수술 장비를 이동시킬 수 있다. 의료 로봇 시스템은 로봇 아암 및 장비의 적절한 구성을 결정하기 위해 사용자(205)로부터의 관성 제어 및 힘 피드백에 의존할 수 있다.

[0086] 디스플레이(202)는 전자 모니터(예컨대, LCD 디스플레이, LED 디스플레이, 터치-감응형 디스플레이), 가상 현실 관찰 장치, 예컨대 고글 또는 안경, 및/또는 다른 디스플레이 장치를 포함할 수 있다. 예를 들어, 일부 절차(예컨대, 복강경술)의 경우, 디스플레이는 사용자가 안경 또는 고글의 보조 없이 그것을 통해 입체 이미지를 관찰할 수 있는 한 쌍의 개구를 갖는 콤팩트 입체 관찰기(compact stereo viewer)를 포함할 수 있다. 이는, 예를 들어, 입체 복강경 이미지를 디스플레이하기 위해 사용될 수 있다. 일부 실시예에서, 디스플레이 모듈(202)은 예를 들어 터치스크린을 갖춘 태블릿 장치로서 제어 모듈과 통합된다. 일부 실시예에서, 디스플레이들(202) 중 하나는 환자의 내강 네트워크의 3D 모델 및 가상 내비게이션 정보(예컨대, EM 센서 위치에 기초한 모델 내의 내시경의 단부의 가상 표현)를 디스플레이할 수 있는 한편, 디스플레이들(202) 중 다른 하나는 의료 기구의 단부에서 카메라 또는 다른 감지 장치로부터 수신된 이미지 정보를 디스플레이할 수 있다. 일부 구현예에서, 사용자(205)는 통합형 디스플레이(202) 및 제어 모듈을 사용하여 데이터를 관찰할 수 있을 뿐만 아니라 의료 로봇 시스템에 명령을 입력할 수 있다. 디스플레이(202)는 입체 장치, 예컨대 바이저 또는 고글을 사용하여 3D 이미지의 2D 렌더링 및/또는 3D 이미지를 디스플레이할 수 있다. 3D 이미지는 환자의 해부학적 구조를 예시하는 컴퓨터 3D 모델인 "엔도 뷰(endo view)"(즉, 내시경 뷰)를 제공한다. "엔도 뷰"는 환자의 내부의 가상 환경 및 환자 내측의 의료 기구의 예상 위치를 제공한다. 사용자(205)는 "엔도 뷰" 모델을 카메라에 의해 캡처된 실제 이미지와 비교하여, 마음속으로 배향시키고 의료 기구가 환자 내에서 정확한 - 또는 대략 정확한 - 위치에 있는지를 확인하는 데 도움을 준다. "엔도 뷰"는 의료 기구의 원위 단부 주위의 해부학적 구조물, 예컨대 환자의 기도, 순환 혈관, 또는 장 또는 결장의 형상에 관한 정보를 제공한다. 디스플레이 모듈(202)은 의료 기구의 원위 단부 주위의 해부학적 구조의 3D 모델 및 CT 스캔을 동시에 디스플레이할 수 있다. 또한, 디스플레이 모듈(202)은 3D 모델 및 CT 스캔 상에 의료 기구의 이미 결정된 내비게이션 경로를 오버레이할 수 있다.

[0087] 일부 실시예에서, 의료 기구의 모델이 수술 절차의 상태를 나타내는 데 도움을 주기 위해 3D 모델과 함께 디스플레이된다. 예를 들어, CT 스캔은 생검이 필요할 수 있는 해부학적 구조 내의 병변을 식별한다. 동작 동안, 디스플레이 모듈(202)은 의료 기구의 현재 위치에 대응하는, 의료 기구에 의해 캡처된 기준 이미지를 보여줄 수 있다. 디스플레이 모듈(202)은 사용자 설정 및 특정 수술 절차에 따라 의료 기구의 모델의 상이한 뷰를 자동으로 디스플레이할 수 있다. 예를 들어, 디스플레이 모듈(202)은 의료 기구가 환자의 수술 영역에 접근함에 따라 내비게이션 단계 동안 의료 기구의 오버헤드 형광투시 뷰를 보여준다. 의료 기구의 그러한 사용자-안내 이동은 본 명세서에 기술된 바와 같이 로봇 아암에 대한 다양한 사전-한정된 동작 모드에 따라 제한될 수 있다.

[0088] 2. 조절가능 마운트 플랫폼

[0089] 일부 실시예에 따르면, 로봇 시스템은 로봇 의료 또는 수술 절차 동안 사용하기 위해 로봇 아암을 지지 및 위치시키기 위한, 조절가능 아암 지지부와 같은 하나 이상의 마운트 플랫폼(들)을 포함할 수 있다. 예를 들어, 조절가능 아암 지지부는 하나 이상의 로봇 아암이 그 상에 장착될 수 있는 바아(bar) 또는 레일을 포함할 수 있다. 이러한 예에서, 전체적으로 본 명세서에 참고로 포함되는, 출원인의 미국 특허 공개 제2020/0268460호에 기술된 바와 같이, 바아 또는 레일은 바아 또는 레일 커넥터 및 캐리지에 의해 테이블의 칼럼에 결합될 수 있다. 조절가능 아암 지지부는 조절가능 아암 지지부의 바아 또는 레일이 테이블에 대해 많은 수의 위치에 위치될 수 있게 하는 여러 자유도로 조절가능할 수 있다. 조절가능 아암 지지부는 또한 적재 위치로 전환하도록 구성될 수 있고, 여기서 조절가능 아암 지지부 및 그에 장착된 로봇 아암은 테이블의 표면 아래에 적재된다.

[0090] 일부 실시예에서, 시스템의 커넥터는 조절가능 아암 지지부의 바아 또는 레일을 테이블의 칼럼에 연결하기 위한 다양한 특징부 및 구조물을 포함할 수 있다. 예를 들어, 후술될 바와 같이, 커넥터는 조절가능 아암 지지부의 레일 또는 바아를 테이블의 칼럼에 연결하는 동력화된 아암을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 동력화된 아암은 예를 들어 전술된 캐리지 및 레일 또는 바아 커넥터를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 동력화된 아암은 대안적으로 또는 추가적으로 도 17 내지 도 23을 참조하여 이 섹션에 기술된 추가 특징부들 중 하나 이상을 포함할 수 있다.

[0091] 더 완전하게 후술될 바와 같이, 동력화된 아암은 로봇 아암을 지지하는 아암 지지부(예컨대, 조절가능 아암 지지부의 바아 또는 레일)를 상승, 하강, 틸트, 및/또는 달리 위치시키도록 구성된 하나 이상의 링크를 포함할 수 있다. 일부 경우에, 동력화된 아암은 그들이 의료 절차 동안 로봇 아암의 작동 전에 아암 지지부를 위치시키도록 설계되고 구성될 수 있기 때문에 기부 또는 셋업 아암 또는 조인트로 고려될 수 있다. 예를 들어, 일부 경우에, 동력화된 아암은 아암 지지부(및 그에 장착된 로봇 아암)를 적재 위치로부터 셋업 위치로 이동시키도록 구성된다. 일부 경우에, 셋업 위치에서, 동력화된 아암 및 아암 지지부는 정지 상태로 유지될 수 있는 반면, 아암 지지부 상에 장착된 로봇 아암은 의료 절차를 수행하기 위해 이동한다. 일부 경우에, 동력화된 아암 및/또는 아암 지지부는 또한 의료 절차 동안 이동한다. 따라서, 일부 실시예에서, 동력화된 아암은 아암 지지부를 상승, 하강, 및 각도조절하도록 구성되고, 수술을 위한 준비로 하부 적재 위치로부터 상승 위치로 부착된 로봇 아암을 이동시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 동력화된 아암은 임상의 또는 의사가 환자의 머리 또는 발에 더 잘 접근할 수 있게 하여, 비뇨기와 및 위장(GI) 절차와 같은 절차를 가능하게 할 수 있다.

[0092] 이 섹션 및 위에서 기술된 바와 같이, 아암 지지부를 지지하는 동력화된 아암에 대한 다양한 실시예가 가능하고 일부 예가 아래에 제공된다. 예를 들어, 도 17 내지 도 20은 제1 예를 제공하며, 여기서 동력화된 아암은 단일 링크를 포함한다. 도 21 내지 도 23은 제2 예에 관한 것이며, 여기서 동력화된 아암은 이중 링크 설계를 포함한다. 상세히 후술되고 전체적으로 본 명세서에 참고로 포함되는 출원인의 미국 특허 공개 제2020/0268460호에 추가로 기술된 이들 2가지 예는 제한이 아닌 예시로서 제공된다. 당업자는, 본 개시를 고려하여, 예시된 예와 관련하여 기술된 다양한 특징이 다양한 방식으로 수정 및 조합될 수 있다는 것을 인식할 것이다. 예를 들어, 제1 예시된 예의 특징은 제2 예시된 예의 특징과 조합될 수 있고, 그 반대도 가능하다.

[0093] 2(A). 단일 링크 동력화된 아암.

[0094] 도 17은 로봇 아암 지지부 또는 레일(2207)을 위치시키는 2개의 동력화된 아암(2205)을 포함하는 의료 로봇 시스템(2200)의 단부도를 예시한다. 이러한 예에서, 각각의 동력화된 아암(2205)은 쇼울더(shoulder)(2209)와 아암 지지부(2207) 사이에서 연장되는 단일 링크(2211)를 포함한다. 본 출원 전반에 걸쳐 사용되는 바와 같은 용어 "링크"는 1 이상의 자유도 및/또는 조인트 이동과 운동학적으로 연관된 임의의 링크 및 그의 연관된 구조를 지칭할 수 있다. 일부 실시예에서, 단일 "링크"는 함께 결합되는 2개 이상의 구조적 피스를 포함할 수 있다. 예를 들어, (더 상세히 후술되는) 도 18에 도시된 바와 같이, 링크(2211)는 단일 링크(2211)를 형성하기 위해 구조적으로 함께 결합되는 제1 측방향 측부 피스(2223) 및 제2 측방향 측부 피스(2225)를 포함한다. 아암 지지부(2207)는 위에서 논의된 바와 같이 하나 이상의 로봇 아암이 그 상에 장착될 수 있는 바아 또는 레일을 포함할 수 있다. 아래에서 논의될 바와 같이, 링크(2211)는 스위핑(sweeping) 또는 "바이셉 컬(bicep curl)" 유형 모션으로 쇼울더(2209)를 중심으로 회전하도록 구성될 수 있다. 동력화된 아암(2205)의 추가 자유도와 함께 링크(2211)의 이러한 바이셉 컬 유형 모션은 유리하게는 아암 지지부(2207)에 대해 많은 수의 가능한 위치를 제공할 수 있는 상당한 모션 범위를 제공할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 동력화된 아암은 로봇 복강경 수술과 같은 로봇 의료 절차 또는 수술에 필요한 많은 또는 모든 위치를 적절하게 달성하기 위해 상당한 모션 범위를 포함한다.

- [0095] 예시된 실시예에서, 2개의 동력화된 아암(2205)은 기부(2203) 위에서 테이블(2201)을 지지하는 칼럼(2202)의 서로 반대편에 있는 측부들 상에 위치된다. 즉, 하나의 동력화된 아암(2205)은 칼럼(2202)의 제1 측방향 측부 상에 위치되고, 다른 하나의 동력화된 아암(2205)은 제1 측방향 측부 반대편의 칼럼(2202)의 제2 측방향 측부 상에 위치된다. 이러한 구성에서, 하나의 동력화된 아암(2205)은 연결된 아암 지지부(2207)를 테이블(2201)의 제1 측방향 측부 상에 위치시키도록 구성될 수 있고, 다른 하나의 동력화된 아암(2205)은 연결된 아암 지지부(2207)를 테이블(2201)의 제2 측방향 측부 상에 위치시키도록 구성될 수 있다. 도 17의 예에 예시된 바와 같이, 각각의 동력화된 아암(2205)은 독립적으로 제어가능하고 위치설정가능할 수 있어서, 아암 지지부(2207)는 테이블(2201)의 각각의 측부 상의 상이한 위치에 위치될 수 있다. 2개의 동력화된 아암(2205)이 독립적으로 제어가능하고 위치설정가능할 수 있지만, 그들은 유사한 특징부를 포함할 수 있다. 따라서, 하기 논의는 다른 동력화된 아암(2205)이 유사할 수 있음을 이해하면서 동력화된 아암들(2205) 중 하나에 초점을 맞출 것이다. 일부 실시예에서, 로봇 시스템(2200)은 단지 하나의 동력화된 아암(2205)을 포함한다. 일부 실시예에서, 로봇 시스템(2200)은 하나 초과인 동력화된 아암(2205)을 포함한다. 예를 들어, 로봇 시스템(2200)은 2개의 동력화된 아암(2205)(예시된 바와 같음), 3개의 동력화된 아암(2205), 4개의 동력화된 아암(2205) 등을 포함할 수 있다.
- [0096] 예를 들어 도 17에 예시된 바와 같은 단일 링크 동력화된 아암(2205)은 효과적인 베드-장착식 로봇 복강경 또는 내시경 수술(또는 다른 로봇 의료 절차)을 수행하도록 허용하면서, 또한 예를 들어 수동 수술을 위한 접근을 허용하기 위해 기부(2203) 내에 또는 그에 근접하여 컴팩트한 형태로 적재되는 하나 이상의 혁신적인 특징을 포함할 수 있다. 매우 다양한 의료 절차에 사용가능하도록, 아암 지지부(2207)는 테이블(2201)에 대해 다수의 위치 또는 구성으로 위치될 수 있어야 한다. 이전에 언급된 바와 같이, 동력화된 아암(2205)은 이들 위치를 적절하게 달성하기 위해 상당한 모션 범위를 제공한다.
- [0097] 위에서 언급된 바와 같이, 동력화된 아암(2205)의 링크(2211)는 쇼울더(2209)와 아암 지지부(2207) 사이에서 연장된다. 링크(2211)는 근위 단부(2213)와 원위 단부(2215) 사이에서 연장될 수 있다. 링크(2211)의 근위 단부(2213)는 쇼울더(2209)에 결합될 수 있다. 일부 실시예에서, 링크(2211)의 근위 단부(2213)는 회전 조인트로 쇼울더(2209)에 결합된다. 링크(2211)의 근위 단부(2213)를 쇼울더(2209)에 결합하는 회전 조인트는 도시된 바와 같이 회전 자유도(2217)를 제공할 수 있으며, 이는 링크(2211)가 쇼울더(2209)에 대해 회전하도록 허용한다. 쇼울더(2209)와 링크(2211) 사이의 회전 조인트는 회전 자유도(2217)를 제공하기 위해, 쇼울더(2209) 및 링크(2211)의 근위 단부(2213)를 통해 연장되고 테이블(2201)에 대한 길이방향 축에 평행한 축을 중심으로 한 회전을 허용하도록 구성될 수 있다.
- [0098] 일부 실시예에서, 회전 자유도(2217)는 적어도 120도, 적어도 140도, 적어도 150도, 적어도 160도, 적어도 170도, 적어도 180도, 또는 그 초과인 회전을 허용하도록 구성된다. 회전 자유도(2217)는 아암 지지부(2207)가 기부(2203)에 근접하게 위치되는 완전히 하강된 위치로부터 측정될 수 있다. 일부 실시예에서, 링크(2211)는, 아래에서 논의되는 바와 같이, 칼럼(2202) 주위를 감싸서, 추가 회전을 허용한다. 일부 실시예에서, 회전 범위는 테이블(2201) 또는 다른 구조물과의 충돌을 여전히 회피하면서 가능한 한 클 수 있다.
- [0099] 그러한 회전은 링크(2211)가 쇼울더(2209)에 대해 회전하여 아암 지지부(2207)를 위에서 논의된 스위핑 또는 바이셉 컬 유형 모션으로 전개하도록 허용할 수 있다. 일부 실시예에서, 링크(2211)와 쇼울더(2209) 사이의 조인트의 회전은 아암 지지부(2207)가, 특정 회전 각도에서만, 테이블(2201) 또는 칼럼(2202)에 측방향으로 가깝게 또는 그로부터 멀리 떨어져 배치되도록 허용한다. 따라서, 일부 실시예에서, 동력화된 아암(2205)은 아암 지지부(2207)의 높이가 또한 다양한 회전 각도에서 조절되도록 허용하는 추가 자유도(2219)를 포함할 수 있다. 이는 사용자 또는 시스템이 테이블(2201)에 대한 아암 지지부(2207) 위치의 수직 및 측방향 위치 제어를 갖도록 효과적으로 허용할 수 있고, 이는 유리하게는 상이한 수술 또는 의료 절차를 수용할 뿐만 아니라 환자 위치설정 액세스를 제거하여 다양한 환자 폭을 수용하도록 아암 지지부(2207)의 유연한 위치설정을 허용한다.
- [0100] 도 17에 예시된 바와 같이, 자유도(2219)는 칼럼(2202)의 축에 평행한 축을 따른 병진 자유도(2219)를 포함할 수 있다. 이러한 병진 자유도(2219)는 칼럼(2202)에 대한 쇼울더(2209)의 연결부 또는 조인트에 의해 제공될 수 있다. 예를 들어, 쇼울더(2209)는 칼럼(2202)을 따라 수직으로 병진하는 조인트로 칼럼(2202)에 결합될 수 있다. 쇼울더(2209)와 칼럼(2202) 사이의 조인트는 동력화된 아암(2205)에 대한 병진 자유도(2219)를 허용하도록 선형, 활주, 또는 직선형 조인트를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 이러한 조인트는 그것이 z-축을 따라 병진하기 때문에 "z-리프트(lift)" 메커니즘으로 지칭될 수 있다. 일부 실시예에서, 병진 자유도(2219)는 칼럼(2202)의 길이를 따라 병진하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 병진 자유도(2219)는 칼럼(2202)의 길이의 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 80%, 90%, 또는 그 초과를 따른 병진을 허용하도록 구성된다. 일부 실시예에서, 병진 자유도(2219)는 칼럼(2202)의 길이를 따른 적어도 20 cm, 적어도 30 cm, 적어도 40 cm, 적어도 50 cm 또는 그 초

과의 병진을 허용하도록 구성된다.

- [0101] 조합하여, 쇼울더(2209), 링크(2211), (쇼울더(2209)와 링크(2211) 사이의 회전 조인트에 의해 제공되는) 회전 자유도(2217), 및 (쇼울더(2209)와 칼럼(2202) 사이의 조인트에 의해 제공되는) 병진 자유도(2219)는 아암 지지부(2207)(링크(2211)의 원위 단부(2215)에 위치됨)가 테이블(2201)에 대해 많은 수평 및 수직 거리에 위치되도록 허용하는 고 모션 범위를 동력화된 아암(2205)에 제공할 수 있다. 구체적으로, (회전 자유도(2219)로) 쇼울더(2209)를 중심으로 한 링크(2211)의 회전은 아암 지지부(2207)가 테이블(2201)에 대해 상이한 수평 및 수직 거리에 위치되도록 허용할 수 있고, (병진 자유도(2219)로) 칼럼(2202)을 따른 쇼울더(2209)의 병진은 아암 지지부(2207)가 테이블(2201)에 대해 상이한 수직 거리에 위치되도록 허용할 수 있다. 일부 실시예에서, (회전 자유도(2219)로) 쇼울더(2209)를 중심으로 한 링크(2211)의 회전은 아암 지지부(2207)가 쇼울더(2209)에서의 피봇 지점을 중심으로 한 원형 스위프(circular sweep)을 갖도록 허용할 수 있다.
- [0102] 도 17에 예시된 바와 같이, 링크(2211)의 원위 단부(2215)는 아암 지지부(2207)에 결합될 수 있다. 일부 실시예에서, 링크(2211)의 원위 단부(2215)는 회전 자유도(2221)를 제공하는 회전 조인트로 아암 지지부(2207)에 결합될 수 있다. 회전 자유도(2221)는 동력화된 아암(2205)이 로봇 아암을 지지하는 아암 지지부(2207)를 틸팅 또는 회전시킬 수 있게 하도록 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 추가 메커니즘이 링크(2211)의 원위 단부(2215)에 제공되어, 아암 지지부(2207)가 링크(2211)에 대해 병진하도록 허용한다(예가 후술되는 도 22 및 도 23에 도시됨).
- [0103] 일부 실시예에서, 회전 자유도(2221)는 쇼울더(2209)를 중심으로 한 링크(2211)의 회전 동안 아암 지지부(2207)의 배향을 유지하기 위해 회전 자유도(2217)로 제한될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 아암 지지부(2207)의 상부 표면이 링크(2211)의 회전 위치에 관계없이 (예컨대, 테이블(2201)의 표면 또는 바닥에 평행한) 레벨을 유지하도록 아암 지지부(2207)를 유지하는 것이 유리할 수 있다. 일부 실시예에 따라, 메커니즘이 회전 자유도를 제한하기 위해 구성되고 구현될 수 있다.
- [0104] 일부 실시예에서, 모터 및 기어박스를 포함하는 액추에이터가 동력화된 아암(2205)의 회전(즉, 링크(2211)의 스위프 또는 바이셉 컬 모션)을 제어하기 위해 링크(2211)의 근위 단부 내에 위치될 수 있다. 또한, 일부 실시예에서, 정확한 로봇 아암 사용을 허용하도록 동력화된 아암(2205)의 강성을 증가시키기 위해 추가 특징부가 통합될 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 도 18에 도시된 바와 같이, 고 비틀림 강성 브레이크가 근위 단부(2213) 및/또는 원위 단부(2213)에서 링크(2211)에 추가될 수 있다.
- [0105] 도 18은 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402)(아버(arbor)로서 예시됨) 및 원위 비틀림 강성 메커니즘(2404)(아버로서 예시됨)을 포함하는 동력화된 아암(2205)의 일 실시예의 등각도를 예시한다. 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402) 및 원위 비틀림 강성 메커니즘(2405)은 동력화된 아암(2205)의 강성을 증가시키도록 구성될 수 있다. 도 18에 도시된 바와 같이, 일부 실시예에서, 링크(2211)는 제1 측방향 측부(2223) 및 반대편 제2 측방향 측부(2225)를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 모터, 브레이크, 센서 및/또는 기어박스 중 하나 이상을 포함하는 액추에이터(2405)가 제1 측방향 측부(2223)에서 링크(2211)의 근위 단부(2213) 내에 위치될 수 있다. 일부 실시예에서, 액추에이터(2405)는 전자기 브레이크 형태의 브레이크를 포함할 수 있다. 제2 측방향 측부(2225) 상에서, 링크(2211)의 근위 단부(2213)는 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402)을 포함할 수 있다. 따라서, 모터를 포함하는 액추에이터(2405)는 하나의 측방향 측부 상에 위치될 수 있고, 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402)은 링크(2211)의 다른 하나의 측방향 측부 상에 위치될 수 있다. 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402)은 고 비틀림 강성 브레이크일 수 있다. 일부 실시예에서, 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402)은 유압 아버 브레이크 시스템의 일부일 수 있다. 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402)은 작동될 때 동력화된 아암(2205)의 강성을 증가시키도록 구성될 수 있다.
- [0106] 예를 들어, 일부 실시예에서, 모터를 포함하는 액추에이터(2405)는 링크(2211)를 회전 위치로 회전시키는 데 사용된다. 비틀림 강성 메커니즘 브레이크(2402)는 링크(2211)의 회전 전에 맞물림 해제될 수 있다. 일단 제 위치에 있게 되면, 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402)은 동력화된 아암(2205)의 강성을 증가시키기 위해 맞물릴 수 있다. 일부 실시예에서, 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402) 또는 브레이킹 시스템은 유압 팽창 아버 브레이크 시스템의 일부로 고려될 수 있다. 원위 비틀림 강성 메커니즘(2404)은 링크(2211)와 아암 지지부(2207) 사이의 조인트에서 동력화된 아암(2205)의 비틀림 강성을 증가시키기 위해 유사하게 사용될 수 있다. 다른 유형의 브레이크가 또한 사용할 수 있다.
- [0107] 예를 들어, 일부 실시예에서, 근위 비틀림 강성 메커니즘(2402) 및 원위 비틀림 강성 메커니즘(2404) 중 하나 또는 둘 모두는 (후술되는 바와 같은) 아버; 스프링 맞물림식, 전자기 투스 브레이크(tooth brake); 또는 스프

링 맞물림식, 유압 방출식 투스 브레이크일 수 있다. 일부 실시예에서, 대안적으로 또는 추가적으로, 액추에이터(2405) 내의 더 높은 강성의 기어박스(예컨대, 고조파 기어박스(harmonic gearbox) 대신에 사이클로이드 기어박스(cycloidal gearbox))가 또한 비틀림 강성을 증가시키기 위해 사용될 수 있다.

[0108] 도 18은 또한 제2 또는 원위 브레이크(2404)가 링크(2211)의 원위 단부(2215) 내에 포함될 수 있음을 예시한다. 예시된 실시예에서, 원위 브레이크(2404)는 링크(2211)의 제2 측방향 측부(2225) 상에 포함될 수 있다. 즉, 일부 실시예에서, 근위 및 원위 브레이크들(2402, 2404) 둘 모두는 링크(2211)의 동일한 측방향 측부 상에 있다. 이는 모든 실시예에서 그러할 필요는 없다. 예를 들어, 원위 브레이크(2404)는 제1 측방향 측부(2223) 상에 포함될 수 있다. 원위 브레이크(2404)는 근위 브레이크(2402)와 유사한 방식으로 동작할 수 있다. 예를 들어, 원위 브레이크(2404)는 동력화된 아암(2205)의 강성을 증가시키도록 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 근위 브레이크(2402)와 유사하게, 원위 브레이크(2404)는 추가로 후술되는 바와 같은 유압 팽창 아머 브레이크 시스템의 일부일 수 있다. 스프링 맞물림식, 전자기 투스 브레이크 시스템 또는 스프링 맞물림식, 유압 방출식 투스 브레이크 시스템을 포함하는 다른 유형의 브레이크가 유압 팽창 아머 브레이크 시스템 대신에 사용될 수 있다.

[0109] 도 17 및 도 18을 참조하여 본 명세서에 기술된 동력화된 아암(2205)은 또한 환자 플랫폼에 부착된 로봇 아암을 컴팩트하게 적재하기 위한 고유한 이점을 제공하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 동력화된 아암(2205)은 아암 지지부(2207)(및 부착된 로봇 아암)를 테이블(2201) 아래의 그리고 기부(2203) 또는 바닥에 근접한 위치로 하강시켜 로봇 아암을 적재할 수 있다. 이는 예를 들어 수동 수술을 위한 환자에 대한 접근뿐만 아니라, 환자 플랫폼 부근에 제공될 추가 시스템(예컨대, 형광투시 c-아암)에 대한 접근을 허용할 수 있다. 적재를 용이하게 하기 위해, 일부 실시예에서, 동력화된 아암(2205)은 링크(2211)가 칼럼(2202) 주위를 감싸서, 동력화된 아암(2205)을 가능한 한 칼럼(2250)에 가깝게 가져와 테이블(2201)의 풋프린트 내에 유지되도록 구성된다. 이는 로봇 시스템이 사용 중이 아닐 때 환자측 접근을 제한하지 않을 수 있기 때문에 임상적 관점에서 유리할 수 있다. 이들 특징은 예를 들어 도 19a, 도 19b, 및 도 20에 도시된다.

[0110] 2(B). 이중 링크 동력화된 아암.

[0111] 2개의 동력화된 아암을 포함하는 의료 로봇 시스템의 일부 실시예가 구현될 수 있다. 예를 들어, 도 21 내지 도 23은 동력화된 아암(2705)이 제1 링크(2711) 및 제2 링크(2712)를 포함하는 이중-링크 구성을 포함하는 의료 로봇 시스템을 예시한다. 도시된 바와 같이, 제1 링크(2711)는 쇼울더(2709)에 연결된다. 쇼울더(2709)는 전술된 바와 같이 칼럼(2702)에 연결될 수 있다. 칼럼(2702)은 테이블(2701)과 기부(2703) 사이에서 연장된다. 제1 링크(2711)는 또한 제2 링크(2712)에 연결된다. 제2 링크(2712)는 아암 지지부(2707)에 연결된다. 아암 지지부(2707)는 위에서 논의된 바와 같이 하나 이상의 로봇 아암이 그 상에 장착될 수 있는 바아 또는 레일(예컨대, 바아 또는 레일(1307))을 포함할 수 있다. 도 17 내지 도 20의 동력화된 아암(2205)의 단일 링크 설계와 대조적으로, 도 21 내지 도 23의 동력화된 아암(2705)의 이중-링크 설계는 쇼울더(2709)와 아암 지지부(2707) 사이에서 연장되는 제1 링크(2711) 및 제2 링크(2712)를 포함한다. 더 상세히 후술될 바와 같이, 제2 링크(2712)는 동력화된 아암(2705)에 대한 추가 회전 자유도를 제공하기 위해 제1 링크(2711)에 대해 회전하도록 구성될 수 있다. 이러한 추가 자유도는 테이블(2701) 위의 증가된 임상 작업공간 및 도달범위를 허용하여, 아암 지지부(2707) 및 부착된 로봇 아암을 위치시키기 위한 더 큰 유연성을 제공할 수 있다. 또한, 일부 실시예에서, 제1 링크(2711)와 제2 링크(2712) 사이의 추가 회전 자유도로, 동력화된 아암(2705)은 테이블(2701)의 측부와 접촉할 가능성이 더 적을 수 있다.

[0112] 예시된 실시예에서, 2개의 동력화된 아암(2705)은 기부(2703) 위에서 테이블(2701)을 지지하는 칼럼(2702)의 서로 반대편에 있는 측부들 상에 위치된다. 일부 실시예에서, 각각의 동력화된 아암(2705)은 독립적으로 제어가능하고 위치설정가능할 수 있어서, 아암 지지부(2707)는 테이블(2701)의 각각의 측부 상의 상이한 위치에 위치될 수 있다. 2개의 동력화된 아암(2705)이 독립적으로 제어가능하고 위치설정가능할 수 있지만, 그들은 유사한 특징부를 포함할 수 있다. 따라서, 이러한 논의는 다른 동력화된 아암(2705)이 유사할 수 있음을 이해하면서 동력화된 아암들(2705) 중 하나에 초점을 맞출 것이다. 일부 실시예에서, 로봇 시스템(2700)은 단지 하나의 동력화된 아암(2705)을 포함한다. 일부 실시예에서, 로봇 시스템(2700)은 하나 초과와 동력화된 아암(2705)을 포함한다. 예를 들어, 로봇 시스템(2700)은 2개의 동력화된 아암(2705)(예시된 바와 같음), 3개의 동력화된 아암(2705), 4개의 동력화된 아암(2705) 등을 포함할 수 있다. 또한, 각각의 동력화된 아암(2705) 및 아암 지지부(2707)는 2개 또는 3개의 로봇 아암을 지지할 수 있다. 다른 수의 로봇 아암이 다른 실시예에 사용될 수 있다.

[0113] 도 21은, 위에서 논의된 시스템과 유사하게, 로봇 의료 시스템(2700)의 동력화된 아암(2705)이 테이블(2701) 아

래의 컴팩트한 공간 내에 보관되도록 구성될 수 있다는 것을 추가로 예시한다. 예를 들어, 동력화된 아암(2705)은 도시된 바와 같이 아암 지지부(2707)를 기부(2703) 내의 또는 그에 근접한 위치로 이동시키도록 구성될 수 있다. 아래에서 더 완전하게 논의될 바와 같이, 동력화된 아암(2705)은 (예를 들어, 도 21에 도시된 바와 같이) 이러한 적재 구성으로부터, 로봇 아암이 로봇 수술 또는 의료 절차 동안 이용될 수 있게 하는 전개 위치의 범위로 이동하도록 구성될 수 있다.

[0114] 도 22a 및 도 22b는 동력화된 아암(2705) 단독의 일 실시예를 예시한다. 도 22a는 예시적인 전개 위치에 있는 동력화된 아암(2705)을 예시하고, 도 22b는 예시적인 적재 위치에 있는 동력화된 아암(2705)을 예시한다. 도 22a 및 도 22b에 도시된 바와 같이, 동력화된 아암(2705)은 쇼울더(2709), 제1 링크(2711), 및 제2 링크(2712)를 포함한다. 도 22a 및 도 22b에 예시되지 않지만, 제2 링크(2712)는, 도 21에 도시된 바와 같이 그리고 도 32를 참조하여 더 상세히 후술될 바와 같이, 아암 지지부(2707)에 연결되도록 추가로 구성된다. 쇼울더(2709)는 도 17 내지 도 20을 참조하여 전술된 쇼울더(2209)와 유사할 수 있다. 예를 들어, 쇼울더(2709)는 쇼울더(2709)가 예를 들어 전술된 바와 같이 z-리프트 모션으로 칼럼(2702)을 따라 병진하도록 허용하는 조인트로 칼럼(2702)에 결합될 수 있다.

[0115] 제1 링크(2711)는 근위 단부(2713)와 원위 단부(2715) 사이에서 연장된다. 도 22a 및 도 22b에 예시된 바와 같이, 근위 단부(2713)는 회전 조인트에 의해 쇼울더(2709)에 연결될 수 있다. 제1 링크(2711)의 근위 단부(2713)와 쇼울더(2709) 사이의 회전 조인트는 제1 링크(2711)가 제1 회전 자유도(2717)로 쇼울더(2709)에 대해 회전하도록 허용하게 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 제1 회전 자유도(2717)는 제1 링크(2711)에 180도의 회전을 허용하지만, 이는 모든 실시예에서 그러할 필요는 없다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 제1 회전 자유도(2717)는 제1 링크(2711)에 180도 초과 또는 미만의 회전을 허용한다. 일부 실시예에서, 제1 회전 자유도(2717)는 제1 링크(2711)가 바이셉 컬 또는 스윙핑 모션으로 쇼울더(2709)에 대해 이동할 수 있게 한다.

[0116] 도 22a 및 도 22b에 예시된 바와 같이, 제1 링크(2711)는 제1 측방향 측부(2723) 및 제2 측방향 측부(2725)를 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 제1 측방향 측부(2723)는 제2 측방향 측부(2725)로부터 분리되어 그들 사이에 공간을 생성할 수 있다. 쇼울더(2709)는 제1 링크(2711)의 제1 측방향 측부(2723)와 제2 측방향 측부(2725) 사이에 위치될 수 있다. 즉, 제1 측방향 측부(2723)는 쇼울더(2709)의 제1 측방향 측부에 연결될 수 있고, 제2 측방향 측부(2725)는 쇼울더(2709)의 제2 측방향 측부에 연결될 수 있다. 이러한 구성은 유리하게는, 제1 링크(2711)가 쇼울더(2709)와 접촉함이 없이, 큰 모션 범위(예컨대, 180도)에 걸쳐 제1 링크(2711)가 쇼울더(2709)에 대해 회전하도록 허용할 수 있다.

[0117] 제2 링크(2712)는 또한 근위 단부(2714)와 원위 단부(2716) 사이에서 연장된다. 도 22a 및 도 22b에 예시된 바와 같이, 제2 링크(2712)의 근위 단부(2714)는 회전 조인트에 의해 제1 링크(2711)의 원위 단부(2715)에 연결될 수 있다. 제2 링크(2712)의 근위 단부(2714)와 제1 링크(2711)의 원위 단부(2715) 사이의 회전 조인트는 제2 링크(2712)가 제2 회전 자유도(2718)로 제1 링크(2711)에 대해 회전하도록 허용하게 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 제2 회전 자유도(2718)는 제1 링크(2711)에 대해 제2 링크(2712)에 150도의 회전을 허용하지만, 이는 모든 실시예에서 그러할 필요는 없다. 예를 들어, 일부 실시예에서, 제2 회전 자유도(2718)는 제1 링크(2711)에 대해 제2 링크(2712)에 150도 초과 또는 미만의 회전을 허용한다. 일부 실시예에서, 제2 회전 자유도(2718)는 제2 링크(2712)가 바이셉 컬 또는 스윙핑 모션으로 제1 링크(2711)에 대해 이동할 수 있게 한다.

[0118] 제1 링크(2711)와 유사하게, 제2 링크(2712)는 또한 제1 측방향 측부(2724) 및 제2 측방향 측부(2726)를 포함할 수 있다. 도시된 바와 같이, 제1 측방향 측부(2724)는 제2 측방향 측부(2726)로부터 분리되어 그들 사이에 공간을 생성할 수 있다. 제1 링크(2711)는 제2 링크(2712)의 제1 측방향 측부(2724)와 제2 측방향 측부(2726) 사이에 위치될 수 있다. 즉, 제2 링크(2712)의 제1 측방향 측부(2724)는 제1 링크(2711)의 제1 측방향 측부(2723)에 연결될 수 있고, 제2 링크(2712)의 제2 측방향 측부(2726)는 제1 링크(2711)의 제2 측방향 측부(2725)에 연결될 수 있다. 이러한 구성은 유리하게는, 제2 링크(2712)가 제1 링크(2711)와 접촉함이 없이, 큰 모션 범위(예컨대, 150도)에 걸쳐 제2 링크(2712)가 제1 링크(2711)에 대해 회전하도록 허용할 수 있다. 이러한 구성은 또한 동력화된 아암(2705)이, 예를 들어 도 21 및 도 22b에 도시된 바와 같이, 적재 구성에서 작은 컴팩트한 크기로 접히도록 허용할 수 있다.

[0119] 제2 링크(2712)의 원위 단부(2716)는 하나 이상의 로봇 아암을 지지하기 위해 레일 또는 바아로서 구성된 아암 지지부(2707)(도 22a 및 도 22b에 예시되지 않음)에 연결되도록 구성될 수 있다. 제2 링크(2712)의 원위 단부(2716)의 특징은 도 32를 참조하여 더 상세히 후술될 것이다.

[0120] 동력화된 아암(2705)이 그들 자신의 회전 자유도(2717, 2718)로 회전하도록 각각 구성된 2개의 링크(2711,

2712)를 포함하기 때문에, 동력화된 아암(2705)은 로봇 의료 절차를 용이하게 하기 위해 부착된 아암 지지부를 훨씬 더 넓은 위치 범위로 이동시킬 수 있다. 일부 실시예에서, 예를 들어, 제2 링크(2712) 및 추가 회전 자유도(2718)의 포함은 동력화된 아암(2705)이 테이블(2701) 주위에 그리고 환자 옆에 도달할 수 있게 한다.

[0121] 3. 조절가능 아암 지지부와 연관된 로봇 아암.

[0122] 위에서 기술된 조절가능 아암 지지부는 테이블, 칼럼, 또는 기부에 장착되도록 구성될 수 있고, 조절가능 아암 지지부 상에 위치한 로봇 아암을 지지하도록 조절가능하다(다양한 자유도로 이동가능함). 일부 실시예에 따르면 조절가능 아암 지지부가 테이블의 표면 아래에 장착되도록 구성될 수 있기 때문에, 조절가능 아암 지지부와 함께 소정 유형의 로봇 아암을 채용하는 것이 유리할 수 있다. 특히, 로봇 아암이 더 낮은 위치로부터 "워크업(work up)"하여야 하고 (예컨대, 테이블과의) 충돌을 회피하여야 할 수 있기 때문에, 증가된 이동 및 유연성을 갖는 로봇 아암이 바람직할 수 있다. 이 섹션은 조절가능 아암 지지부와 함께 사용하기 위해 구성된 로봇 아암의 소정 특징을 개략적으로 기술한다.

[0123] 예를 들어, 일부 실시예에서, 조절가능 아암 지지부와 함께 사용하기 위해 구성된 로봇 아암은 평행사변형 원격 중심 로봇 아암(parallelogram remote center robotic arm)과는 상이하다. 일례에서, 조절가능 아암 지지부와 함께 사용하기 위해 구성된 로봇 아암은 적어도 2 자유도를 갖는 쇼울더, 적어도 1 자유도를 갖는 엘보우(elbow), 및 적어도 2 자유도를 갖는 리스트를 포함할 수 있다. 그러한 아암과 연관된 운동학은 아암 기부가 작업공간에 대해 임의로 위치되도록 허용하여, 베드 옆에 장착된 평행사변형 원격 중심 로봇의 경우 어려울 셋업을 허용한다.

[0124] 또한, 일부 실시예에서, 조절가능 아암 지지부와 함께 사용하기 위해 구성된 로봇 아암은 적어도 3 자유도로 구성되는 반구형 또는 구형 리스트를 포함할 수 있다. 그러한 리스트는 로봇 아암의 원위 단부에 위치한 기구 구동 메커니즘이 아암 리스트 아래에 있을 수 있도록 로봇 아암이 그의 리스트 조인트를 롤링하도록 허용할 수 있다. 이는 표적 작업공간이 포트보다 훨씬 위에 있는 절차를 가능하게 할 수 있다.

[0125] 일부 수술 로봇 아암은 여유 자유도가 없는 기계적으로 제한된 원격 중심(예컨대, 평행사변형 로봇 아암)을 포함한다. 즉, 임의의 원격 중심 위치에 대해, 기부까지의 거리는 기계적으로 제한된다. 베드 아래로부터 나오는 로봇 아암은, 전술된 조절가능 아암 지지부 상에 장착된 로봇 아암의 경우와 마찬가지로, 그들의 마운트 구조물에 의해 제한될 수 있고, 최적 구성에 도달할 수 없어, 평행사변형 로봇 아암을 더 뛰어나게 만들 수 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 전술된 조절가능 아암 지지부와 함께 사용하기 위해 구성된 로봇 아암은 하나 이상의 여유 자유도를 포함할 수 있다. 여유 자유도는 도구 팁을 이동시키는 없이 아암이 그들의 널 공간(null space) 내에서 조강되도록(jogged) 허용하여, 이전에 알려진 수술 로봇 아암으로는 가능하지 않은 수술중 충돌 회피를 허용할 수 있다.

[0126] 도 24는 도 1 내지 도 23에 도시된 시스템 및 구성요소와 함께 사용가능한 로봇 아암(1700)의 예를 예시한다. 로봇 아암(1700)은 RRRPP 직렬 체인 조작기를 포함하고, 이때 "R"은 회전형 조인트를 지칭하고, "P"는 직선형 조인트를 나타내며, 그러한 조인트 라벨링은 최근위 조인트(1705A)에서 시작하여 로봇 아암을 따라 최원위 조인트(1705E)를 향해 직렬로 이동한다. 로봇 아암(1700)은 저-관성 원격 중심 복강경 시스템으로서 또는 가상 레일 내시경 시스템으로서 사용하도록 구성될 수 있다.

[0127] 로봇 아암(1700)은 링크장치(1710A 내지 1710D)에 의해 직렬 방식으로 연결된 다수의 동력화된 조인트(1705A 내지 1705E)를 포함한다. 제1 링크장치(1710A)는 제1 동력화된 조인트(1705A)와 제3 동력화된 조인트(1705B)를 연결하고, 제2 링크장치(1710B)는 제3 동력화된 조인트(1705B)를 제4 동력화된 조인트(1705C)에 연결하고, 제3 링크장치(1710C)는 제4 동력화된 조인트(1705C)를 제5 동력화된 조인트(1705D)에 연결하고, 제4 링크장치(1710D)는 제5 동력화된 조인트(1705D)를 제2 동력화된 조인트(1705E)에 연결한다.

[0128] (예컨대, 로봇 아암(1700)이 부착되는 로봇 시스템의 기부 또는 셋업 조인트에 가장 가까운) 로봇 아암의 근위 단부에 있는 제1 동력화된 조인트(1705A)는 요 축(1735A)을 중심으로 한 의료 기구(1725)의 회전 모션을 유발하는 회전형 조인트이다. (예컨대, 의료 기구(1725)에 가장 가까운) 로봇 아암의 원위 단부에 있는 제2 동력화된 조인트(1705E)는 제4 링크장치(1710D)의 원위 면(1715B)을 따라 선형으로 이동하는 직선형 조인트이다. 추가 동력화된 조인트(1705B, 1705C, 1705D)는 제1 동력화된 조인트와 제2 동력화된 조인트 사이에 직렬로 위치된다.

[0129] 제5 동력화된 조인트(1705D)는 제4 링크장치(1710D)의 근위 면(1715A)을 따라 선형으로 이동하는 직선형 조인트이다. 직선형 조인트(1705D, 1705E)의 축은 제4 링크장치(1710D)의 형상으로 인해 서로 평행한 것으로 도시되어 있지만, 다른 실시예에서 축은 평행하지 않을 수 있고 제4 링크장치(1710D)의 형상은 그에 따라 달라질 수

있다.

- [0130] 제3 동력화된 조인트(1705B) 및 제4 동력화된 조인트(1705C)는 제1 동력화된 조인트(1705A)의 회전 평면에 직교하게 위치한 평면 내에서 각각 회전하는 회전형 조인트이다. 제3 동력화된 조인트(1705B) 및 제4 동력화된 조인트(1705C)의 작동은 의료 기구(1725)가 피치 축(1735C)을 중심으로 회전하게 할 수 있다.
- [0131] 각각의 동력화된 조인트(1705A 내지 1705E)는 모터, 위치 센서, 및 기어박스를 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 모터는 고정자, 고정자 내에서 회전가능한 회전자, 및 고정자를 통해 권취되고 전류의 하나 이상의 위상을 전달하도록 구성된 복수의 권선을 포함하는 내부 영구 자석 모터일 수 있다. 회전자는 자기 투과성 재료 및 자기 투과성 재료 내에 매립된 적어도 하나의 영구 자석을 포함할 수 있다. 위치 센서의 일례는 회전자를 포함하는 시야로 위치한 광학 인코더이고, 따라서 광학 인코더는 회전자를 나타내는 이미지 데이터를 캡처할 수 있고, 이미지 데이터는 회전자의 위치를 결정하는 데 사용가능하다. 적합한 위치 센서의 다른 예는 (예를 들어, 홀 센서 또는 다른 전류 센서를 통해) 모터의 권선들 중 하나 이상에서 전류를 모니터링하는 페루프 위치 제어 시스템뿐만 아니라, 인접한 링크장치들 사이의 각도를 결정하는 데 사용가능한 데이터를 생성하는 각도 조인트 센서(예를 들어, 가속도계, 자이로스코프, 자력계, 전도성 섬유 등 중 하나 이상)를 포함한다. 동력화된 조인트들(1705A 내지 1705E) 각각의 위치 센서로부터의 출력은 본 명세서에 기술된 동작 모드에서 로봇 아암(1700)의 작동을 제어하기 위해 제어기(206)에 의해 사용될 수 있다. 기어박스는 각각의 조인트에 대한 원하는 기어비를 달성하기 위해 다수의 기어를 포함할 수 있다. 하나의 예시적인 조인트는 내시경술 의료 절차 동안 동작을 위한 원하는 강성을 달성하기 위해 100:1 내지 150:1 기어비를 가질 수 있다. 기어박스는 스트레인 웨이브 기어링(strain wave gearing)을 사용하는 고조파 기어박스일 수 있고, 따라서 백래시가 낮거나 없고, 높은 컴팩트성, 및 경량으로 인해 전통적인 기어-기반 기어박스에 비해 이점을 제공한다.
- [0132] 기구 드라이버(1720)가 의료 기구(1725)를 고정 및/또는 조작하기 위해 제2 동력화된 조인트(1705E)에 결합될 수 있다. 기구 드라이버(1720)는 일부 실시예에서 도 12와 관련하여 기술된 기구 드라이버일 수 있다. 제4 링크장치(1710D)의 원위 면(1715B)을 따른 제2 동력화된 조인트(1705E)의 이동 및/또는 제4 링크장치(1710D)의 근위 면(1715A)을 따른 제5 동력화된 조인트(1705D)의 이동은 삽입 축(1725B)을 따른 의료 기구(1725)의 선형 모션으로 변환될 수 있다. 하나 이상의 셋업 조인트와 함께 동력화된 조인트(1705A 내지 1705C)의 작동은 또한 삽입 축(1725B)을 따라 의료 기구(1725)를 이동시킬 수 있다. 기구 드라이버(1720)는 다른 자유도, 예를 들어 삽입 축(1725B)을 중심으로 한 의료 기구(1725)의 롤, 조향가능 의료 기구의 팁의 편향 등으로 의료 기구(1725)를 이동시킬 수 있다. 의료 기구(1725)는 임의의 내시경 또는 복강경 도구, 예를 들어 기관지경, 위내시경, 요관경, 결장경, 조향가능 카테터, 복강경, 그러한 스코프의 작업 채널 내에 위치한 도구(예컨대, 니들, 겸자, 세포검사 브러시, 오거 등), 전기수술 가위, 및 개시된 절차에 사용되는 다른 의료 기구일 수 있다.
- [0133] 일부 의료 절차에서, 기구(1725)는 예를 들어 환자의 신체 내에 개구를 형성하는 절개부 내에 위치한 캐논러(1730) 내로 연장될 수 있다. 다른 의료 절차에서, 기구(1725)는 환자의 내강 네트워크 내에 개구를 형성하는 자연 구멍 내로 직접 연장될 수 있고, 따라서 캐논러(1730)는 생략될 수 있다. 로봇 아암(1700)의 일부 실시예는 제4 링크장치(1710D)를 캐논러(1730)에 결합할 수 있는 도크(예시되지 않음, 예를 들어 도 25의 도크(1840) 참조)를 추가로 포함할 수 있다. 캐논러(1730)는 도크에 스냅체결될 수 있고, 도크는 제4 링크장치(1710D)로부터 제거가능할 수 있다. 캐논러 상에 고정식으로 유지되지 않는 것은 내시경술 절차로부터 복강경술 절차 아암으로 적응하는 것을 고려할 때 이점을 제공할 수 있지만, 제4 링크장치(1710D)와 캐논러를 통과하는 삽입 축의 부분 사이의 근접성은 캐논러를 유지하기 위한 도크를 제공하는 것을 가능하게 한다. 그러한 도크는 의료 기구 힘을 해결하고 의료 기구 교환을 위해 캐논러를 의료 기구 축과 정렬된 상태로 유지하는 데 도움이 될 수 있다. 이러한 도크는 로봇 아암(1700)이 내시경술 절차를 위해 구성되어야 할 때를 위해 제거가능할 수 있고, 제4 링크장치(1710D)는 도크에 부착하기 위한 커플링, 추가 기구 드라이버, 또는 환자 삽입기와 같은 다른 유형의 부착물을 포함할 수 있다.
- [0134] 축(1735A, 1735B, 1735C)의 특정한 도시된 위치는 로봇 아암(1700)의 위치설정에 따라 변경될 수 있으며, 이때 요 축(1735A)은 제1 동력화된 조인트(1705A)의 중심을 통해 연장되고, 삽입 축(1735B)은 제2 동력화된 조인트(1705E)에 결합된 기구 드라이버(1720)를 통해 연장된다. 다수의 조인트(1705A 내지 1705E)의 동시 작동은 동시에 다수의 축을 따라 또는 그를 중심으로 기구(1725)를 이동시킬 수 있다는 것이 인식될 것이다. 요 축(1735A)은 회전형 조인트(1705A)의 회전 축 및 의료 기구(1725)로 변환되는 모션의 동축 회전 축으로서 고려될 수 있다. 본 개시는 또한 요 축(1735A)을 "제1 축"으로서, 삽입 축(1735B)을 "제2 축"으로서, 그리고 피치 축(1725C)을 "제3 축"으로서 지칭한다.

- [0135] 로봇 아암(1700)의 동력화된 조인트(1705A 내지 1705E)의 작동은 상이한 의료 절차에 대응하는 상이한 세트의 모션 제한에 기초하여 (콘솔(200)에서의 사용자 안내에 응답하여 또는 자동으로) 제어기(206)에 의해 프로그램 방식으로 제어될 수 있다. 예를 들어, 복강경 구성에서, 로봇 아암(1700)을 저-관성 원격 중심 복강경 시스템으로 구성하는 것은 (캐놀러 상의 지점 및/또는 환자의 신체 내의 절개부의 위치에 대응하는) 원격 중심(1745) 위치를 식별하고, 회전형 제1 축(1735A)을 원격 중심(1745)을 통과하도록 배향하고, 공간 내에서 고정되고 원격 중심(1745)을 통과하는 원격 피치 축(1735C)을 형성하도록 소프트웨어 명령어에 기초하여 3개의 중간 RRP 조인트(동력화된 조인트(1705B, 1705C, 1705D))의 작동을 제한하고, 의료 기구(1725)가 원격 중심(1745)을 통해 삽입되도록 원위 직선형 축을 삽입 축(1735B)에 평행하게 (제4 링크장치(1710D)의 선형 원위 면(1715B)을 따라) 배향함으로써 달성된다. 따라서, 이러한 제1 동작 모드에서, 제1 축(1735A) 및 제2 축(1735C)을 생성하는 로봇 아암(1700)의 구조물은 이들 축이 원격 중심(1745)의 위치를 통과하도록 배향되는 한편, 원격 피치 축(1735C)은 소프트웨어 제약에 의해 한정되고 원격 중심(1745)을 통과하도록 공간 내에서 고정된다. 제1 모드에서의 사용 동안, 동력화된 조인트(1705A 내지 1705E)의 작동은 이들 3개의 축(1735A, 1735B, 1735C)이 원격 중심(1745)을 통과하는 상태로 유지되도록 제어된다. 따라서, 제1 모드에서, 로봇 아암(1700)은 RRRPP 직렬 체인 조작기로서 고려될 수 있으며, 이때 제1 R 축(1735A)은 원격 중심(1745)을 향해 지향되도록 구성되고, 최종 P 축은 삽입 축(1735B)에 평행하도록 구성되고, 소프트웨어-제한된 원격 피치 축(1735C)은 중간 RRP 조인트에 의해 형성되고, 여기서 로봇 아암(1700)은 축(1735A, 1735B, 1735C)이 사전-식별된 원격 중심 위치에서 서로 교차하도록 제어된다. 원격 중심 기하학적 구조(예컨대, 제1 동력화된 조인트(1705A)로부터 요 축(1735A)을 따른 그의 거리)는, 도 31a 및 도 31b와 관련하여 더 상세히 후술되는 바와 같이, 사용 동안 조절될 수 있다.
- [0136] 내시경 구성에서, 원격 중심에 관한 소프트웨어 제약이 제거되고, 동력화된 조인트(1705A 내지 1705E)가 대신에 가상 레일에 대해 동작된다. 가상 레일은 환자의 개구, 예를 들어 환자의 내부 내강 네트워크로 이어지는 자연 구멍과 정렬되는 공간 내의 선형 축으로서 고려될 수 있다. 일부 예에서, 추가 기구 드라이버(1720)가 내시경 모드에서 제4 링크장치(1710D)의 일 단부에 부착될 수 있다. 일부 예에서, 동력화된 조인트(1705A 내지 1705E)는 일련의 로봇 아암(1700)을 그들의 삽입 축이 가상 레일을 따라 정렬된 상태로 나란히 위치시키는 데 사용될 수 있다. 다양한 기구 드라이버 및/또는 아암의 삽입 축은 일치될 필요가 있지만, 기구 드라이버는 최대 작업공간을 제공하고/하거나 충돌을 회피하기 위해 가상 레일을 따라 이격될 수 있다.
- [0137] 일부 실시예에서, 기구 드라이버(1720)는, 일부 내시경술 절차의 경우, 상부-로딩(top-loading) 의료 기구를 갖는 것이 바람직하기 때문에, 제2 동력화된 조인트(1705E)에 대해 회전할 수 있다. 이는 기구 드라이버(1720)와 제2 동력화된 조인트(1705E) 사이에 회전 자유도를 추가함으로써 달성될 수 있다. 이러한 자유도는 능동형(active) 또는 수동형(passive) 셋업 조인트가 될 수 있다. 수동형 셋업 조인트는 예를 들어 기구 드라이버(1720)를 90도 증분으로 회전시키는 것을 용이하게 하기 위해, 디텐트(detent) 위치 또는 그것이 래칭될 수 있는 정수개의 위치를 포함할 수 있다.
- [0138] 로봇 아암(1700)은 능동형 또는 수동형 셋업 조인트에 의해 전달될 수 있다. 셋업 조인트가 능동형인 경우, 셋업 조인트는 원격 중심과의 축(1735A, 1735B, 1735C)의 교차를 유지하면서 수술중에 로봇 아암(1700)의 작업공간을 재위치시킬 수 있다. 셋업 조인트는 또한 제1 축(1735A)이 원격 중심을 통과하도록 제1 동력화된 조인트(1705A)를 재위치시킬 수 있다. 그러한 셋업 조인트를 사용하는 것의 하나의 이점은 이것이 일 세트의 빠른 축(예컨대, 제한된 작업공간으로 복강경술 절차를 수행하기에 적합한 성능을 가진 축)을 일 세트의 느린 축(예컨대, 복강경술 절차만을 수행하기에 적합하지 않지만 큰 작업공간을 가진 축) 상에 배치한다는 것이다. 이와 같이, 의료 기구(1725)를 빠른 축 상에 중심설정된 상태로 유지하기 위해 널-공간 이동을 수행하는 것이 가능하여, 로봇 아암(1700)이 큰 작업공간에 걸쳐 빠른 성능을 가질 수 있게 한다. 이러한 설계는 로봇 아암(1700)의 모션 범위와 여전히 복강경술 절차의 요건을 충족시키면서 크기를 최소화하는 것 사이의 로봇 아암(1700)에 대한 절충을 반영한다.
- [0139] 도 25는 도 1 내지 도 23에 도시된 시스템 및 구성요소와 함께 사용가능한 로봇 아암(1800)의 다른 예를 예시한다. 로봇 아암(1800)은 RRRRP 직렬 체인 조작기를 포함하고, 이때 그러한 조인트 라벨링은 최근위 조인트(1805A)에서 시작하여 로봇 아암을 따라 최원위 조인트(1805E)를 향해 직렬로 이동한다.
- [0140] 로봇 아암(1800)은 링크장치(1810A 내지 1810D)에 의해 직렬 방식으로 연결된 다수의 동력화된 조인트(1805A 내지 1805E)를 포함한다. 제1 링크장치(1810A)는 제1 동력화된 조인트(1805A)와 제3 동력화된 조인트(1805B)를 연결하고, 제2 링크장치(1810B)는 제3 동력화된 조인트(1805B)를 제4 동력화된 조인트(1805C)에 연결하고, 제3 링크장치(1810C)는 제4 동력화된 조인트(1805C)를 제5 동력화된 조인트(1805D)에 연결하고, 제4 링크장치(1810D)는 제5 동력화된 조인트(1805D)를 제2 동력화된 조인트(1805E)에 연결한다. 도 25의 실시예에서, 제2

링크장치(1810B)는 제1 링크장치(1810A)보다 짧아서, 제4 동력화된 조인트(1805C)는 전체 원 내에서 제3 동력화된 조인트(1805B)의 작동에 의해 회전될 수 있다. 예를 들어, 제4 동력화된 조인트(1805C)는 제2 링크장치(1810B)의 더 짧은 길이로 인해 제1 링크장치(1810A)의 제1 측부 상의 그의 예시된 위치로부터 제1 동력화된 조인트(1805A)를 지나 제1 링크장치(1810A)의 제2 측부로 회전될 수 있다. 그러한 이동 동안, 제4 조인트(1805C)는 제1 동력화된 조인트(1805A)와 제4 동력화된 조인트(1805C)로부터 원위에 위치한 구조물(예컨대, 제3 링크장치(1810C), 제5 동력화된 조인트(1805D), 제4 링크장치(1810D), 제2 동력화된 조인트(1805E), 기구 드라이버(1810), 및 의료 기구(1825)) 사이의 충돌을 방지하도록 작동될 수 있다.

[0141] (예컨대, 로봇 아암(1800)이 부착되는 로봇 시스템의 기부 또는 셋업 조인트에 가장 가까운) 로봇 아암의 근위 단부에 있는 제1 동력화된 조인트(1805A)는 요 축(1835A)을 중심으로 한 의료 기구(1825)의 회전 모션을 유발하는 회전형 조인트이다. (예컨대, 의료 기구(1825)에 가장 가까운) 로봇 아암의 원위 단부에 있는 제2 동력화된 조인트(1805E)는 제4 링크장치(1810D)의 원위 면(1815B)을 따라 선형으로 이동하는 직선형 조인트이다. 추가 동력화된 조인트(1805B, 1805C, 1805D)는 제1 동력화된 조인트와 제2 동력화된 조인트 사이에 직렬로 위치되고, 제1 동력화된 조인트(1805A)의 회전 평면에 직교하게 위치한 평면 내에서 각각 회전하는 회전형 조인트이다. 추가 동력화된 조인트(1805B, 1805C, 1805D)의 작동은 의료 기구(1825)가 피치 축(1835C)을 중심으로 회전하게 할 수 있다. 각각의 동력화된 조인트(1805A 내지 1805E)는, 로봇 아암(1700)에 대해 전송된 바와 같이, 모터, 위치 센서, 및 기어박스를 포함할 수 있다. 동력화된 조인트들(1805A 내지 1805E) 각각의 위치 센서로부터의 출력은 본 명세서에 기술된 동작 모드에서 로봇 아암(1800)의 작동을 제어하기 위해 사용될 수 있다.

[0142] 기구 드라이버(1820)가 의료 기구(1825)를 고정 및/또는 조작하기 위해 제2 동력화된 조인트(1805E)에 결합될 수 있다. 기구 드라이버(1820)는 일부 실시예에서 도 12와 관련하여 기술된 기구 드라이버일 수 있다. 제4 링크장치(1810D)의 원위 면(1815B)을 따른 제2 동력화된 조인트(1805E)의 이동 및/또는 추가 동력화된 조인트(1805A 내지 1805E)의 좌표 이동은, 단독으로 또는 하나 이상의 셋업 조인트와 함께, 삽입 축(1825B)을 따른 의료 기구(1825)의 선형 모션으로 변환될 수 있다. 기구 드라이버(1820)는 다른 자유도, 예를 들어 삽입 축(1825B)을 중심으로 한 의료 기구(1825)의 롤, 조향가능 의료 기구의 팁의 편향 등으로 의료 기구(1825)를 이동시킬 수 있다. 의료 기구(1825)는 임의의 내시경 또는 복강경 도구, 예를 들어 기관지경, 위내시경, 요관경, 결장경, 조향가능 카테터, 복강경, 그러한 스코프의 작업 채널 내에 위치한 도구(예컨대, 니들, 검자, 세포검사 브러시, 오거 등), 전기수술 가위, 및 개시된 절차에 사용되는 다른 의료 기구일 수 있다.

[0143] 일부 의료 절차에서, 기구(1825)는 예를 들어 환자의 신체 내에 개구를 형성하는 절개부 내에 위치한 캐놀러(1830) 내로 연장될 수 있다. 로봇 아암(1800)은 제4 링크장치(1810D)를 캐놀러(1830)에 결합할 수 있는 도크(1840)를 추가로 포함할 수 있다. 캐놀러(1830)는 도크에 스냅체결될 수 있고, 도크는 제4 링크장치(1810D)로부터 제거가능할 수 있다. 로봇 아암(1800)을 캐놀러(1830)에 고정식으로 결합하지 않는 것은 내시경술 절차로부터 복강경술 절차 아암으로 적응하는 것을 고려할 때 이점을 제공할 수 있지만, 제4 링크장치(1810D)와 캐놀러(1830)를 통과하는 삽입 축의 부분 사이의 근접성은 캐놀러를 유지하기 위한 도크(1840)를 제공하는 것을 가능하게 한다. 도크(1840)는 의료 기구 힘을 해결하고 의료 기구 교환을 위해 캐놀러를 의료 기구 축과 정렬된 상태로 유지하는 데 도움이 될 수 있다. 도크(1840)는 로봇 아암(1800)이 내시경술 절차를 위해 구성되어야 할 때를 위해 제거가능할 수 있고, 제4 링크장치(1810D)는 도크(1840)에 부착하기 위한 커플링, 추가 기구 드라이버, 또는 환자 삽입기와 같은 다른 유형의 부착물을 포함할 수 있다. 일부 의료 절차에서, 기구(1825)는 환자의 내장 네트워크 내에 개구를 형성하는 자연 구멍 내로 직접 연장될 수 있고, 따라서 캐놀러(1830)는 생략될 수 있다.

[0144] 축(1835A, 1835B, 1835C)의 특정한 도시된 위치는 로봇 아암(1800)의 위치설정에 따라 변경될 수 있으며, 이때 요 축(1835A)은 제1 동력화된 조인트(1805A)의 중심을 통해 연장되고, 삽입 축(1835B)은 제2 동력화된 조인트(1805E)에 결합된 기구 드라이버(1820)를 통해 연장된다. 다수의 조인트(1805A 내지 1805E)의 동시 작동은 동시에 다수의 축을 따라 또는 그를 중심으로 기구(1825)를 이동시킬 수 있다는 것이 인식될 것이다. 요 축(1835A)은 회전형 조인트(1805A)의 회전 축 및 의료 기구(1825)로 변환되는 모션의 동축 회전 축으로서 고려될 수 있다. 본 개시는 또한 요 축(1835A)을 "제1 축"으로서, 삽입 축(1835B)을 "제2 축"으로서, 그리고 피치 축(1825C)을 "제3 축"으로서 지칭한다.

[0145] 로봇 아암(1800)의 동력화된 조인트(1805A 내지 1805E)의 작동은 상이한 의료 절차에 대응하는 상이한 세트의 모션 제한에 기초하여 (콘솔(200)에서의 사용자 안내에 응답하여 또는 자동으로) 제어기(206)에 의해 프로그램 방식으로 제어될 수 있다. 복강경술 절차에 적합한 제1 모드에서, 로봇 아암(1700)에 대해 전송된 바와 같이, 로봇 아암(1800)은 제1 R 축(1835A)이 원격 중심(1845)을 통해 지향되고, 소프트웨어-한정된 원격 피치 축

(1835C)이 원격 중심(1845)을 통과하고, 삽입 축(1835B)이 원격 중심(1845)을 통해 지향되도록 소프트웨어-제한된 원격 중심 아키텍처를 통해 제어될 수 있다. 이러한 원격 중심 제약은 내시경술 절차에 적합한 제2 모드에서 로봇 아암(1800)을 동작시키기 위해 제거될 수 있고, 여기서 제2 모드에서 로봇 아암(1800)은 가상 레일에 대해 제어되어, 삽입 축(1835B)은 가상 레일과 동축으로 유지된다.

[0146] 도 24 및 도 25와 관련하여, 링크장치의 예시된 형상 및 크기가 변경될 수 있다는 것이 인식될 것이다. 예를 들어, 링크장치는 예시된 실시예의 변형에서 직선보다는 곡선형일 수 있고, 소정 링크장치는 연장되거나 단축될 수 있다.

[0147] 4. 예시적인 동작 모드의 개요

[0148] 도 26a는 제1 동작 모드(1900)에서 작동되기 시작하는 도 24의 로봇 아암(1700)을 도시한다. 제1 동작 모드(1900)는 복강경술 절차에 적합할 수 있다. 도 25의 로봇 아암(1800)은 제1 동작 모드에서 유사한 방식으로 동작될 수 있다. 도면의 명확성을 위해, 도 26a의 논의에서 구체적으로 참조되지 않는 도 24의 로봇 아암(1700)에 대해 도시된 소정 도면 부호는 도 26a로부터 생략되고, 로봇 아암(1700)의 구조와 관련된 도면 부호는 5가지 예시된 위치들(1905A 내지 1905E) 중 제1 위치(1905A)에만 제공된다.

[0149] 제1 동작 모드(1900)에서, 로봇 아암(1700)의 이동은 제1 축(1705A)이 원격 중심(1910)을 통해 지향되고 제2 축(1735B)이 또한 원격 중심(1910)을 통해 지향되도록 제어된다. 예시된 예에서, 소프트웨어-한정된 원격 피치 축(제3 축)은 원격 중심(1910)의 위치에서 도 26a의 페이지를 통해 연장된다.

[0150] 제1 동작 모드(1900)에서의 사용 동안, 로봇 아암(1700)은 제1 위치(1905A)와 최종 위치(1905E) 사이의 가능한 위치의 범위에 걸쳐 있는 다수의 상이한 위치(1905A 내지 1905E)(및 예시된 위치들 사이에서 중간에 위치된 다른 위치)에 위치될 수 있다. 각각의 위치에서, 동력화된 조인트(1705A)는 제1 축(1705A)이 원격 중심(1910)을 통해 지향되도록 배향된다. 또한, 각각의 위치에서, 동력화된 조인트(1705B 내지 1705D)의 작동은 제3 축이 원격 중심(1910)과 교차하도록 협력적으로 제어된다. 또한, 각각의 위치에서, 기구 드라이버(1720)는 제2 축(1735B)이 원격 중심(1910)을 통해 지향되도록 위치된다. 예시된 위치들(1905A 내지 1905E) 사이의 이동은 의료 기구(1725)를 원격 피치 축 및 원격 중심(1910)을 중심으로 회전시키기 위해 제3, 제4, 및 제5 동력화된 조인트(1705B 내지 1705D)를 제어함으로써 달성된다. 제1 동작 모드(1900)의 제약 하에서 로봇 아암(1700)을 제어하는 동안 다른 이동이 또한 가능하다.

[0151] 예시된 바와 같이, 제1 링크장치(1710A)의 위치 및 배향은 정지 상태로 유지될 수 있거나, 배향은 제1 축(1735A)을 중심으로 회전할 수 있는 반면 그의 위치는 정지 상태로 유지된다. 일부 실시예에서, 제1 링크장치(1710A)의 위치는 원격 중심(1910)과의 제1 축(1735A)의 교차를 유지하면서 셋업 조인트에 의해 변경될 수 있다. 제2, 제3, 및 제4 링크장치(1710B 내지 1710D)의 위치 및 배향은 제1 동작 모드(1900)의 제어 하에서 로봇 아암(1700)이 위치(1905A 내지 1905E)의 범위를 통해 원격 피치 축을 중심으로 회전됨에 따라 제1 동력화된 조인트(1705A)의 위치에 대해 그리고 서로에 대해 달라질 수 있다. 도 26b에 도시된 바와 같은 기구 드라이버(1720)가 캐놀러(1730)로부터 고정된 거리에 유지되지만, 다른 실시예에서 기구 드라이버(1720)와 캐놀러(1730) 사이의 거리는 환자의 신체 내의 의료 기구(1725)의 삽입 깊이를 조절하도록 변경될 수 있다.

[0152] 도 26b는 복강경술 절차를 위한 제1 모드(1900)에서 동작하기에 적합한 제1 구성(1950)에서의, 도 24에 도시된 바와 같은 다수의 로봇 아암을 포함하는 테이블-기반 로봇 시스템(1955)을 도시한다. 예시된 바와 같이, 4개의 로봇 아암(1700A 내지 1700D)은 각각 환자(1940)의 복부 내의 절개부(1945)에(또는 그 부근에) 위치된 원격 중심을 중심으로 회전하도록 의료 기구를 제어한다. 도면의 명확성을 위해, 도 26a의 논의에서 구체적으로 참조되지 않는 도 24의 로봇 아암(1700)에 대해 도시된 소정 도면 부호는 도 26a로부터 생략되고, 각각의 로봇 아암(1700A 내지 1700D)이 상이한 절개부(또는 그 부근에) 위치된 상이한 원격 중심에 대해 제어되지만, 단지 하나의 절개부(1945)가 라벨링된다. 대안적으로, 로봇 아암(1800)은 다른 실시예에서 로봇 아암들(1700) 중 하나, 일부, 또는 전부 대신에 사용될 수 있고, 테이블-기반 로봇 시스템(1950)은 4개보다 많거나 적은 로봇 아암을 포함할 수 있다.

[0153] 테이블-기반 로봇 시스템(1950)은 링크장치(1915)에 의해 직렬로 결합된 다수의 셋업 조인트(1920)를 각각 포함하는 4개의 셋업 아암(1960)을 포함한다. 셋업 아암(1960)의 셋업 조인트(1920)는 수동형, 능동형, 또는 혼합일 수 있다. 셋업 아암(1960)의 구성은 테이블-기반 로봇 시스템(1950)의 의도된 사용에 따라 변경될 수 있다. 각각의 셋업 아암(1960)은 로봇 아암들(1700A 내지 1700D) 중 하나에 부착되고, 따라서 대응하는 로봇 아암을 환자(1940)를 둘러싸는 공간 내에 위치시킨다.

- [0154] 예시된 실시예에서, 셋업 아암(1960)은 셋업 아암(1960)이 환자 테이블(1935) 아래로부터 나오도록 베드 아래에 위치한 칼럼(1930) 주위에 고정되는 캐리지(1925)에 부착된다. 칼럼(1930)은 3개의 캐리지(1925) 및 4개의 로봇 아암(1700A 내지 1700D)을 갖는 것으로 예시되며, 여기서 2개의 아암은 동일한 캐리지에 부착되고, 캐리지들 중 하나는 아암을 갖지 않을 수 있고 생략될 수 있다. 다른 실시예에서, 제3 캐리지는 추가 아암 또는 2개의 아암을 가질 수 있고, 캐리지 및 로봇 아암의 특정 구성은 시스템(1950)의 요건에 기초하여 수정될 수 있다. 또한, 개시된 로봇 아암은 예시된 바와 같은 테이블-기반 시스템으로 제한되지 않고, 다른 실시예에서 이동가능 카트 또는 천장-장착식 기부에 장착될 수 있다. 그들이 장착되는 방법에 관계없이, 다수의 아암(1700A 내지 1700D)을 포함하는 로봇 시스템(1950)은 동일한 시스템(1950)으로 복강경술 절차 및 내시경술 절차 둘 모두를 수행할 수 있는 이점을 유지한다.
- [0155] 제1 모드에서의 동작 동안, 다양한 물리적 구조물이 서로 충돌하거나 간섭되지 않도록, 단일 제어기(206) 또는 서로 통신하는 제어기의 그룹이 로봇 아암들(1700A 내지 1700D) 및 셋업 아암들(1960) 각각의 모션을 제어하기 위해 사용될 수 있다. 각각의 제어기(206)는 입력 제어부를 통한 사용자 안내, 조인트 위치 인코더로부터의 데이터, 저장된 모드-특정적 동작 제약, 및 로봇 아암(1700A 내지 1700D)의 구조물의 저장된 크기 파라미터에 기초하여 다양한 동작 모드에서 조인트 작동을 제어하기 위한 하나 이상의 프로세서 및 컴퓨터-실행가능 명령어로 구성된 연관 메모리를 포함할 수 있다. 따라서, 제어기(206)는 충돌을 방지하기 위해 특정 아암 또는 아암들의 모션 범위 또는 작업공간을 제한할 수 있다. 그러한 제한은 절차의 시작 시에 설정될 수 있거나, 다른 아암의 위치에 기초하여 절차 동안 동적으로 변경될 수 있다. 예시되지 않지만, 일부 실시예에서, 테이블-기반 로봇 시스템(1950)은 환자 주위의 의료진의 위치를 식별하고 의료진의 위치를 피하도록 로봇 아암(1700A 내지 1700D)을 제어하기 위해 테이블(1935) 주위에 위치되고 제어기(206)와 통신하는 하나 이상의 이미지 감지 장치를 포함할 수 있다. 제어기(206)는 테이블(1935), 칼럼(1930), 또는 제어 시스템(예를 들어, 콘솔 기부(201)) 내에 위치되거나, 이들 구조물들 사이에 분산될 수 있다.
- [0156] 도 27a는 제2 동작 모드(2000)로 구성된 도 24의 로봇 아암들 중 3개(1700A 내지 1700C)를 도시한다. 제2 동작 모드(2000)는 내시경술 절차에 적합할 수 있다. 도 25의 로봇 아암(1800)은 제2 동작 모드(2000)에서 유사한 방식으로 동작될 수 있다. 도면의 명확성을 위해, 도 27a의 논의에서 구체적으로 참조되지 않는 도 24의 로봇 아암(1700)에 대해 도시된 소정 도면 부호는 도 27a로부터 생략되고, 로봇 아암(1700)의 구조와 관련된 도면 부호는 제1 로봇 아암(1700A)에만 제공된다.
- [0157] 제2 동작 모드(2000)에서, 로봇 아암(1700A 내지 1700C)은 각각의 로봇 아암(1700A 내지 1700C)의 기구 드라이버(1720)를 통과하는 삽입 축(라벨링되지 않음)이 가상 레일(2005)과 동축이 되게 정렬되도록 위치된다. 로봇 아암(1700A 내지 1700C)은 추가로 특정 로봇 아암의 링크장치(1710A 내지 1710D), 조인트(1705A 내지 1705E), 또는 기구 드라이버(1720) 중 어느 것도 다른 로봇 아암의 기구 드라이버의 요구되는 모션 범위와 간섭되지 않도록 위치된다. 따라서, 로봇 아암(1700A 내지 1700C)은 내시경술 절차 동안 다수의 동축 의료 기구들 중 하나를 (기구 드라이버를 통해) 위치시키고 작동시키는 데 각각 사용될 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암(1700A)은 작업 채널을 갖는 기관지경을 위치시키고 작동시킬 수 있고, 로봇 아암(1700B)은 기관지경의 작업 채널 내로 그리고 잠재적으로 그것을 넘어 연장되는 카테터(조향가능 또는 비-조향가능)를 위치시키고 작동시킬 수 있으며, 로봇 아암(1700C)은, 카테터 내로 연장되고 그의 원위 단부에서 니들 또는 다른 의료 도구에 결합되는 도관을 위치시킬 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암(1700C)은 제2 동력화된 조인트(1705E), 제5 동력화된 조인트(1705D), 및/또는 동력화된 조인트(1705B 내지 1705E)의 조합을 (셋업 조인트 이동과 함께 또는 셋업 조인트 이동 없이) 작동시킴으로써 카테터에 대해 니들을 연장시키고 후퇴시킬 수 있다.
- [0158] 도 27b는 내시경술 절차에 적합한 제2 모드(2000)에서 동작하기 위해 도 27a에 도시된 바와 같이 구성된 로봇 아암(1700A 내지 1700C)을 포함하는 도 26b의 테이블-기반 로봇 시스템(1955)의 제2 구성(2050)을 도시한다. 제4 아암(1700D)은 컴팩트한 보관 구성(그의 일례가 아암(1800)에 대해 도 33에 예시됨)으로 접히고, 도 27b의 도면에서는 보이지 않는다. 로봇 아암(1700A 내지 1700C)은 각각의 로봇 아암(1700A 내지 1700C)의 삽입 축(1725B)과 동축인 것으로 도시된 가상 레일(2005)을 따라 동심 관내 의료 기구(1725A, 1725B, 1725C)를 위치시킨다. 가상 레일(2005)은 환자(1940)의 자연 구멍(2045)(입)과 정렬된다.
- [0159] 일부 의료 절차에서, 테이블-기반 로봇 시스템(1955)의 로봇 아암들(1700A 내지 1700D) 중 하나 또는 서브세트가 제1 모드(1900)에서 동작하고 로봇 아암들(1700A 내지 1700D)의 다른 것 또는 다른 서브세트가 제2 모드(2000)에서 동작하는 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, 일부 자궁경술 절차는 제1 모드(1900)에서 로봇 아암에 의해 제어될 수 있는, 절개부를 통해 신장으로 진입하는 제1 의료 기구뿐만 아니라, 제2 모드(2000)에서 로

봇 아암에 의해 제어될 수 있는, 요관을 통해 신장으로 관내로 통과되는 제2 의료 기구를 포함한다.

[0160] 도 28a 및 도 28b는 제4 동력화된 조인트(1705C)의 고정된 위치가 주어진, 도 24의 로봇 아암에 장착된 기구 드라이버(1720)에 대한 위치 옵션의 범위(Rext)를 도시한다. 예를 들어, 제4 동력화된 조인트(1705C)의 위치는 동축 삽입 축 및 소프트웨어-제한된 가상 레일 위치를 유지하기 위해 제2 동작 모드(2000)에서 고정될 수 있다. 범위(Rext)는 제4 링크장치(1710D)의 원위 면(1715B)을 따른 제2 동력화된 조인트(1705E)의 선형 이동 및 제4 링크장치(1710D)의 근위 면(1715A)을 따른 제5 동력화된 조인트(1705D)의 선형 이동으로부터 생성되는 "이중 삽입 축"에 의해 제공된다. 도 28a 및 도 28b는 범위(Rext)를 정확하게 도시하기 위해 제1 동력화된 조인트(1705A)가 축(2105)을 따라 정렬된 것으로 예시되어 있다.

[0161] 도 28a에서, 로봇 아암(1700)은 제2 동력화된 조인트(1705E) 및 기구 드라이버(1720)가 제4 링크장치(1710D)의 제1 단부에 위치되고 제5 동력화된 조인트(1705D)가 제4 링크장치(1710D)의 제2 단부에 위치되는 제1 구성(2100A)으로 위치되고, 제2 단부는 제1 단부 반대편에 있으며 근위 면 및 원위 면(1715A, 1715B)이 이들 사이에서 연장된다. 도 28b에서, 로봇 아암(1700)은 제2 동력화된 조인트(1705E) 및 기구 드라이버(1720)가 제4 링크장치(1710D)의 제2 단부에 위치되고 제5 동력화된 조인트(1705D)가 제4 링크장치(1710D)의 제1 단부에 위치되는 제2 구성(2100B)으로 위치된다. 예시된 바와 같이, 이는 예를 들어 제2 동작 모드(2000)에서의 로봇 아암(1700)의 동작 동안, 기구 드라이버(1720)가 단지 제5 및 제2 동력화된 조인트(1705D, 1705E)를 사용하여 이동될 수 있는 가능한 위치의 범위(Rext)를 제공한다. 기구 드라이버(1720)가 도 28a 및 도 28b에서 동일한 방향으로 향하는 것으로 도시되어 있지만, 기구 드라이버(1720)는 전체 도시된 범위(Rext)를 커버하기 위해 180도 회전될 수 있다. 따라서, 이중 삽입 축은, 그것이 (예를 들어, 도 25의 실시예에서와 같이) 로봇 아암의 원위 단부에서 단일 직선형 조인트를 사용하여 제공될 모션 범위의 길이의 2배인 삽입 모션 범위를 제공하기 때문에, 내시경술 절차에 대해 이점을 제공한다. 이러한 더 큰 모션 범위는 로봇 아암(1700)에 내시경술 절차에 있어서 더 큰 유연성을 제공한다.

[0162] 도 29a 내지 도 29d는 도 26a에 도시된 제1 모드(1900)에서 동작하도록 도 25의 로봇 아암을 설정하기 위한 셋업 프로세스(2200)의 일련의 예시적인 단계를 도시한다. 유사한 셋업 프로세스가 로봇 아암(1700) 및 다른 개시된 변형을 사용하여 구현될 수 있다.

[0163] 도 29a에 도시된 블록(2205)은 도크(1840)가 캐놀러(1830)에 결합되지 않은 로봇 아암(1800)을 도시한다. 공간에 떠 있는 것으로 도시되지만, 사용 중에 캐놀러(1830)는 환자의 신체 내로의 개구 내에 위치될 수 있다.

[0164] 도 29b에 도시된 블록(2210)에서, 로봇 아암(1800)의 도크(1840)는 캐놀러에 결합된다. 예를 들어, 동력화된 조인트(1705A 내지 1705E)는 사용자가 도크(1840)와 캐놀러(1830)를 연결하기 위해 로봇 아암(1800)을 수동으로 이동시킬 수 있도록 수동형 모드에서 동작될 수 있다. 로봇 아암(1800)의 제어기(206)는 예를 들어 도크(1840) 내의 센서 또는 기계식 버튼에 의해 또는 제어 시스템에서의 사용자 입력에 기초하여 캐놀러(1830)가 도킹될 때를 식별할 수 있다. 일단 도킹되면, 제어기(206)는 원격 중심(2225)의 위치를 캐놀러(1830)를 따른 또는 그 내의 지점으로서 식별할 수 있다. 이러한 위치는 캐놀러(1830)의 도킹된 부분과 원격 중심 사이의 사전-한정된 공간 관계에 기초하여, 개구 내로의 캐놀러의 삽입 깊이를 지정하는 사용자 입력에 기초하여 식별되거나, 자동으로 식별되고 이어서 사용자 입력에 의해 조절될 수 있다. 블록(2210)에서, 요 축(1835A)(제1 동력화된 조인트(1705A)의 회전 축)은 원격 중심(2225)과 아직 교차하지 않지만, 삽입 축(예시되지 않음)은 캐놀러(1830)의 도킹 및 도크(1840)의 기하학적 구조로 인해 원격 중심(2225)을 통과한다.

[0165] 도 29c에 도시된 블록(2215)에서, 제어기(206)는 원격 중심(2225)의 식별된 위치와 교차하도록 제1 축(1835A)을 위치시키기 위해 셋업 조인트(예컨대, 셋업 조인트(1920) 또는 그의 변형)를 작동시킬 수 있다. 동시에, 제어기(206)는 캐놀러(1830)의 고정된 위치 및 배향을 유지하기 위해 동력화된 조인트들(1705A 내지 1705E) 중 일부 또는 전부를 작동시킬 수 있다. 이와 같이, 블록(2215)에서의 로봇 아암(1800) 및 임의의 셋업 조인트의 작동은 삽입 축의 배향 및 원격 중심(2225)의 위치를 유지하는 널-공간 이동으로서 고려될 수 있다.

[0166] 도 29d에 도시된 블록(2220)에서, 기구 드라이버(1820)는 캐놀러(1830)를 통해 의료 기구(1825)를 삽입하기 위해 제4 링크장치(1810D)의 원위 표면(1815B)을 따라 작동된다. 블록(2220)은 본 명세서에 기술된 제1 모드(1900)에서 로봇 아암(1800)의 작동을 추가로 포함할 수 있다.

[0167] 셋업 프로세스(2200)는 로봇 아암 링크장치의 평행사변형(또는 가상 평행사변형) 구성을 유지하는 기계적 원격 중심을 갖는 기존 시스템에서의 셋업과 비교하여 이점을 제공한다. 그러한 기존 시스템에서, 사용자는 전체 아암을 캐놀러에 연결하기 위해 이동시킬 필요가 있으며, 이는 수동형 셋업 조인트로 달성된다. 이러한 기존 프

로세스에서의 몇 가지 문제는 사용자가 도킹 동안 이동을 유연하게 만들기 위해 많은 노력을 기울여야 하거나 다른 엔지니어링 및 설계 절충을 강요하는 대가로 사용자 노력이 최소화될 수 있고 아암의 높은 관성은 작은 조 절을 어렵게 한다는 것이다. 소프트웨어-기반 원격 중심 제약을 구현함으로써 아암의 "평행사변형"을 깨는 능력으로, 개시된 로봇 아암은 기술된 기존 시스템에 비해 추가 자유도를 가지며, 이러한 추가 자유도는 사용자가 캐놀러(1830)에 쉽게 도킹할 수 있게 한다. 제어기(206)는 이어서, 블록(2215)에 대해 전술된 바와 같이, 원격 중심 제약을 재구성하기 위해(그리고 요구되는 경우, 더 상세히 후술되는 바와 같이, 평행사변형을 생성하기 위해) 동력화된 조인트(1805A 내지 1805E)를 작동시킬 수 있다. 이는 요 축 지점이 원격 중심 위에 있고, 이어서 아암이 어드미턴스 모드에 있는 것에 의해 달성된다. 이어서 셋업 담당자는 캐놀러 부착을 위한 3 자유도의 위치설정 제어를 갖고 캐놀러를 도킹할 수 있다.

[0168] 도 30a 내지 도 30c는 도 26a에 도시된 제1 모드(1900)에서 도 25의 로봇 아암을 동작시키기 위한 상이한 서브-모드를 도시한다. 로봇 아암(1800)의 개방형 운동학적 체인이 평행사변형을 유지하기 위해 기계적으로 제한되지 않기 때문에, 제어기(206)는 요 축(1835A)을 따라 원격 중심(2225)으로부터 제3 동력화된 조인트(1810B)의 거리를 변경할 수 있고, 제1 모드(1900)에 대해 기술된 원격 중심 아키텍처 하에서 동작하는 동안 의료 기구(1825)의 필요한 이동을 달성하기 위해 동력화된 조인트(1805A 내지 1805E)를 작동시키는 데 필요한 운동학을 계산할 수 있다. 이는 추가 셋업 자유도를 달성하고, 이는 유리하게 셋업 조인트 시스템을 단순화할 수 있다. 이러한 추가 자유도의 절충은 피치 축을 중심으로 한 상대적으로 더 제한된 모션 범위 및 피치 모션에 대한 비선형 조인트 속도이고, 이는 이어서 동등한 피치 속도를 얻기 위해 로봇 아암(1800)의 설계에서 더 빠른 조인트의 요건을 부여한다. 이러한 비선형성은 설계 최적화 및 추가적인 작업공간 제한을 통해 최소화될 수 있다.

[0169] 도 30a는 로봇 아암(1800)의 구성이 평행사변형(2340A)을 형성하는 평행사변형 셋업(2300A)을 도시한다. 기하학적 용어에 의해 암시되는 바와 같이, 평행사변형(2340A)은 서로 동일한 길이의 제1 세트의 평행한 변들(2325, 2305A) 및 서로 동일한 길이의 제2 세트의 평행한 변들(2315, 2335A)을 갖는다. 변(2325)은 제5 동력화된 조인트(1805D)의 중심(2330)과 제4 동력화된 조인트(1805C)의 중심(2320) 사이에서 제3 링크장치(1810C)를 따라 한정된다. 변(2315)은 제4 동력화된 조인트(1805C)의 중심(2330)과 제3 동력화된 조인트(1805B)의 중심(2310) 사이에서 제2 링크장치(1810B)를 따라 한정된다. 변(2335A)은 제5 동력화된 조인트(1805D)의 중심(2330)과 원격 중심(2225) 사이에 한정된다. "가상 링크"로도 지칭되는 변(2305A)은 원격 중심(2225)과 제3 동력화된 조인트(1805B)의 중심(2310) 사이에 한정된다. 일부 실시예에서, 제어기(206)는 도 29c의 블록(2215)에서 평행사변형 셋업(2300A)으로 로봇 아암(1800)을 구성할 수 있다.

[0170] 도 30b는 평행사변형 셋업(2300A)에서의 가상 링크(2305A)보다 긴 가상 링크(2305B)를 갖는 개진 평행사변형 셋업(2300B)을 도시한다. 그러한 구성은 아암(1800)의 개방형 운동학적 체인 및 소프트웨어-제한된 원격 중심 아키텍처로 인해 달성될 수 있다. 개진 평행사변형 셋업(2300B)에서, 가상 링크(2305B)는 여전히 변(2325)에 평행하지만, 가상 링크(2305B)의 길이는 변(2325)의 길이보다 크다. 그 결과, 변들(2335B, 2315)은 평행하지 않고, 동일하지 않은 길이를 가질 수 있다. 따라서, "개진" 평행사변형(2340B)은 변(2325)보다 긴 가상 링크(2305B)를 갖도록 형성된다. 일부 실시예에서, 제어기(206)는 도 29c의 블록(2215)에서 개진 평행사변형 셋업(2300B)으로 로봇 아암(1800)을 구성할 수 있다. 일부 실시예에서, 제어기(206)는 동력식 셋업 조인트(powered setup joint)와 함께 동력화된 조인트들(1805A 내지 1805E) 중 적어도 일부를 작동시킴으로써 로봇 아암(1800)을 수술중에 평행사변형 셋업(2300A)과 개진 평행사변형 셋업(2300B) 사이에서 전환할 수 있다. 그러한 전환 동안, 원격 중심(2225)의 위치는 변경되지 않고 유지된다.

[0171] 도 30c는 평행사변형 셋업(2300A)에서의 가상 링크(2305A)보다 짧은 가상 링크(2305C)를 갖는 개진 평행사변형 셋업(2300C)을 도시한다. 그러한 구성은 아암(1800)의 개방형 운동학적 체인 및 소프트웨어-제한된 원격 중심 아키텍처로 인해 달성될 수 있다. 개진 평행사변형 셋업(2300C)에서, 가상 링크(2305C)는 여전히 변(2325)에 평행하지만, 가상 링크(2305C)의 길이는 변(2325)의 길이보다 짧다. 그 결과, 변들(2335C, 2315)은 평행하지 않고, 동일하지 않은 길이를 가질 수 있다. 따라서, "개진" 평행사변형(2340C)은 변(2325)보다 짧은 가상 링크(2305C)를 갖도록 형성된다. 일부 실시예에서, 제어기(206)는 도 29c의 블록(2215)에서 개진 평행사변형 셋업(2300C)으로 로봇 아암(1800)을 구성할 수 있다. 일부 실시예에서, 제어기(206)는 동력식 셋업 조인트와 함께 동력화된 조인트들(1805A 내지 1805E) 중 적어도 일부를 작동시킴으로써 로봇 아암(1800)을 수술중에 평행사변형 셋업(2300A) 또는 개진 평행사변형 셋업(2300B)과 개진 평행사변형 셋업(2300C) 사이에서 전환할 수 있다. 그러한 전환 동안, 원격 중심(2225)의 위치는 변경되지 않고 유지된다.

[0172] 도 31a 및 도 31b는 도 26a에 도시된 제1 모드(1900)에서 도 24의 로봇 아암(1700)을 동작시키기 위한 상이한 서브-모드를 도시한다. 제어기(206)는 제1 모드(1900)에서 동작하기 시작할 때 로봇 아암(1700)을 서브-모드들

(2400A, 2400B) 중 하나(또는 제1 동력화된 조인트(1705A)와 원격 중심 사이에 고정된 거리를 갖는 유사한 서브-모드)로 구성할 수 있거나, 동력식 셋업 조인트를 사용하여 로봇 아암(1700)을 수술중에 서브-모드들(2400A, 2400B) 사이에서 전환할 수 있다. 제1 동력화된 조인트(1705A)와 원격 중심 사이의 특정 거리는 예로서만 제공되고, 제1 동력화된 조인트(1705A)와 원격 중심은 사용 중에 제1 축(1735A)을 따라 임의의 기계적으로 가능한 거리만큼 떨어져 위치될 수 있다. 따라서, 로봇 아암(1700)의 개방형 운동학적 체인에 의해 가능하게 된 다른 널-공간 재구성은 제1 동력화된 조인트(1705A)와 원격 중심 사이의 거리를 수술중에 조절하는 것이다. 이를 수행함으로써, 로봇 시스템은 더 얇은 피치 각도에서 작업하는 능력으로 로봇 아암(1700)의 작업공간의 범위를 절충할 수 있다. 이는 로봇 아암(1700)이 예를 들어 다른 로봇 아암, 의료 장비, 또는 의료진과의 간섭 또는 충돌을 회피하도록 동작할 수 있는 제한된 공간이 있을 때 도움이 될 수 있다.

[0173] 도 31a 및 도 31b는 제1 동력화된 조인트(1705A)와 원격 중심 사이의 거리를 증가시킴으로 인한 모션 범위 및 최소 아암 각도에 대한 영향을 예시한다. 도 31a는 요 축(1735A)을 따라 제1 동력화된 조인트(1705A)로부터 제1 거리(D1)에 위치한 원격 중심(2405)을 갖는 로봇 아암(1700)의 제1 구성(2400A)을 도시한다. 제1 구성(2400A)에서, 로봇 아암(1700)은 100도 모션 범위(ROM1)를 가진 삽입 축(1735B)과 요 축(1735A) 사이에서 40도 최소 각도(α_1)를 갖는다. 도 31b는 요 축(1735A)을 따라 제1 동력화된 조인트(1705A)로부터 제2 거리(D2)에 위치한 원격 중심(2405)을 갖는 로봇 아암(1700)의 제2 구성(2400B)을 도시하며, 이때 제2 거리(D2)는 제1 거리(D1)보다 크다. 제2 구성(2400B)에서, 로봇 아암(1700)은 73도 모션 범위(ROM2)를 가진 삽입 축(1735B)과 요 축(1735A) 사이에서 25도 최소 각도(α_2)를 갖는다. 이는 로봇 아암(1700)이 장애물과 충돌하지 않고서 장애물, 예를 들어 다른 로봇 아암, 환자 베드 등에 더 가깝게 작업하는 데 도움이 될 수 있다. 거리(D1, D2)가 원격 중심(2405)과 동력화된 조인트(1705A)의 캡(cap) 사이에서 측정되는 것으로 도시되지만, 거리는 대안적으로 원격 중심(2405)과 제1 축(1735A)을 따라 위치한 아암(1700)의 임의의 구조, 예를 들어 회전 조인트(1705B)의 중심 사이에서 측정될 수 있다.

[0174] 도 32a 및 도 32b는 도 27a에 도시된 제2 모드(2000)에서의 동작 동안 도 25의 로봇 아암(1800)에 대한 제2 기구 드라이버(2510)의 추가를 도시한다. 예시된 바와 같이, 제2 기구 드라이버(2510)는 도크(1840) 대신에 제4 링크장치(1810D)의 도킹 포트에 고정되는 부착 부분(2525)을 포함한다. 제2 기구 드라이버(2510)의 추가는 로봇 아암(1800)이 제1 및 제2 동축 의료 기구(2505, 2515)를 제어할 수 있게 한다. 의료 기구(2505, 2515)의 시스템 삽입은 예를 들어 제1 의료 기구(2505)의 축을 따라 한정된 가상 레일에 대해 제어될 수 있다.

[0175] 도 32a에 도시된 바와 같이, 로봇 아암(1800)은 기구 드라이버(1820)가 제2 기구 드라이버(2510)로부터 가능한 한 멀리 제2 동력화된 조인트(1805E)에 의해 위치한 제1 구성(2500A)으로 위치될 수 있다. 도 32b에 도시된 바와 같이, 제2 동력화된 조인트(1805E)는 제2 기구 드라이버(2510)를 향해 기구 드라이버(1820)를 이동시키기 위해 제4 링크장치(1810D)의 원위 표면(1815B)을 따라 작동될 수 있다. 제2 구성(2400B)에서, 이러한 작동은 제1 의료 기구(2505)를 제2 의료 기구(2515)를 통해 그리고 구성(2500A)에서보다 제2 의료 기구(2515)의 단부(2520)를 더 멀리 넘어 전진시킨다. 제2 동력화된 조인트(1805E)는, 요구되는 경우 제1 및 제2 의료 기구(2505, 2515)의 상대 모션을 달성하기 위해, 기구 드라이버(1820)가 제2 기구 드라이버(2510)에 인접할 때까지 계속 작동될 수 있다.

[0176] 도 33은 보관 구성(2500C)에서의 도 25의 로봇 아암(1800)을 도시한다. 보관 구성(2500C)에서, 제1, 제2, 및 제3 링크장치(1810A 내지 1810C)는 제2 링크장치(1810B)가 제1 링크장치(1810A)와 제3 링크장치(1810C) 사이에 위치한 상태로 실질적으로 평행한 방식으로 스택(stack)으로 위치된다. 제4 링크장치(1810D)는 제3 링크장치(1810C) 상에 놓이고, 또한 다른 링크장치(1810A 내지 1810C)에 실질적으로 평행하다. 실질적으로 평행하다는 것은 제4 링크장치(1810D)의 근위 면이 제3 링크장치(1810C)에 대해 놓이고 제1, 제2, 및 제3 링크장치(1810A 내지 1810C)가 예시된 컴팩트한 스택으로 위치한 상태에서 가능한 한 컴팩트하게 아암을 접는 것을 지칭한다. 실제로 평행한 위치설정으로부터의 편차는 링크장치의 특정 형상에 의존하며, 이는 일부 실시예에서 예시된 형상으로부터 변경될 수 있다. 보관 구성(2500C)은 로봇 아암(1800)의 개방형 운동학적 체인으로 인해 가능하며, 이는 컴팩트한 보관을 제공하기 위해 제1 동작 모드 동안 사용되는 가상 링크의 깨짐을 허용한다. 이는 도 27b에 도시된 바와 같은 다중-아암 시스템에 유리할 수 있으며, 여기서 일부 아암은 특정 절차에서 사용되지 않고 나머지 아암 및 의료진에 방해가 되지 않도록 적재되어, 제한된 수술실 공간을 확보할 수 있다.

[0177] 본 명세서에 언급된 실시예에 더하여, 일부 실시예는 베드-기반 수술 로봇 플랫폼 상에서 복강경 수술을 수행하기 위한 로봇 아암 운동학적 레이아웃을 구현할 수 있다. 예를 들어, 본 명세서에 개시된 일부 실시예에 따르면, 현재 로봇 시스템이, 다른 것들 중에서도, 로봇 아암의 이용가능한 도달 범위, 로봇 아암의 잠재적 접근 및 조종성, 로봇 아암 및 지원 아키텍처의 강성, 및 시스템의 성능을 포함하는 소정 제한 및 문제에 계속 직면하는

것으로 인식된다. 또한, 본 명세서에 개시된 일부 실시예에 따르면, 소프트웨어-제한된 원격 모션 중심을 이용하는 로봇 시스템의 증가된 복잡성이 인식되고 인정된다. 실제로, 이들 및 다른 문제는 6개의 로봇 아암을 사용하는 로봇 시스템에서 특히 심각할 수 있다. 따라서, 본 명세서에 개시된 일부 실시예는 로봇 아암들을 위한 공통 장착 플랫폼, 로봇 셋업 조인트, 및 하드웨어-제한된 원격 모션 중심을 사용하는 원위 조작기 링크장치를 이용하는 로봇 시스템을 제공하기 위해 이들 및 다른 고려사항을 해결하도록 구성될 수 있다. 이들 및 다른 선택적인 특징은 개선된 강직성을 제공하고, 충돌을 감소시키고, 시스템의 로봇 아암의 조종성 및 위치설정을 증가시키도록 로봇 시스템에서 구현될 수 있다. 또한, 일부 실시예는 복잡성을 감소시키고, 신뢰성을 증가시키고, 시스템의 동작을 간소화하기 위해 시스템의 하나 이상의 로봇 아암에 대한 하드웨어-제한된 모션 중심을 선택적으로 구현할 수 있다.

[0178] 따라서, 이제 도 34 내지 도 37을 참조하면, 본 명세서에 개시된 실시예는 위에서 언급된 문제들 중 몇 가지를 극복하는 로봇 시스템을 제공하기 위해 특징들의 고유한 조합을 구현할 수 있다. 예를 들어, 도 34는 복강경술 절차에 적합한 마운트 플랫폼(2608)을 통해 (테이블(2607)을 갖는) 테이블 기부(2606)에 결합된 6개의 로봇 아암(2604)을 포함하는 테이블-기반 로봇 시스템(2602)을 갖는 수술 로봇 시스템(2600)을 예시한다. 예시된 바와 같이, 로봇 아암(2604)은 로봇 아암들(2604) 중 하나 이상이 그 상에 장착될 수 있는 바아 또는 레일로서 예시된 공유 마운트 플랫폼(2610) 상에 지지될 수 있다. 다른 실시예에서, 로봇 아암(2604)은 부착 부분을 통해 환자가 있는 테이블에 직접 결합될 수 있다. 예시된 예에서, 바아 또는 레일(2610)은 도 17 내지 도 23을 참조하여 전술된 것과 같은 바아 또는 레일 커넥터 및 캐리지에 의해 테이블 기부(2606)의 칼럼(2612)에 결합될 수 있다. 그러한 시스템의 이점들 중 하나는 공유 마운트 플랫폼(2610)이 다수의 아암(2604)이 지지되도록, 그리고 아암들(2604) 각각이 테이블 기부(2606)에 개별적으로 지지되거나 결합된 경우에 달리 가능할 것보다 구조가 훨씬 더 크고 더 강직성으로도 허용한다는 것이다. 그 결과, 그러한 실시예는 상당히 개선된 강직성, 정밀도, 및 동적 성능을 제공할 수 있다. 칼럼(2612)에 대한 마운트 플랫폼(2610)의 직접 장착은 마운트 플랫폼(2610)이 테이블(2607)에 직접 결합되는 대안적인 구성에 비해 구조적 이점을 제공할 수 있으며, 이는 그렇지 않을 경우 강성 경로가 다른 힘(예컨대 테이블(2607) 상에서 환자를 지지함으로써 생성된 정적 및 동적 힘)을 받을 수 있는 테이블(2607)의 조인트를 통과할 것을 요구한다. 또한, 공유 마운트 플랫폼(2610)은, 예컨대 로봇 아암(2604)이 높고 낮게 장착될 수 있게 함으로써, 상당한 셋업 유연성을 허용하고 달리 칼럼(2612)으로부터 멀리 이격된 위치에서 상당한 길이방향 병진 및 아암 위치설정을 허용하는 아키텍처를 제공할 수 있다.

[0179] 이제 도 35를 참조하면, 시스템(2600)은 로봇 아암들(2604) 중 하나 이상이 하드웨어-제한된 원격 모션 중심을 포함하도록 구성될 수 있다. 하드웨어-제한된 원격 모션 중심은 복강경 도구 모션의 자유도(DoF)를 그러한 모션만을 수행하는 단일 조인트 또는 조인트들의 세트의 모션으로 격리시킬 수 있는 임의의 메커니즘을 포함할 수 있다.

[0180] 예를 들어, 도 35에 도시된 로봇 아암(2604)은 요 축(2620A) 및 원격 모션 중심(2622)에 대한 도구 샤프트(2620)의 각도조절을 적어도 하나의 조인트 또는 조인트 세트에 격리시키도록 구성될 수 있다. 요 축(2620A) 및 원격 모션 중심(2622)에 대한 도구 샤프트(2620)의 요 모션은, 그의 요 축(2620A)이 원격 모션 중심(2622)으로 직접 지향되는 도구(2624)의 원위 요 조인트(2620B)에 의해 제공된다. 요 축(2620A)은, 그것을 따라 도구(2624)가 롤링할 수 있는(회전형) 그리고/또는 도구(2624)가 병진할 수 있는(기구 삽입 축, 직선형 모션을 통해) 축을 나타낸다. 요 축(2620A)이 원격 모션 중심(2622)에서 직선으로 지향되기 때문에, 요 축(2620A)에 대한 도구(2624)의 모션은 원격 모션 중심(2622)의 위치에 영향을 미치지 않으며, 따라서 도구(2624)의 모션은 격리된다.

[0181] 도 35에 도시된 운동학에서, 원격 모션 중심(2622)에 대한 도구 샤프트(2620)의 피치 모션은 원위 조작기 링크장치(2626)에 의해 제공된다. 원위 조작기 링크장치는 원격 모션 중심(2622)에 대해 관절운동할 수 있는 평행사변형 링크장치(2628)를 포함할 수 있다. 평행사변형 링크장치(2628)는 복수의 조인트를 포함할 수 있다. 예를 들어, 평행사변형 링크장치(2628)는 동력식 조인트 및/또는 수동형 조인트를 포함할 수 있다. 또한, 일부 실시예에서, 평행사변형 링크장치는 단일 동력식 조인트 및 2개의 수동형 조인트를 포함할 수 있다. "수동형 조인트"는 그의 회전이 밴드, 벨트, 체인, 링크, 및/또는 다른 수단으로 기계적으로 제한되는 조인트일 수 있다.

[0182] 일부 실시예에서, 원위 조작기 링크장치는 셋업 링크장치를 포함할 수 있다. 셋업 링크장치는 원위 조작기 링크장치의 자세 및 원격 모션 중심의 위치를 조작하도록 조절될 수 있다.

[0183] 예를 들어, 도 35에 예시된 실시예에서, 원위 조작기 링크장치(2626)는 셋업 링크장치(2631)의 원위 단부 부분

에 결합될 수 있는 요 링크(2630)를 포함할 수 있다. 원위 조작기 링크장치(2626)는 또한 피치 기부 링크(pitch base link)(2632), 제1 피치 링크(2634), 제2 피치 링크(2636), 및 스테이지 링크(stage link)(2638)를 포함할 수 있다. 요 링크(2630)는 제1 조인트(2639)에서 셋업 링크장치(2631)에 그리고 제2 조인트(2640)에서 피치 기부 링크(2632)에 회전가능하게 결합될 수 있다. 요 링크(2630)는 원격 모션 중심(2622) 및 제1 요 축(2620A)과 교차할 수 있는 제2 요 축(2630A)을 한정할 수 있다. 요 링크(2630)는 또한 기부 요 조인트(base yaw joint)(2630B)에서 피치 기부 링크(2632)에 회전가능하게 결합될 수 있다. 유리하게는, 셋업 링크장치/조인트 및 원위 조작기 링크장치/조인트는 원격 모션 중심을 유지하면서 독립적으로 그리고 함께 기부 요 조인트(2630B)를 재배향 및/또는 재위치시킬 수 있다. 이러한 능력은 RCM이 공간 내에서 고정되어 있는지 또는 특정 능동형 모션으로 이동되는지에 관계없이 이용가능하다. 피치 기부 링크(2632)는 제1 피치 조인트(2642)에서 제1 피치 링크(2634)에 회전가능하게 결합될 수 있다. 또한, 제1 피치 링크(2634)는 제2 피치 조인트(2644)에서 제2 피치 링크(2636)에 결합될 수 있다. 마지막으로, 제2 피치 링크(2636)는 제3 피치 조인트(2646)에서 스테이지 링크(2638)에 결합될 수 있다. 제1, 제2, 및 제3 피치 조인트(2642, 2644, 2646)는 제1 요 축(2620A) 및 제2 요 축(2620B)을 원격 모션 중심(2622)과 정렬되고 교차하는 상태로 유지하면서 평행사변형 링크장치(2628)가 도구 샤프트(2620)의 피치를 변경하도록 허용할 수 있다.

[0184] 선택적으로, 일부 실시예에서, 원위 조작기 링크장치(2626)는 이로써 하드웨어-제한된 원격 모션 중심을 제공할 수 있다. 추가적으로, 일부 실시예의 이점은 평행사변형 링크장치(2628)가 유리하게는 원위 조작기 링크장치(2626)가 더 좁은 환자측 동작 볼륨 내에서 동작하도록 허용하여 충돌 가능성을 감소시키는 (대안적인 아키텍처에 비해) 비교적 슬림한 프로파일을 제공할 수 있다는 것이다. 일부 실시예에 따르면, 일부 햅틱 입력 장치 상에서 사용되는 짐벌이 모든 그들의 축을 중앙의 원격 모션 중심을 향해 내향으로 지향시킴으로써 원격 중심에 대한 모션을 제공할 수 있지만; 짐벌은 또한 주어진 작업공간에 대해 상대적으로 더 큰 스윙된 모션을 갖고 더 큰 환자측 동작 볼륨 내에서 동작하여, 비교적 슬림한 평행사변형-유형 링크장치보다 더 큰 충돌 가능성을 가질 수 있는 것으로 인식된다.

[0185] 추가적으로, 도 35에 예시된 로봇 아암(2604)의 실시예는 셋업 링크장치(2631)가 제1 셋업 링크(2650) 및 제2 셋업 링크(2652)를 포함할 수 있음을 예시한다. 제1 셋업 링크(2650)는 제1 셋업 조인트(2654)에서 제2 셋업 링크(2652)에 회전가능하게 결합될 수 있다. 또한, 제2 셋업 링크(2652)는 제2 셋업 링크(2652)의 단부 부분이 제2 셋업 링크(2652)의 길이방향 축을 중심으로 회전하도록 허용하는 롤 조인트(2656)를 포함할 수 있다(즉, 롤 조인트(2656)는 셋업 링크(2652)의 길이방향 축에 대해 요 모션을 제공할 수 있음).

[0186] 도 36은 로봇 아암(2660)이 있는 추가 실시예를 예시한다. 로봇 아암(2660)은 도 35에 예시된 로봇 아암(2604)에 대해 위에서 논의된 모든 특징부 및 구성요소를 포함할 수 있다. 예를 들어, 로봇 아암(2660)은 셋업 링크장치(2662)를 포함할 수 있다. 그러나, 도 35에 도시된 로봇 아암(2604)과 대조적으로, 로봇 아암(2660)은 셋업 링크장치의 롤 조인트를 생략할 수 있다.

[0187] 또한, 도 36은 로봇 아암(2660)(또는 도 35에 예시된 것과 같은, 로봇 아암의 다른 그러한 실시예)이 직선형 조인트(2666)에서 바아(2664)와 같은, 마운트 플랫폼에 결합될 수 있음을 또한 예시한다.

[0188] 도 35 및 도 36은 일부 실시예에 따라, 시스템의 로봇 아암이 또한 로봇 셋업 링크장치 또는 조인트를 포함할 수 있음을 예시한다. 로봇 셋업 링크장치는 원위 조작기 링크장치의 자세 및 원격 모션 중심의 위치를 조작하도록 조절될 수 있다. 그러한 실시예에서, 용어 "로봇"은 조인트들 중 하나 이상이 페루프 제어로 동력화되고 제어되게 하는 것을 지칭할 수 있다. 로봇 조인트는 사용자에게 중력 평형을 동적으로 제공하는 능력, 로봇 아암이 (예컨대, 적재/적재해제와 같은) 스크립트된 모션을 제공하게 하는 능력, 및 재위치설정 모션을 수행하기 위해 셋업 링크장치에서 추가 또는 여유 조인트를 사용하는 능력(예컨대, 원위 조작기 링크장치의 기부가 원격 모션 중심과의 정렬을 유지하면서 이동될 수 있는 경우)과 같은, 수동형 브레이크식 조인트를 갖는 것에 비해 이점을 허용할 수 있고, 이는 이로써 접근을 개선하고/하거나 충돌을 감소시킬 수 있다.

[0189] 이제 도 37을 참조하면, 시스템의 로봇 아암에 대한 선택적인 수정이 추가 이득 및 이점을 달성하도록 구현될 수 있다. 예를 들어, 도 34 내지 도 36과 관련하여 위에서 논의된 특징에 더하여, 시스템의 로봇 아암(들)은 A0 조인트에 힘 센서를 포함한 상태에서, 접촉-감지 셀 및/또는 힘/토크 센서(예컨대, 6-DoF 토크 센서)를 생략하도록 구성될 수 있다. 선택적으로, 로봇 아암(2604, 2660) 내의 6개 이상의 모든 조인트는, 필요한 대로, 역-구동가능할 수 있고 다양한 임피던스 제어 하에 배치될 수 있다.

[0190] 일부 실시예에 따르면, 시스템의 로봇 아암(2604, 2660)은 (도 35의 조인트들(2639, 2630B 또는 2640) 중 하나와 같은) 원위 평행사변형에 근접한 조인트를 생략하도록 구성될 수 있다. 이는 (도 37에 라벨링된 바와 같은)

A0와 ADM 사이에 5-조인트 카운트를 갖는 로봇 아암을 생성할 수 있고, 이는 아암의 총 운동학적 체인 DoF 카운트를 8에서 7로 감소시킬 수 있다. 또한, 그러한 실시예는 또한 1 DoF에 의한 평행사변형의 셋업을 제한할 수 있지만, 전체 운동학적 체인에서 1 DoF의 널공간 여유를 여전히 보존할 수 있다.

[0191] 따라서, 일부 실시예는 다양한 서술된 장치에 비해 소정 이점을 실현하기 위해 도 34 내지 도 37에서 논의된 특징을 통합할 수 있다. 예를 들어, 일부 실시예에 따르면, 원위 조작기 링크장치는 조작기의 조인트에 대한 원격조작식 복강경 구동 동안 모션의 양을 제한하는 하드웨어-제한된 원격 모션 중심을 제공할 수 있으며, 이는 충격을 감소시키고 사용자에게 더욱 예측가능한 모션을 제공할 가능성을 갖는다(로봇 아암의 근위 부분은 원격조작식 모션 동안 이동할 필요가 없음). 시스템의 위치설정은 또한 높은 셋업 유연성 및 동적 성능을 위해 극히 안정하고 유연한 아암 지지를 제공할 수 있다. 로봇 셋업 조인트는 또한 수동형 브레이크식 셋업 조인트(예컨대, 워크플로우를 보조하기 위한 제한된 재위치설정 및 스크립트된 모션)에 의해 인에이블되지 않는 능력을 제공할 수 있다.

[0192] 5. 추가의 예시적인 유연한 운동학적 체인

[0193] 도 38은 본 개시의 다양한 모드(예컨대, 1900, 2000) 및 서브-모드(예컨대, 2200, 3200A 내지 2300C, 2400A 및 2400B)에서 동작되거나 다양한 구성(예컨대, 2500A 내지 2500C)에 위치될 수 있는 로봇 아암 및 그들의 운동학적 체인의 다양한 예를 보여주는 테이블(2700)을 도시한다. 다양한 예시된 아암은 또한, 예를 들어 테이블-기반, 카트-기반, 또는 천장-기반 로봇 시스템의 그러한 아암과 함께 사용하기에 적합할 수 있는 셋업 아암과 함께 도시된다. 테이블에 의해 예시된 바와 같이, 로봇 아암(2705)은 RRRRP 운동학적 체인의 일 실시예이고, 로봇 아암(2710)은 RRRRP 운동학적 체인의 다른 실시예이고, 로봇 아암(2715)은 RRRPP 운동학적 체인의 일 실시예이고, 로봇 아암(2720)은 RRRPP 운동학적 체인의 다른 실시예이고, 로봇 아암(2725)은 RRRPP 운동학적 체인의 다른 실시예이고, 로봇 아암(2730)은 RRPRP 운동학적 체인의 일 실시예이고, 로봇 아암(2735)은 RPRPP 운동학적 체인의 일 실시예이다. 이러한 로봇 아암들 각각은 본 명세서에 기술된 제1 동작 모드(1900) 및 제2 동작 모드(2000) 둘 모두에서 사용하기에 적합하다.

[0194] 운동학적 체인의 다른 구성이 또한 본 개시의 범주 내에서 가능하다. 예를 들어, 설계가 원격 중심을 통해 지향될 수 있는 회전 축을 갖는 로봇 아암의 근위 단부에서 회전형 조인트로 시작하고, 도구 삽입 축에 평행한 선형 이동 축을 갖는 로봇 아암의 원위 단부에서 직선형 조인트로 종료되는 경우, 설계는 유연한 R(XXX)P 운동학적 체인을 제공하고, 여기서 X는 본 명세서에 기술된 바와 같이 소프트웨어 제한된 원격 중심을 수행할 수 있는 일련의 조인트를 구성하기 위해 R 또는 P로 채워질 수 있다. 유연한 R(XXX)P 운동학적 체인을 충족시킬 수 있는 8가지 카테고리의 로봇 아암이 있다. 이들 중, R(PPP)P는 본 명세서에 기술된 바와 같이 원격 피치 축을 생성하기 위해 적어도 1 회전이 필요하기 때문에 제1 동작 모드에 적합하지 않다. 축들 각각이 배열되고 여전히 동일한 명칭을 가질 수 있는 다양한 방식이 있다. 예를 들어, R(RRP)P 로봇 아암(2715, 2720, 2725)에 대해, 마지막 2개의 직선형 축은 서로 평행하다. 그러나, 다른 실시예에서, 이들 축은 또한 서로 비스듬하게 있도록 구성될 수 있다.

[0195] 6. 동작 기법의 개요

[0196] 도 39는 도 24, 도 25, 및 도 33의 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)을 동작시키기 위한 예시적인 프로세스(2800)의 흐름도를 도시한다. 후술되는 바와 같이, 프로세스(2800)는 로봇 아암의 동력화된 조인트의 작동을 제어하는 컴퓨터-실행가능 명령어에 기초하여 제어기(206)에 의해 전체적으로 또는 부분적으로 구현될 수 있거나, 사람 조작자에 의해 부여된 일부 모션을 포함할 수 있다.

[0197] 블록(2805)에서, 제어기(206)는, 예를 들어 로봇 아암을 보관 구성(2500C)으로부터 꺼냄으로써 그리고/또는 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)을 환자 또는 환자 테이블 부근에 위치시키기 위해 동력식 셋업 조인트를 활성화함으로써, 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)을 개시할 수 있다.

[0198] 블록(2810)에서, 제어기(206)는 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)을 제1 동작 모드(1900) 또는 제2 동작 모드(2000)에서 동작시키기 위한 명령을 수신할 수 있다. 결정 블록(2815)에서, 제어기(206)는 명령을 인식하고 메모리로부터 적절한 동작 명령어를 검색할 수 있다.

[0199] 명령이 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)을 제1 동작 모드(1900)에서 동작시키는 것이라면, 프로세스(2800)는 셋업 프로세스를 실행하기 위해 블록(2820)으로 전환된다. 도 29a 내지 도 29d에 도시된 바와 같이, 셋업 절차는 (i) 제2 축이 환자의 개구와 정렬되고 원격 중심을 통과하도록 원격 중심의 위치를 고정하는 것, 및 (ii) 제2 축이 원격 중심을 통과하도록 제1 동작 모드에서 작동될 때 복수의 동력화된 조인트의 모션을 제한

하는 것을 포함할 수 있다. 원격 중심의 위치를 고정하는 것은 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)을 캐놀러에 도킹하고 캐놀러를 따른 또는 그 내의 지점으로서 위치를 식별하는 것에 기초하여 달성될 수 있다. 블록(2820)은 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)의 근위 회전형 조인트의 회전 축에 의해 한정된 요 축을 원격 중심과 정렬하고, 원격 중심을 통과하는 원격 피치 축을 생성하기 위한 하나 이상의 널 공간 이동을 포함할 수 있다.

[0200] 결정 블록(2825)에서, 제어기(206)는 도 30a 및 도 30b와 관련하여 기술된 바와 같이, 제1 동작 모드(1900)에서의 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)의 구성에서 평행사변형(또는 가상 평행사변형)을 유지할지 여부를 결정할 수 있다.

[0201] 그렇다면, 프로세스(2800)는 블록(2830)으로 전환되고, 여기서 제어기(206)는 원격 중심(2225)을 통과하는 가상 링크(2305A)를 갖는 평행사변형(2340A)을 형성하기 위해 널-공간 이동을 통해 로봇 아암(1800, 2705)을 구성하고 평행사변형(2340A)을 유지하기 위해 조인트의 작동을 제한한다.

[0202] 그렇지 않은 경우, 프로세스(2800)는 블록(2835)으로 전환되고, 여기서 제어기(206)는 깨진 평행사변형(2340B, 2340C)을 형성하도록 그리고 선택적으로 원격 중심(2225)의 위치를 유지하면서 다수의 상이한 깨진 평행사변형 형상들 사이에서 전환되도록 로봇 아암(1800, 2705)을 구성한다. 프로세스(2800)는 로봇 아암(1800, 2705)에 대한 작업공간 또는 모션 범위 요건이 변경되는 경우 블록들(2830, 2835) 중 어느 하나 이후에 수술중에 블록(2825)으로 루프백할 수 있다.

[0203] 평행사변형(또는 가상 평행사변형)을 형성할 수 없을 수 있는 로봇 아암(1700)과 같은 개시된 로봇 아암에 대해, 블록(2825 내지 2835)은 대신에 도 31a 및 도 31b와 관련하여 기술된 바와 같이, 제어기(206)가 원격 중심과 제1 동력화된 조인트(1705A) 사이의 요 축(1735A)을 따른 거리를 결정하는 것을 포함할 수 있다.

[0204] 명령이 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)을 제2 동작 모드(2000)에서 동작시키는 것이라면, 프로세스(2800)는 환자의 개구와 정렬될 때 제2 축의 위치설정에 기초하여 가상 레일의 위치설정을 식별하기 위해 블록(2840)으로 전환된다. 제2 축은 사용자가 로봇 아암(1700, 1800, 2705 내지 2735)을 수동으로 이동시키는 것에 의해, 명령 콘솔(200)을 통한 사용자 제어에 의해, 또는 제어기(206)에 의해 환자 개구와 정렬될 수 있다.

[0205] 블록(2850)에서, 제어기(206)는 가상 레일을 따른 의료 기구의 이동을 제어한다. 도 27b와 관련하여 기술된 바와 같이, 이는 가상 레일(2005)을 따른 다수의 로봇 아암(1700A 내지 1700C)에 의한 다수의 의료 기구(1725A 내지 1725C)의 이동을 제어하는 것을 포함할 수 있다. 도 32a 및 도 32b와 관련하여 기술된 바와 같이, 이는 단일 로봇 아암(1800)에 의한 다수의 의료 기구(2505, 2515)의 이동을 제어하는 것을 포함할 수 있다. 일부 실시예에서, 도 27b의 로봇 아암(1700A 내지 1700C)은 도 32a 및 도 32b에 도시된 바와 같이 추가 기구 드라이버로 구성될 수 있다. 일부 실시예에서, 프로세스(2800)는, 예를 들어 환자 이동이 가상 레일을 재위치시키는 것을 필요로 하는 경우, 블록(2840)으로 복귀할 수 있다.

[0206] 제1 모드(1900)에 대한 블록(2825 내지 2835) 또는 제2 모드(2000)에 대한 블록(2850)은 의료 절차의 지속기간 동안 계속될 수 있다. 블록(2855)에서, 제어기(206)는 로봇 시스템의 일부 또는 모든 로봇 아암에 대한 보관 명령을 수신한다. 따라서, 블록(2860)에서, 제어기(206)(또는 사용자)는 링크장치가 서로 실질적으로 평행하게 위치된 상태로 로봇 아암(1800)을 보관 구성(2500C)으로 위치시킬 수 있다. 다른 개시된 로봇 아암(1700, 2705 내지 2735)은 유사한 컴팩트한 보관 구성을 가질 수 있고, 수동으로 또는 제어기(206)에 의해 그러한 구성으로 위치되도록 제어될 수 있다.

[0207] 7. 항목으로서의 본 기술의 예시

[0208] 본 개시의 태양의 다양한 예는 편의를 위해 번호가 매겨진 항목(1, 2, 3 등)으로서 기술된다. 이들은 예시로서 제공되고, 본 기술을 제한하지 않는다. 도면 및 도면 부호의 식별은 단지 예로서 그리고 예시적인 목적으로 아래에 제공되고, 항목은 그러한 식별에 의해 제한되지 않는다.

[0209] 항목 1. 수술 로봇 시스템으로서, 칼럼 상에 지지된 테이블을 갖는 칼럼-기반 마운트 플랫폼; 및 테이블에 결합된 로봇 아암을 포함하고, 로봇 아암은 원격 모션 중심을 집합적으로 한정하는 셋업 조인트와 원위 조작기 링크장치를 포함하고, 셋업 조인트는 원위 조작기 링크장치의 자세 및 원격 모션 중심의 위치를 조작하도록 조절 가능하고, 원위 조작기 링크장치는 그에 결합된 도구의 모션의 자유도를 격리시켜 원격 모션 중심에 대해 도구를 관절운동시키도록 구성되는, 수술 로봇 시스템.

[0210] 항목 2. 항목 1에 있어서, 칼럼-기반 마운트 플랫폼은 기부 및 기부로부터 연장되는 칼럼을 추가로 포함하는,

수술 로봇 시스템.

- [0211] 항목 3. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 칼럼-기반 마운트 플랫폼은 칼럼에 결합된 쇼울더, 제1 회전 조인트에 의해 쇼울더에 결합된 제1 링크, 및 제2 회전 조인트에 의해 제1 링크에 결합된 제2 링크를 추가로 포함하는, 수술 로봇 시스템.
- [0212] 항목 4. 항목 3에 있어서, 칼럼-기반 마운트 플랫폼은 제2 링크에 결합된 조절가능 아암 지지부를 추가로 포함하고, 조절가능 아암 지지부는 그 상에 로봇 아암을 지지하도록 구성되는, 수술 로봇 시스템.
- [0213] 항목 5. 항목 4에 있어서, 조절가능 아암 지지부는 바아를 포함하는, 수술 로봇 시스템.
- [0214] 항목 6. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 원위 조작기 링크장치는 단일 조인트에서 도구의 모션을 제한하는, 수술 로봇 시스템.
- [0215] 항목 7. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 원위 조작기 링크장치는 조인트들의 세트에서 도구의 모션을 제한하는, 수술 로봇 시스템.
- [0216] 항목 8. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 로봇 아암은 셋업 조인트를 원위 조작기 링크장치에 결합하는 기부 요 조인트를 포함하고, 기부 요 조인트는 원격 모션 중심을 통해 연장되는 회전 축을 갖는, 수술 로봇 시스템.
- [0217] 항목 9. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 로봇 아암은 원격 모션 중심을 유지하면서 원위 조작기 링크장치를 재위치시킬 수 있는, 수술 로봇 시스템.
- [0218] 항목 10. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 로봇 아암의 원위 조작기 링크장치는 평행사변형 링크장치를 포함하는, 수술 로봇 시스템.
- [0219] 항목 11. 항목 10에 있어서, 평행사변형 링크장치는 원격 모션 중심에 대해 관절운동하도록 구성되는, 수술 로봇 시스템.
- [0220] 항목 12. 항목 10 또는 항목 11에 있어서, 평행사변형 링크장치는 하나의 동력식 조인트와 2개의 수동형 조인트들을 포함하는, 수술 로봇 시스템.
- [0221] 항목 13. 항목 12에 있어서, 수동형 조인트들의 회전은 리미터 메커니즘(limiter mechanism)에 의해 기계적으로 제한되는, 수술 로봇 시스템.
- [0222] 항목 14. 항목 13에 있어서, 리미터 메커니즘은 밴드, 벨트, 체인, 또는 링크를 포함하는, 수술 로봇 시스템.
- [0223] 항목 15. 항목 10 내지 항목 14 중 어느 한 항목에 있어서, 평행사변형 링크장치는 3개의 회전 조인트들에서 서로 회전가능하게 결합되는 4개의 링크들을 포함하고, 3개의 회전 조인트들은 1:1:1 비로 회전하도록 구성되는, 수술 로봇 시스템.
- [0224] 항목 16. 항목 15에 있어서, 4개의 링크들은 피치 기부 링크, 제1 피치 링크, 제2 피치 링크, 및 스테이지 링크를 포함하고, 피치 기부 링크는 제1 피치 조인트를 통해 제1 피치 링크에 결합되고, 제1 피치 링크는 제2 피치 조인트를 통해 제2 피치 링크에 결합되고, 제2 피치 링크는 제3 피치 조인트를 통해 스테이지 링크에 결합되는, 수술 로봇 시스템.
- [0225] 항목 17. 항목 16에 있어서, 스테이지 링크는 도구 드라이버를 지지하고, 도구 드라이버는 도구를 지지함으로써 원격 모션 중심에 대한 관절운동을 위해 구성되는, 수술 로봇 시스템.
- [0226] 항목 18. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 셋업 조인트는 마운트 플랫폼에 결합된 직선형 조인트를 포함하는, 수술 로봇 시스템.
- [0227] 항목 19. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 셋업 조인트는 회전가능하게 함께 결합되는 복수의 링크들을 포함하는, 수술 로봇 시스템.
- [0228] 항목 20. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 셋업 조인트는 롤 조인트를 포함하는, 수술 로봇 시스템.
- [0229] 항목 21. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 셋업 조인트는 로봇 셋업 조인트인, 수술 로봇 시스템.
- [0230] 항목 22. 항목 21에 있어서, 셋업 조인트는 동력화되는, 수술 로봇 시스템.
- [0231] 항목 23. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 원격 모션 중심은 하드웨어 제한되는, 수술 로봇 시스템.

- [0232] 항목 24. 선행 항목들 중 어느 한 항목에 있어서, 원격 모션 중심은 소프트웨어 제한되는, 수술 로봇 시스템.
- [0233] 항목 25. 수술 로봇 시스템의 테이블에 결합가능한 로봇 아암으로서, 원위 조작기 링크장치의 자세 및 테이블에 대한 원격 모션 중심의 위치를 조작하도록 조절가능한 로봇 셋업 조인트; 및 원격 모션 중심을 집합적으로 한정하도록 로봇 셋업 조인트에 결합된 원위 조작기 링크장치를 포함하고, 원위 조작기 링크장치는 그에 결합된 도구의 모션의 자유도를 격리시켜 원격 모션 중심에 대해 도구를 관절운동시키도록 구성되는, 로봇 아암.
- [0234] 항목 26. 항목 25에 있어서, 원위 조작기 링크장치는 단일 조인트에서 도구의 모션을 제한하는, 로봇 아암.
- [0235] 항목 27. 항목 25에 있어서, 원위 조작기 링크장치는 조인트들의 세트에서 도구의 모션을 제한하는, 로봇 아암.
- [0236] 항목 28. 항목 25 내지 항목 27 중 어느 한 항목에 있어서, 로봇 아암은 셋업 조인트를 원위 조작기 링크장치에 결합하는 기부 요 조인트를 포함하고, 기부 요 조인트는 원격 모션 중심을 통해 연장되는 회전 축을 갖는, 로봇 아암.
- [0237] 항목 29. 항목 25 내지 항목 28 중 어느 한 항목에 있어서, 로봇 아암의 원위 조작기 링크장치는 평행사변형 링크장치를 포함하는, 로봇 아암.
- [0238] 항목 30. 항목 29에 있어서, 평행사변형 링크장치는 원격 모션 중심에 대해 관절운동하도록 구성되는, 로봇 아암.
- [0239] 항목 31. 항목 29에 있어서, 평행사변형 링크장치는 하나의 동력식 조인트와 2개의 수동형 조인트들을 포함하는, 로봇 아암.
- [0240] 항목 32. 항목 31에 있어서, 수동형 조인트들의 회전은 리미터 메커니즘에 의해 기계적으로 제한되는, 로봇 아암.
- [0241] 항목 33. 항목 32에 있어서, 리미터 메커니즘은 밴드, 벨트, 체인, 또는 링크를 포함하는, 로봇 아암.
- [0242] 항목 34. 항목 29 내지 항목 33 중 어느 한 항목에 있어서, 평행사변형 링크장치는 3개의 회전 조인트들에서 서로 회전가능하게 결합되는 4개의 링크들을 포함하고, 3개의 회전 조인트들은 1:1:1 비로 회전하도록 구성되는, 로봇 아암.
- [0243] 항목 35. 항목 34에 있어서, 4개의 링크들은 피치 기부 링크, 제1 피치 링크, 제2 피치 링크, 및 스테이지 링크를 포함하고, 피치 기부 링크는 제1 피치 조인트를 통해 제1 피치 링크에 결합되고, 제1 피치 링크는 제2 피치 조인트를 통해 제2 피치 링크에 결합되고, 제2 피치 링크는 제3 피치 조인트를 통해 스테이지 링크에 결합되는, 로봇 아암.
- [0244] 항목 36. 항목 35에 있어서, 스테이지 링크는 도구 드라이버를 지지하고, 도구 드라이버는 도구를 지지함으로써 원격 모션 중심에 대한 관절운동을 위해 구성되는, 로봇 아암.
- [0245] 항목 37. 항목 25 내지 항목 36 중 어느 한 항목에 있어서, 셋업 조인트는 회전가능하게 함께 결합되는 복수의 링크들을 포함하는, 로봇 아암.
- [0246] 항목 38. 항목 25 내지 항목 37 중 어느 한 항목에 있어서, 셋업 조인트는 볼 조인트를 포함하는, 로봇 아암.
- [0247] 항목 39. 항목 25 내지 항목 38 중 어느 한 항목에 있어서, 셋업 조인트는 동력화되는, 로봇 아암.
- [0248] 항목 40. 항목 25 내지 항목 39 중 어느 한 항목에 있어서, 원격 모션 중심은 하드웨어 제한되는, 로봇 아암.
- [0249] 항목 41. 항목 25 내지 항목 40 중 어느 한 항목에 있어서, 원격 모션 중심은 소프트웨어 제한되는, 로봇 아암.
- [0250] 항목 42. 수술 방법으로서, 테이블에 결합되는 로봇 아암의 셋업 조인트를 셋업 위치에 위치시키기 위한 셋업 명령을 수신하는 단계; 셋업 명령에 응답하여, 셋업 조인트를 셋업 위치에 위치시키기 위해 로봇 아암의 셋업 조인트의 하나 이상의 동력화된 조인트들을 구동하는 단계; 원격 모션 중심에 대해 원위 조작기 링크장치를 위치시키기 위한 조절 명령을 수신하는 단계; 및 조절 명령에 응답하여, 로봇 아암의 원위 조작기 링크장치를 조절된 위치로 구동하는 단계를 포함하고, 원위 조작기 링크장치는 그에 결합된 도구의 모션의 자유도를 제한하고 원격 모션 중심에 대해 도구를 관절운동시키는, 방법.
- [0251] 항목 43. 항목 42에 있어서, 셋업 명령에 응답하여, 방법은 로봇 아암을 셋업 위치를 향해 이동시키기 위해 칼

럼-기반 마운트 플랫폼을 구동하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

- [0252] 항목 44. 항목 42 또는 항목 43에 있어서, 원위 조작기 링크장치를 구동하는 단계는 단일 조인트에서 도구의 관절운동을 제한하는 단계를 포함하는, 방법.
- [0253] 항목 45. 항목 42 내지 항목 44 중 어느 한 항목에 있어서, 원위 조작기 링크장치를 구동하는 단계는 조인트들의 세트에서 도구의 관절운동을 제한하는 단계를 포함하는, 방법.
- [0254] 항목 46. 항목 42 내지 항목 45 중 어느 한 항목에 있어서, 원위 조작기 링크장치를 구동하는 단계는 평행사변형 링크장치를 관절운동시키는 단계를 포함하는, 방법.
- [0255] 항목 47. 항목 46에 있어서, 원위 조작기 링크장치를 구동하는 단계는 3개의 회전 조인트들에서 서로 회전가능하게 결합되는 4개의 링크들을 갖는 평행사변형 링크장치를 관절운동시키는 단계를 포함하고, 3개의 회전 조인트들은 1:1:1 비로 구동되는, 방법.
- [0256] 항목 48. 항목 47에 있어서, 도구의 동작을 제어하기 위해 도구 드라이버를 관절운동시키는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0257] 항목 49. 항목 42 내지 항목 48 중 어느 한 항목에 있어서, 하드웨어를 통해 원격 모션 중심을 제한하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.
- [0258] 항목 50. 항목 42 내지 항목 49 중 어느 한 항목에 있어서, 소프트웨어를 통해 원격 모션 중심을 제한하는 단계를 추가로 포함하는, 방법.

[0259] 8. 추가 고려사항

- [0260] 일부 실시예에서, 본 명세서의 항목들 중 임의의 항목은 독립 항목들 중 임의의 하나 또는 종속 항목들 중 임의의 하나에 종속될 수 있다. 일 태양에서, 항목들(예컨대, 종속 또는 독립 항목들) 중 임의의 항목은 임의의 다른 하나 이상의 항목들(예컨대, 종속 또는 독립 항목들)과 조합될 수 있다. 일 태양에서, 청구항은 항목, 문장, 어구 또는 단락에서 인용된 단어들(예컨대, 단계들, 동작들, 수단들 또는 구성요소들) 중 일부 또는 전부를 포함할 수 있다. 일 태양에서, 청구항은 하나 이상의 항목들, 문장들, 어구들 또는 단락들에서 인용된 단어들 중 일부 또는 전부를 포함할 수 있다. 일 태양에서, 항목들, 문장들, 어구들 또는 단락들 각각의 단어들 중 일부는 제거될 수 있다. 일 태양에서, 추가 단어들 또는 요소들이 항목, 문장, 어구 또는 단락에 추가될 수 있다. 일 태양에서, 본 기술은 본 명세서에 기술된 구성요소들, 요소들, 기능들 또는 동작들 중 일부를 이용하지 않고 구현될 수 있다. 일 태양에서, 본 기술은 추가 구성요소들, 요소들, 기능들 또는 동작들을 이용하여 구현될 수 있다.
- [0261] 본 명세서에 개시된 구현에는 다양한 의료 절차를 수행하기 위해 의료-절차-특정적 소프트웨어-제어된 작동 제어들의 세트와 함께 다용도 개방형 운동학적 체인을 활용하는 전환가능 의료 로봇 시스템을 위한 시스템, 방법 및 장치를 제공한다.
- [0262] 본 명세서에 사용되는 바와 같은 용어 "결합하다", "결합하는", "결합된" 또는 단어 결합하의 다른 변형은 간접적인 연결 또는 직접적인 연결을 나타낼 수 있다는 것에 유의하여야 한다. 예를 들어, 제1 구성요소가 제2 구성요소에 "결합된" 경우, 제1 구성요소는 다른 구성요소를 통해 제2 구성요소에 간접적으로 연결되거나 제2 구성요소에 직접적으로 연결될 수 있다.
- [0263] 개시된 동작 모드에 따라 본 명세서에 기술된 로봇 아암의 작동을 제어하기 위한 다양한 기능은 프로세서-관독가능 또는 컴퓨터-관독가능 매체 상에 하나 이상의 명령어로서 저장될 수 있다. 용어 "컴퓨터-관독가능 매체"는 컴퓨터 또는 프로세서에 의해 액세스될 수 있는 임의의 이용가능한 매체를 지칭한다. 제한이 아닌 예로서, 그러한 매체는 RAM, ROM, EEPROM, 플래시 메모리, CD-ROM 또는 다른 광학 디스크 저장 장치, 자기 디스크 저장 장치 또는 다른 자기 저장 장치, 또는 명령어 또는 데이터 구조의 형태로 원하는 프로그램 코드를 저장하는 데 사용될 수 있고 컴퓨터에 의해 액세스될 수 있는 임의의 다른 매체를 포함할 수 있다. 컴퓨터-관독가능 매체는 유형적이고 비-일시적일 수 있음에 유의하여야 한다. 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 용어 "코드"는 컴퓨팅 장치 또는 프로세서에 의해 실행가능한 소프트웨어, 명령어, 코드 또는 데이터를 지칭할 수 있다.
- [0264] 본 명세서에 개시된 방법은 기술된 방법을 달성하기 위한 하나 이상의 단계 또는 동작을 포함한다. 방법 단계 및/또는 동작은 청구범위의 범주로부터 벗어남이 없이 서로 교환될 수 있다. 다시 말하면, 기술되는 방법의 적절한 동작을 위해 특정 순서의 단계 또는 동작이 요구되지 않는 한, 특정 단계 및/또는 동작의 순서 및/또는 사

용은 청구범위의 범주로부터 벗어남이 없이 수정될 수 있다.

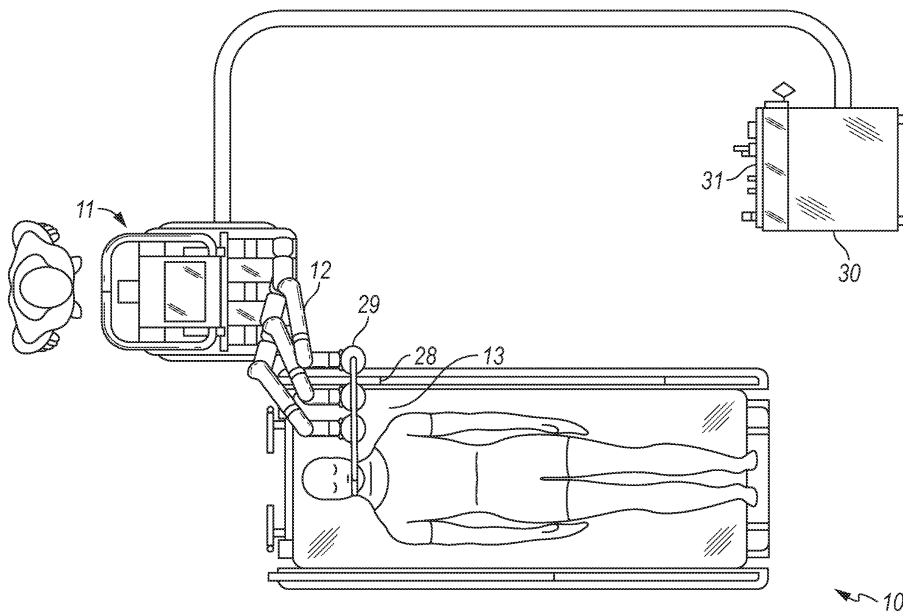
[0265] 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 용어 "복수"는 2개 이상을 나타낸다. 예를 들어, 복수의 구성요소는 2개 이상의 구성요소를 나타낸다. 용어 "결정하는"은 매우 다양한 동작을 포함하며, 따라서 "결정하는"은 계산, 컴퓨팅, 처리, 도출, 조사, 검색(예컨대, 테이블, 데이터베이스 또는 다른 데이터 구조에서의 검색), 확인 등을 포함할 수 있다. 또한, "결정하는"은 수신(예컨대, 정보를 수신함), 액세스(예컨대, 메모리의 데이터에 액세스함) 등을 포함할 수 있다. 또한, "결정하는"은 해석, 선택, 선정, 설정 등을 포함할 수 있다.

[0266] 어구 "~에 기초한"은, 달리 명백히 명시되지 않는 한, "단지 ~에 기초한"을 의미하지는 않는다. 다시 말하면, 어구 "~에 기초한"은 "단지 ~에 기초한" 및 "적어도 ~에 기초한" 둘 모두를 기술한다.

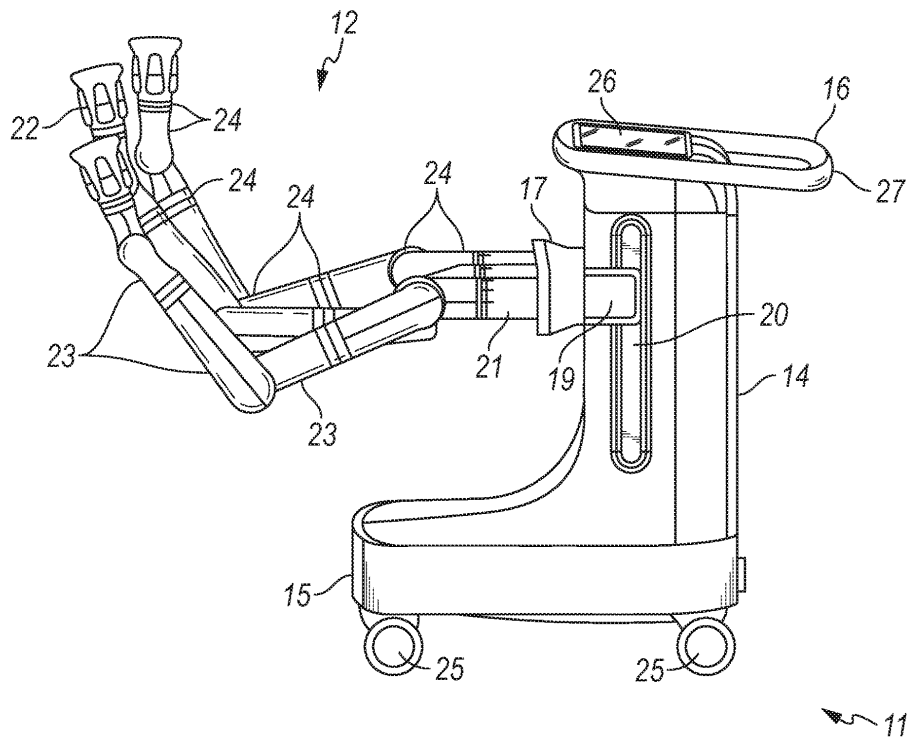
[0267] 개시된 구현예의 이전의 설명은 당업자가 본 발명을 제조하거나 사용하는 것을 가능하게 하도록 제공된다. 이들 구현예에 대한 다양한 수정은 당업자에게 용이하게 명백해질 것이고, 본 명세서에서 정의된 일반적인 원리는 본 발명의 범주로부터 벗어남이 없이 다른 구현예에 적용될 수 있다. 예를 들어, 당업자가 다수의 대응하는 대안적인 그리고 동등한 구조적 상세사항, 예컨대 도구 구성요소를 체결, 장착, 결합, 또는 맞물리게 하는 동등한 방식, 특정 작동 모션을 생성하기 위한 동등한 메커니즘, 및 전기 에너지를 전달하기 위한 동등한 메커니즘을 채용할 수 있을 것임이 인식될 것이다. 따라서, 본 발명은 본 명세서에 도시된 구현예로 제한되도록 의도되는 것이 아니라, 본 명세서에 개시된 원리 및 신규한 특징과 일치하는 가장 넓은 범주에 따른다.

도면

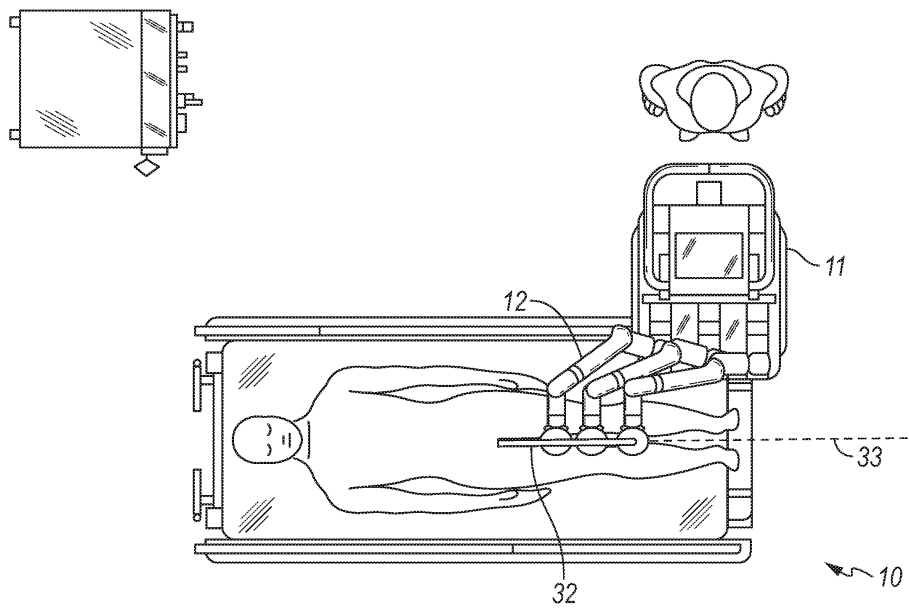
도면1



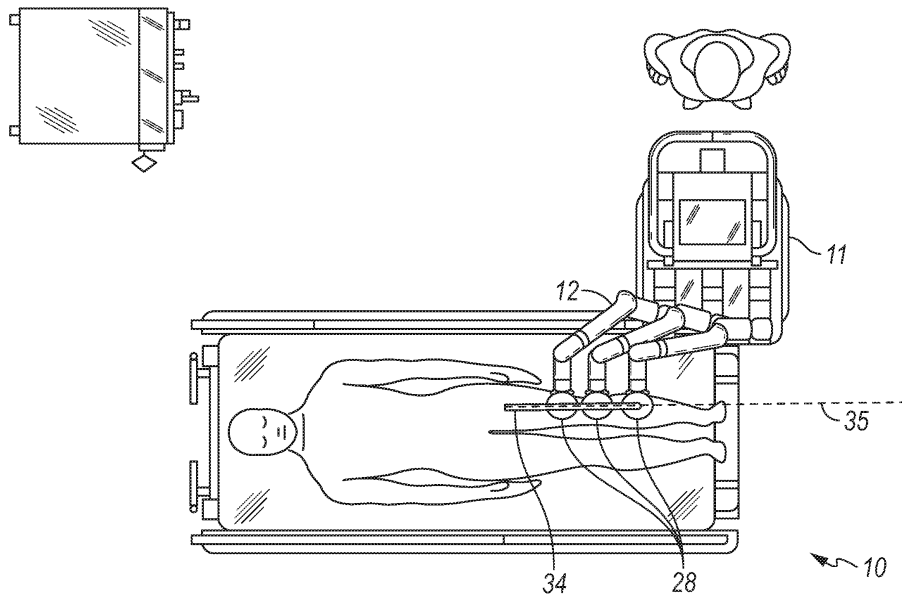
도면2



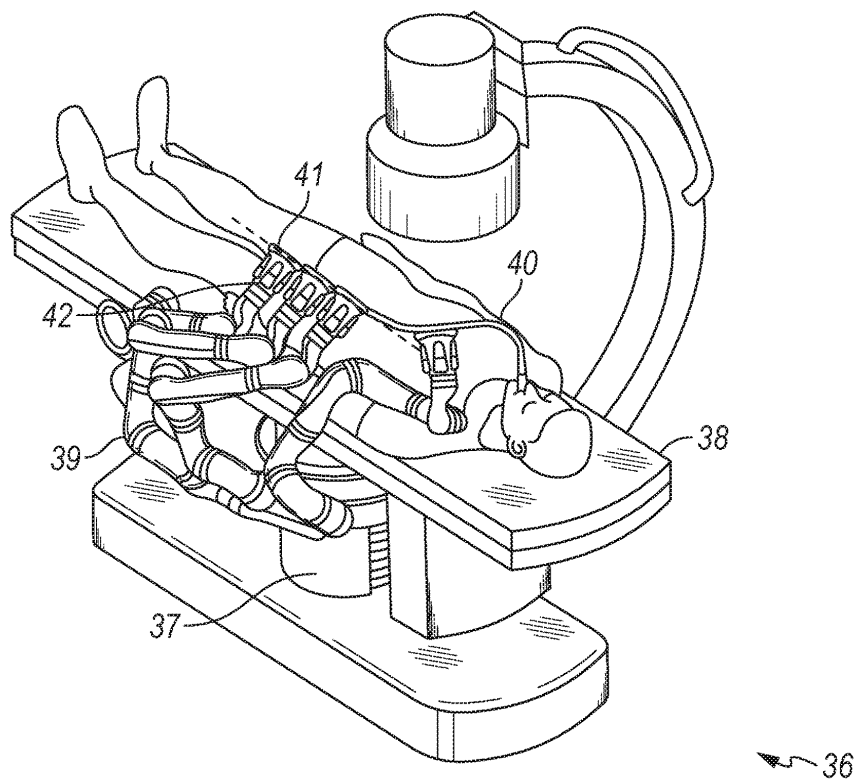
도면3



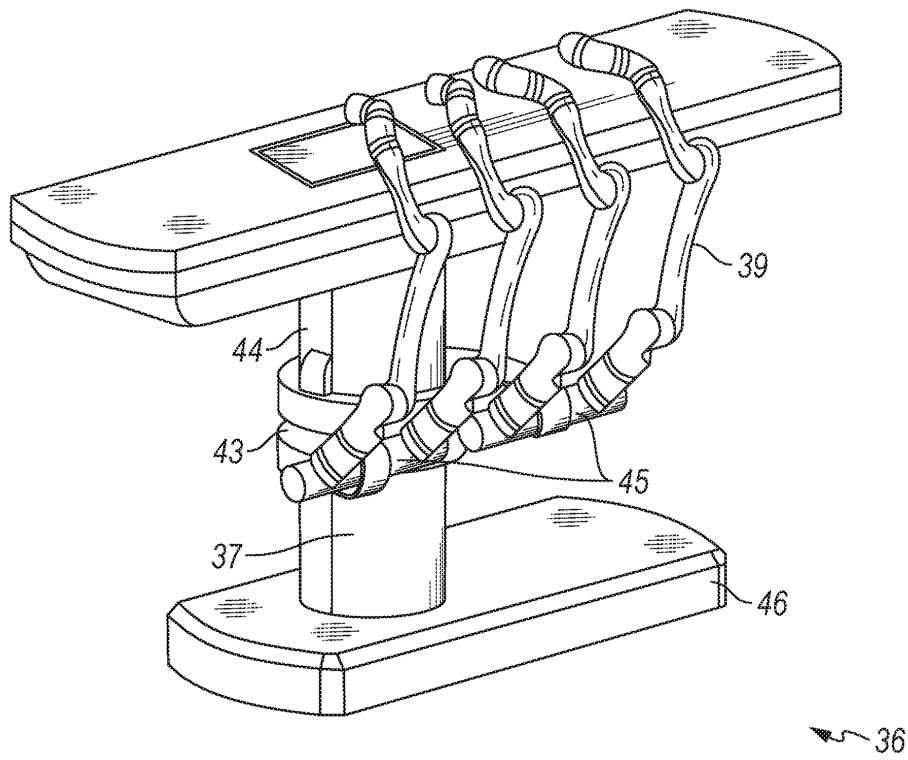
도면4



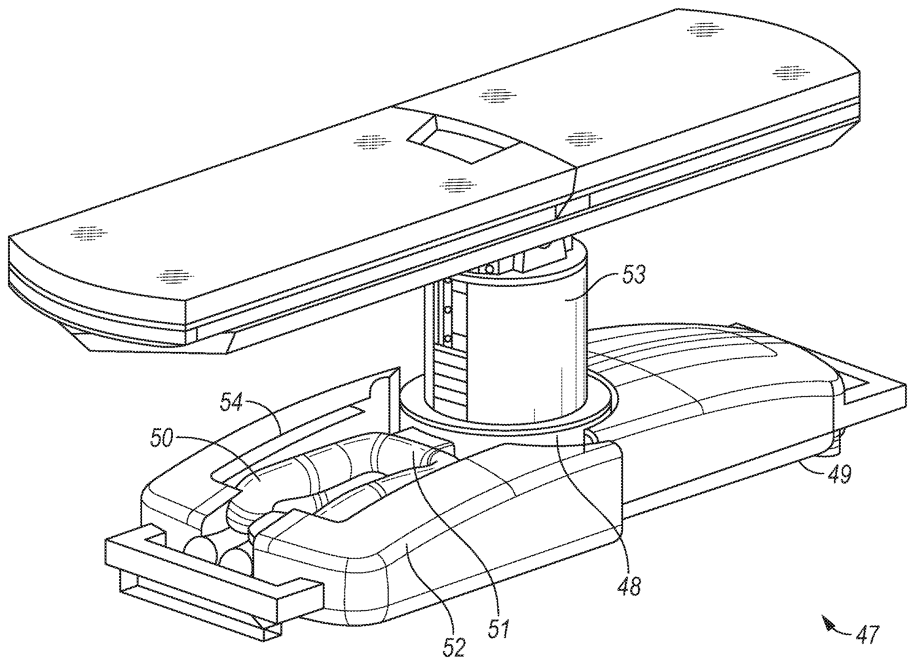
도면5



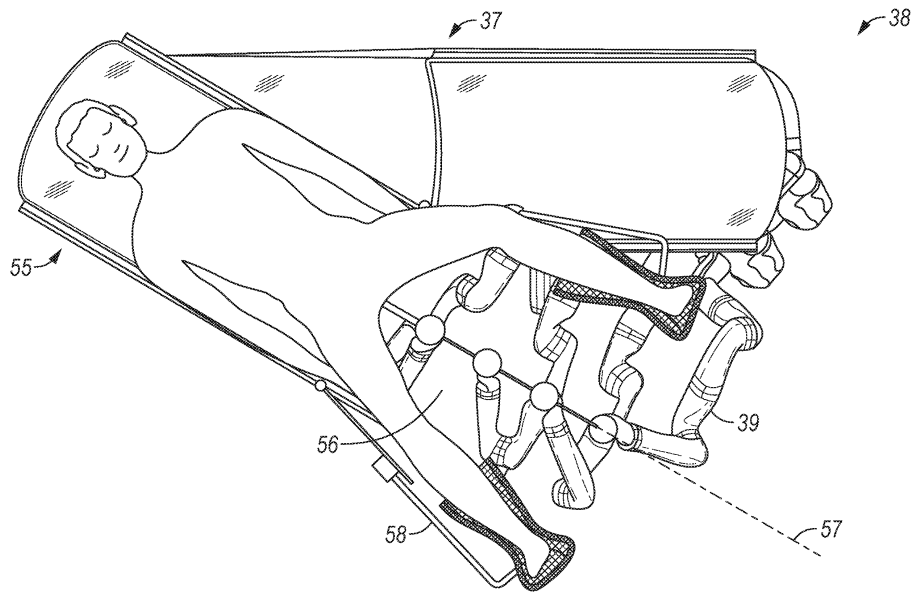
도면6



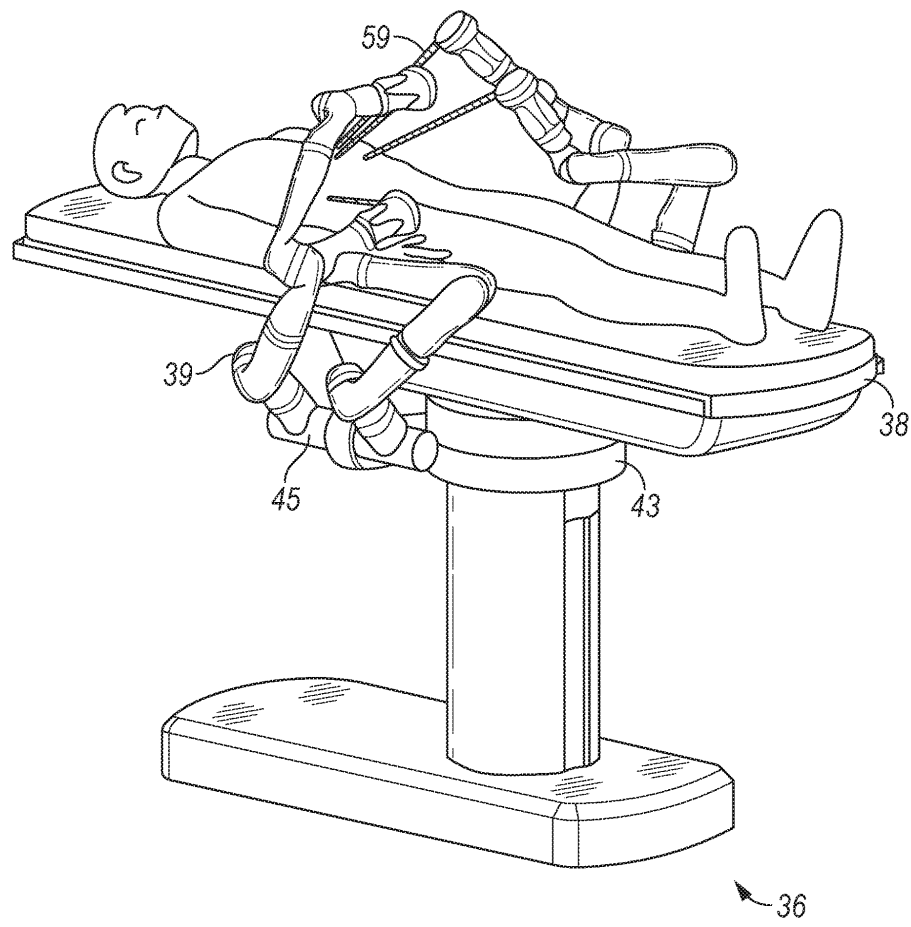
도면7



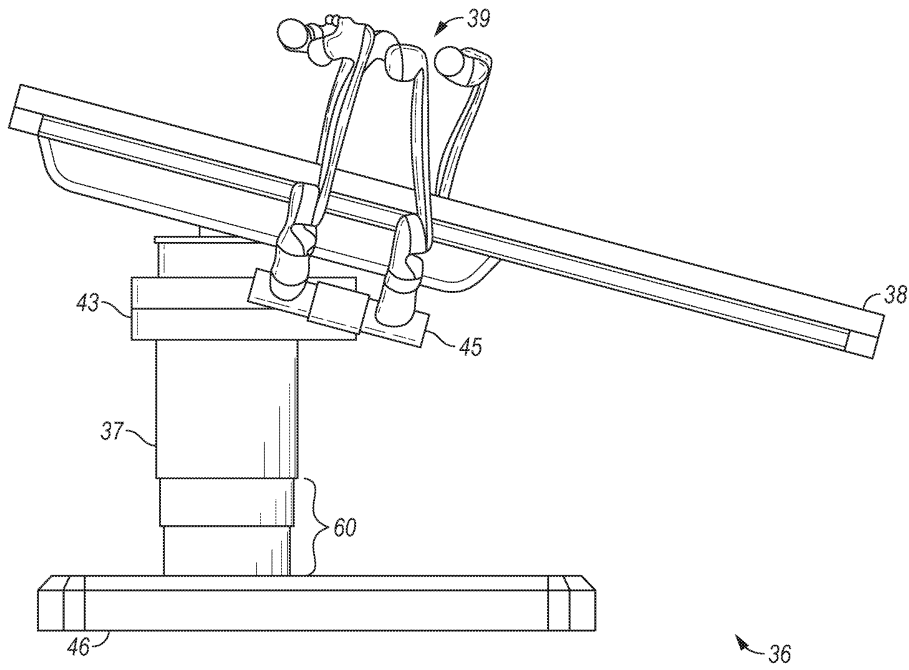
도면8



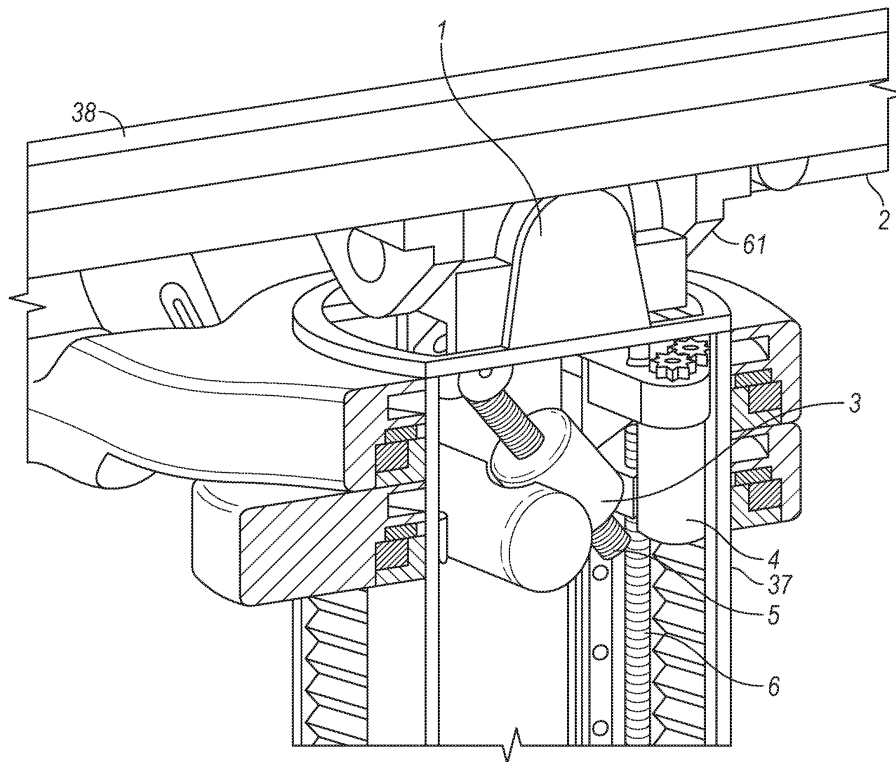
도면9



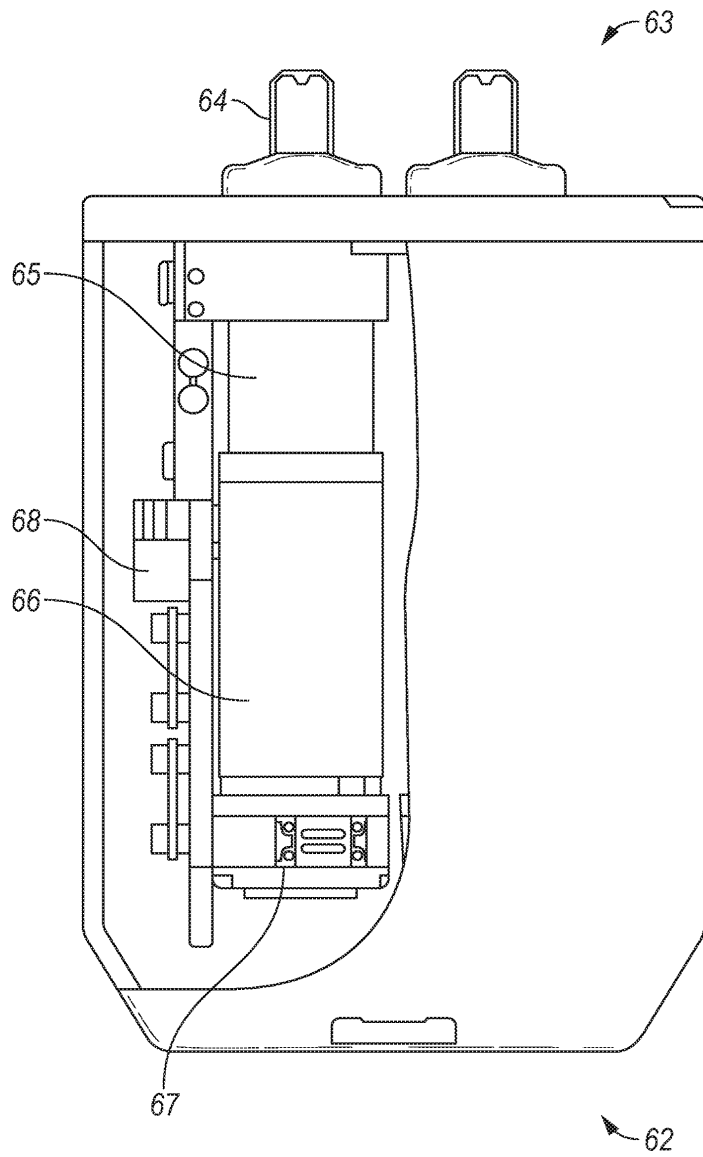
도면10



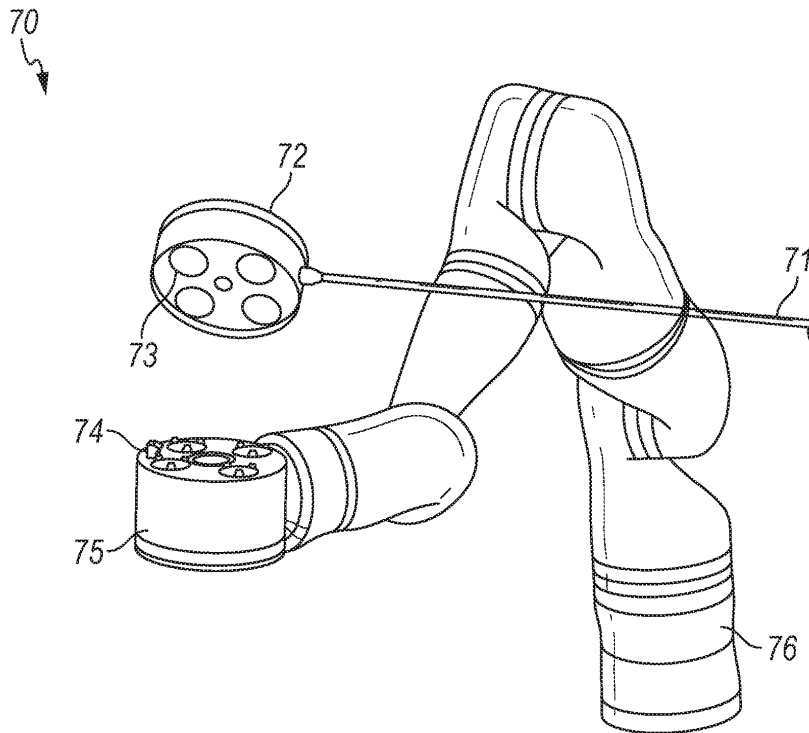
도면11



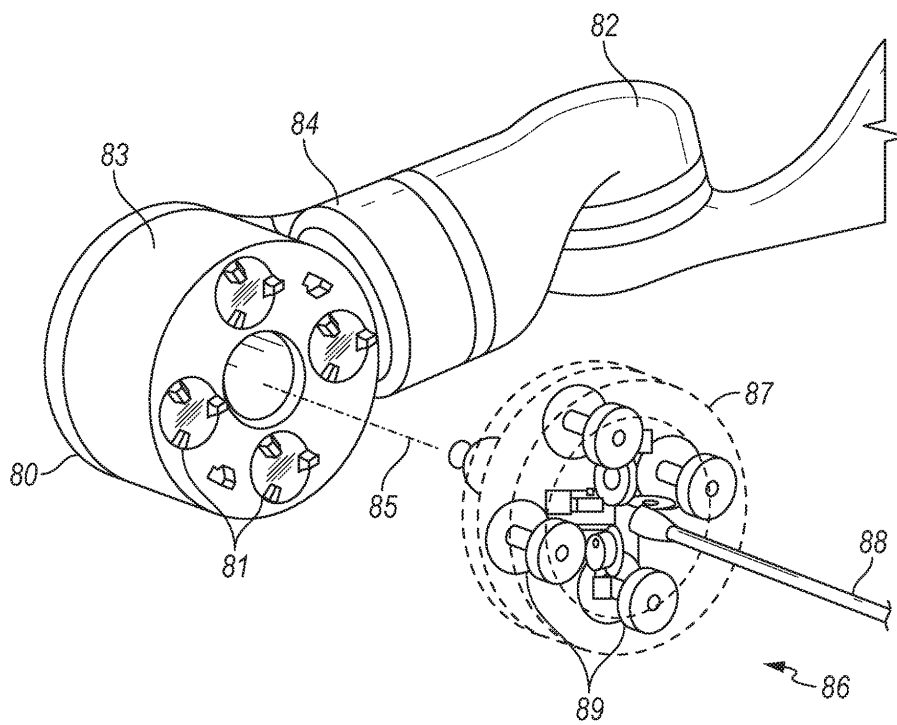
도면12



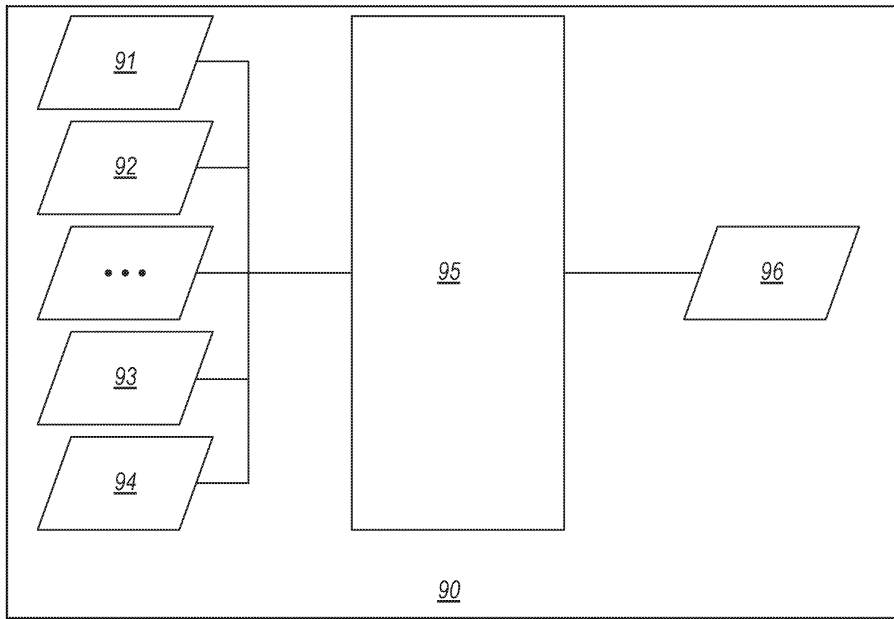
도면13



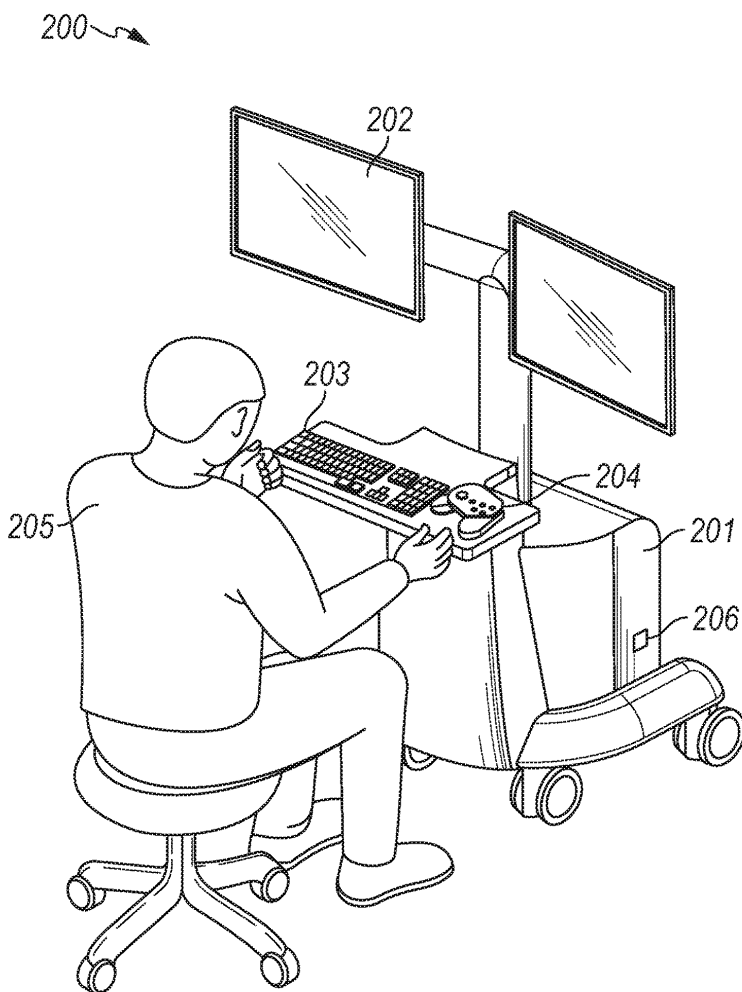
도면14



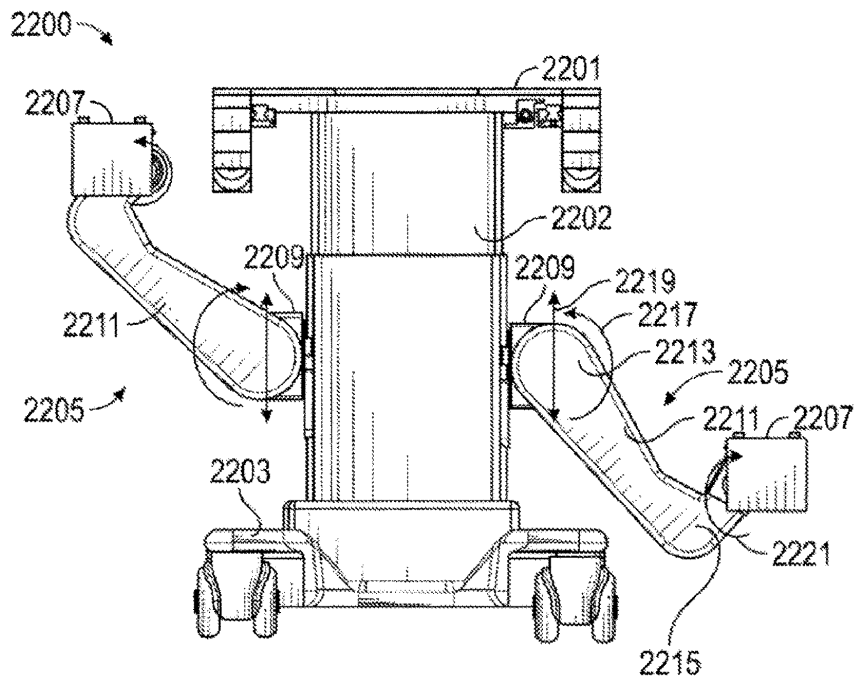
도면15



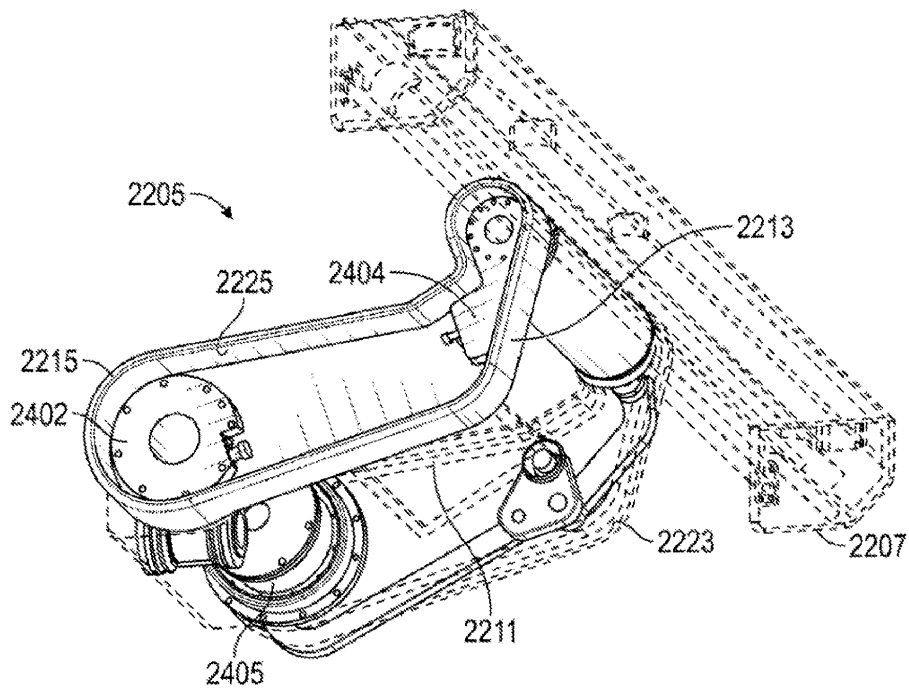
도면16



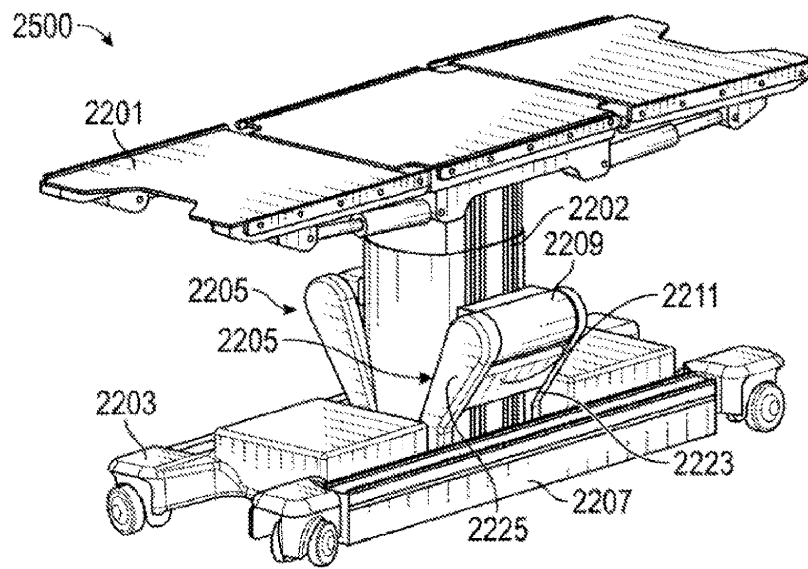
도면17



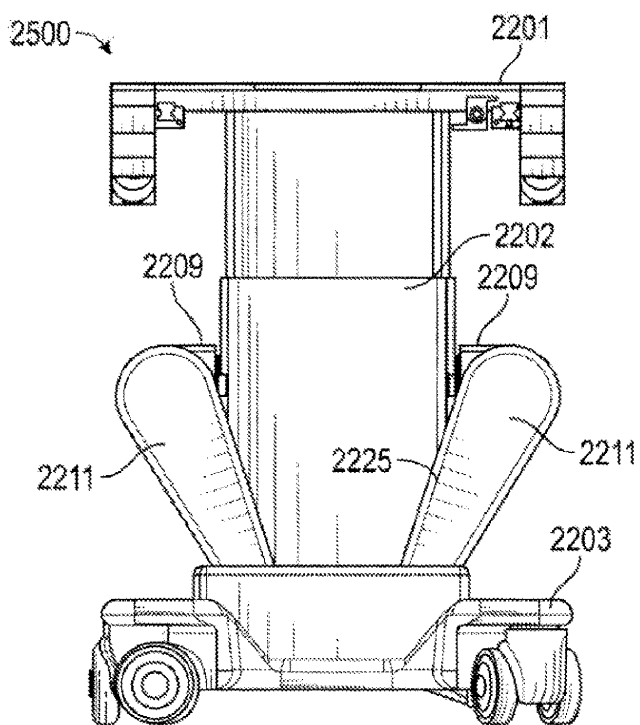
도면18



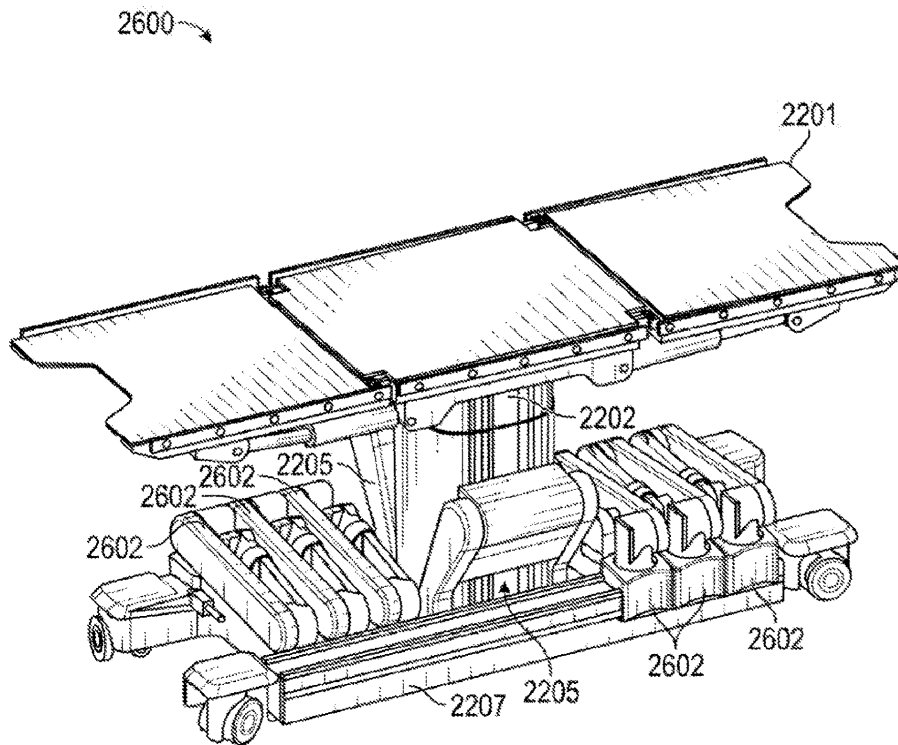
도면19a



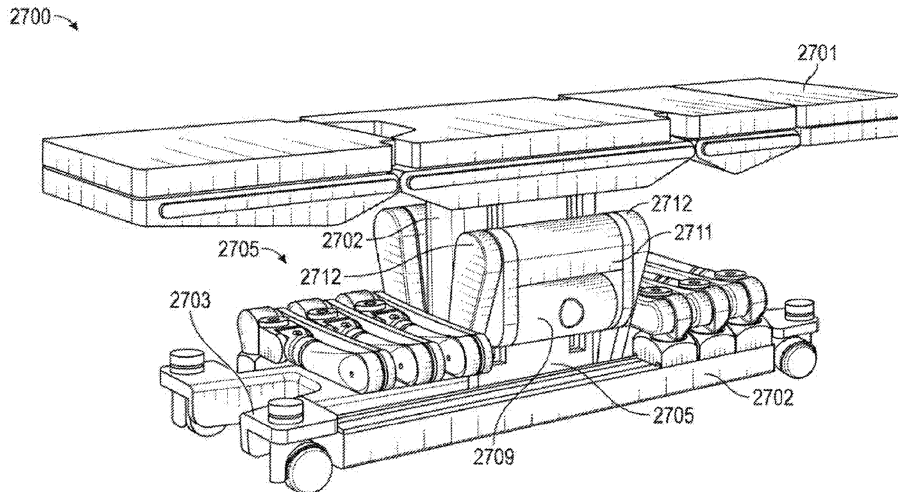
도면19b



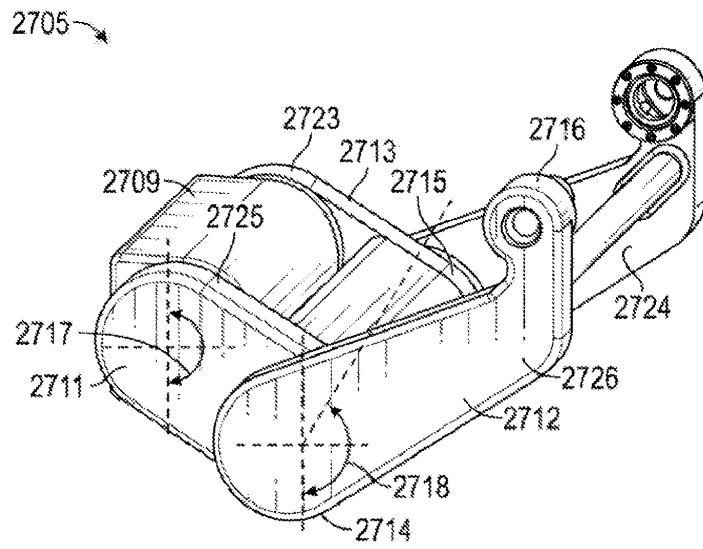
도면20



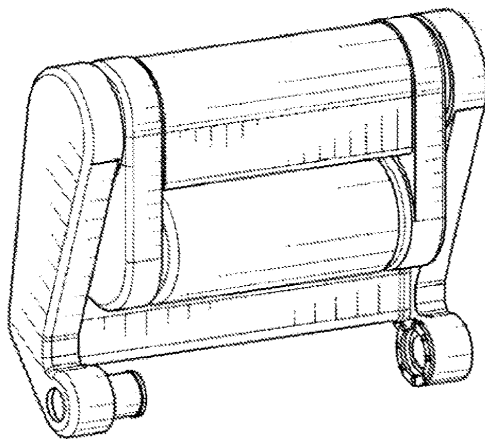
도면21



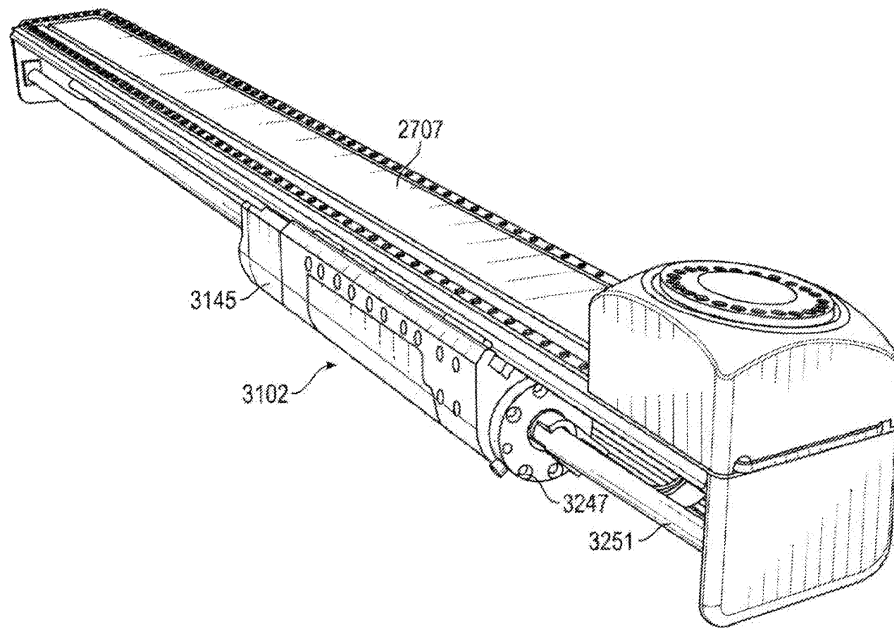
도면22a



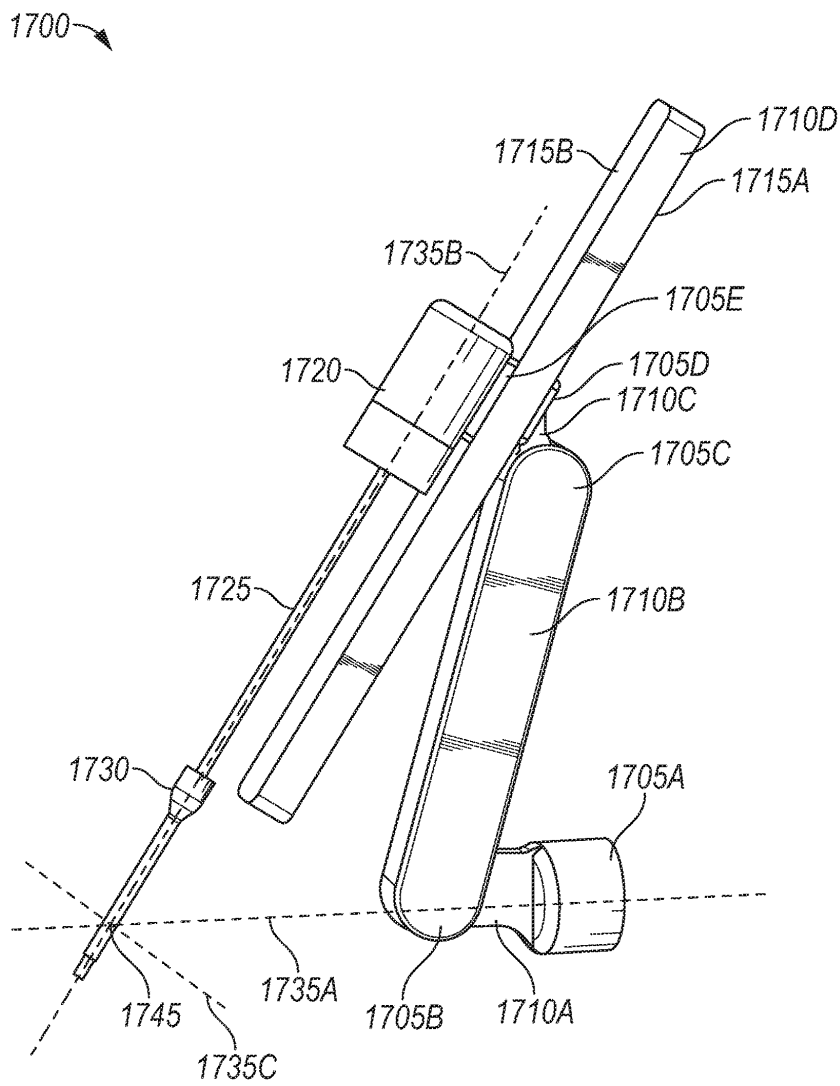
도면22b



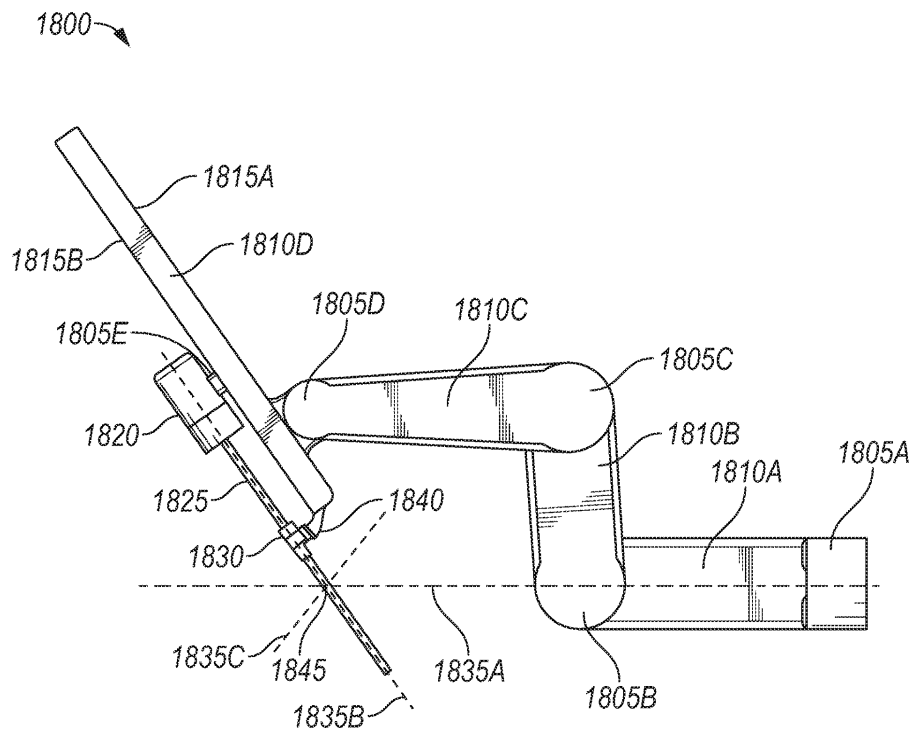
도면23



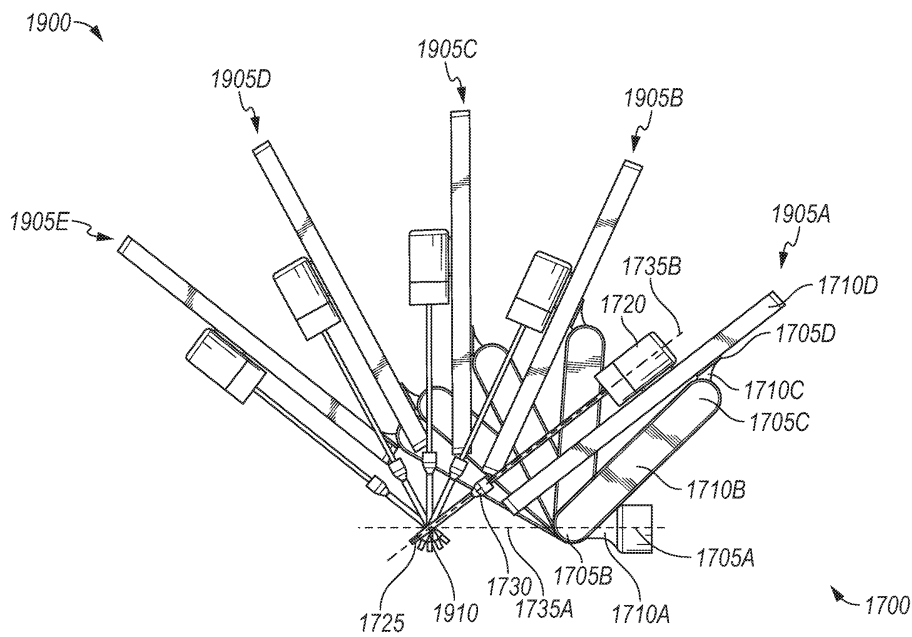
도면24



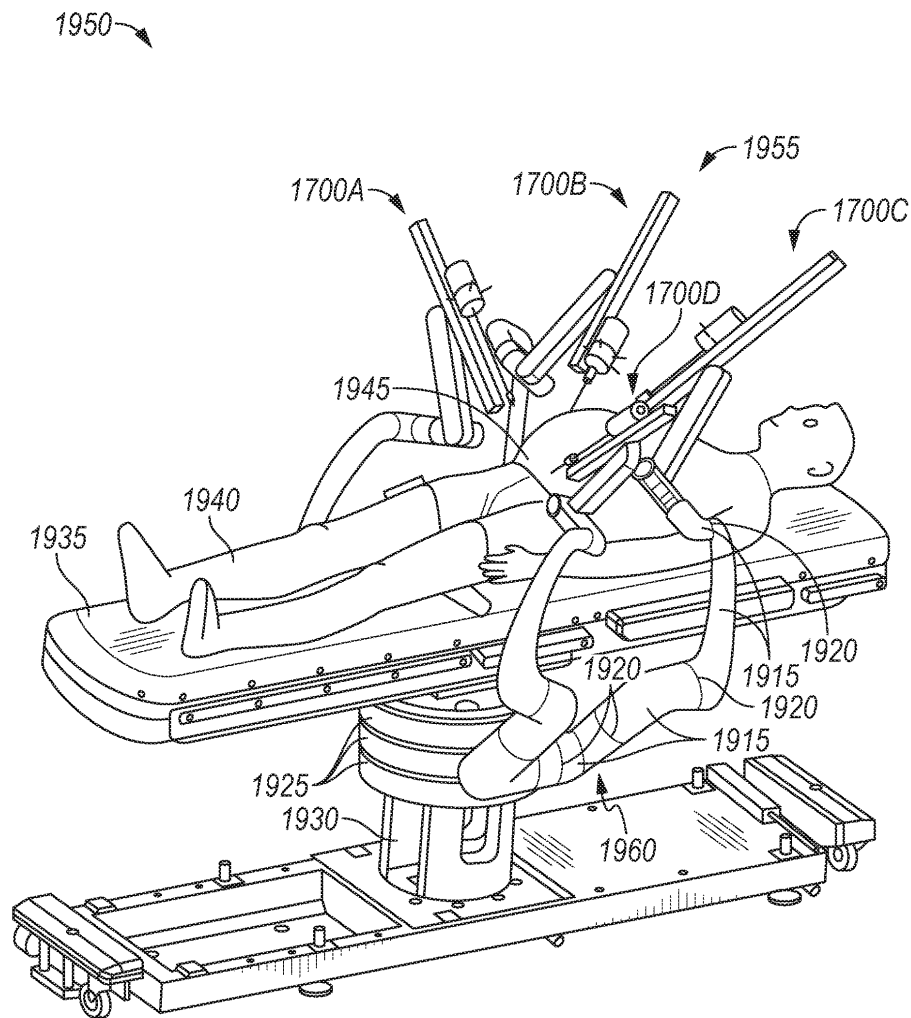
도면25



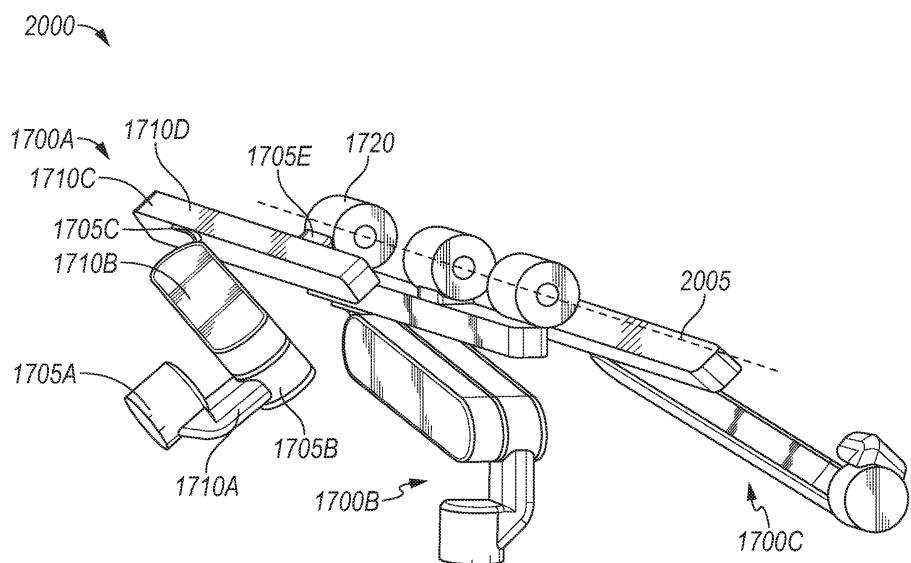
도면26a



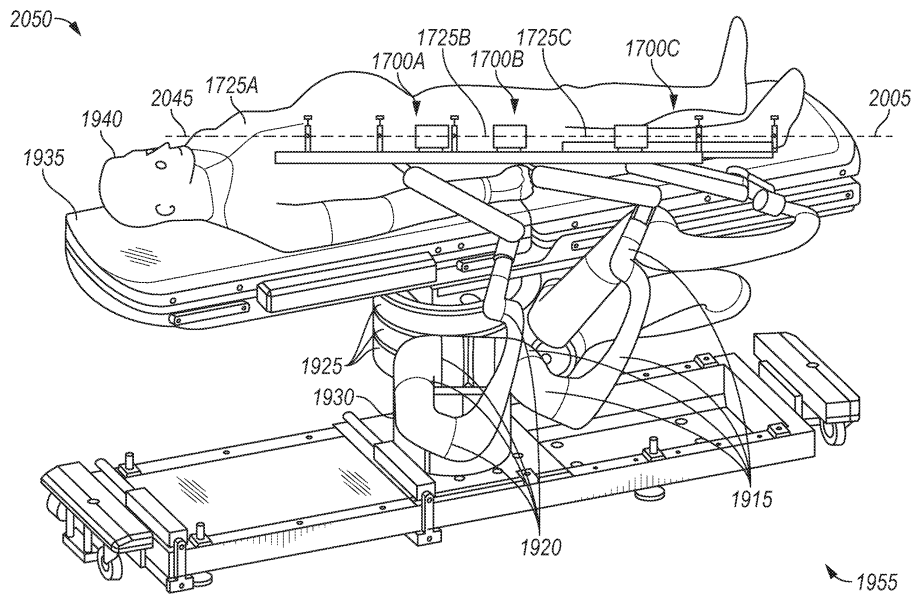
도면26b



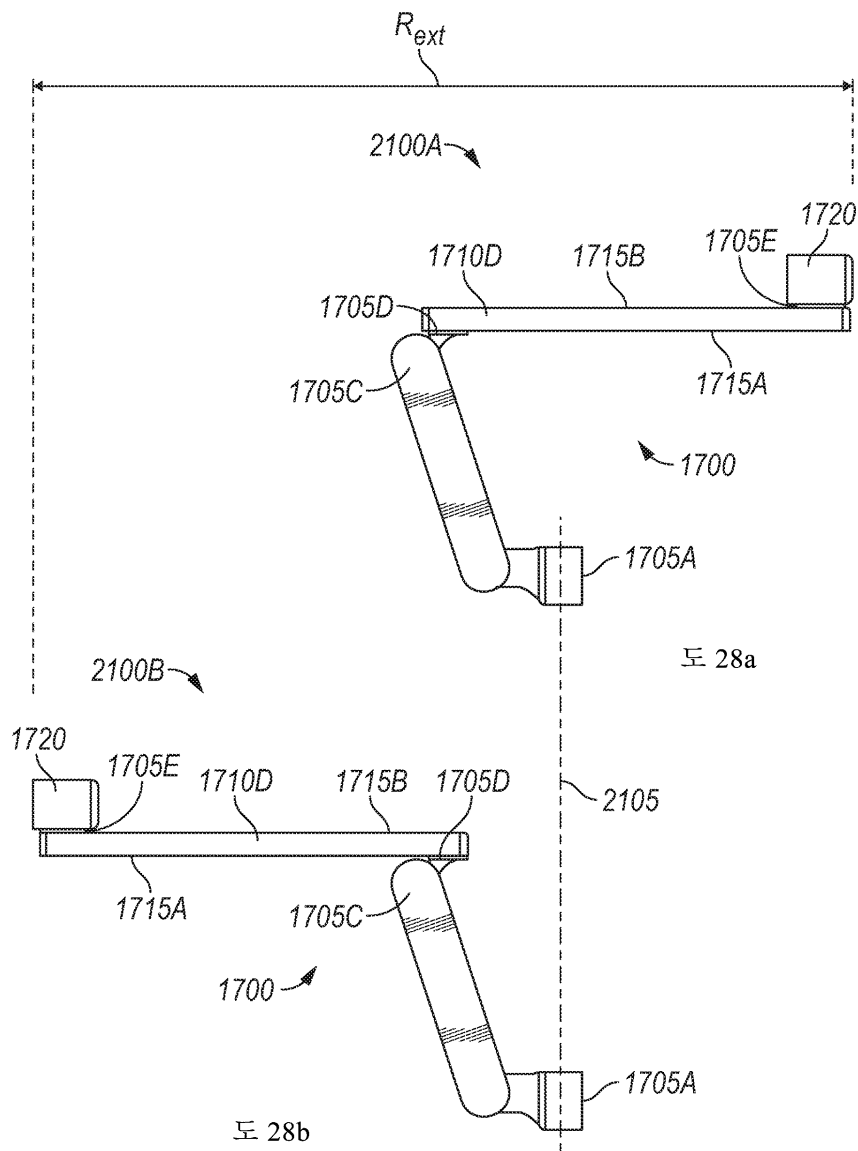
도면27a



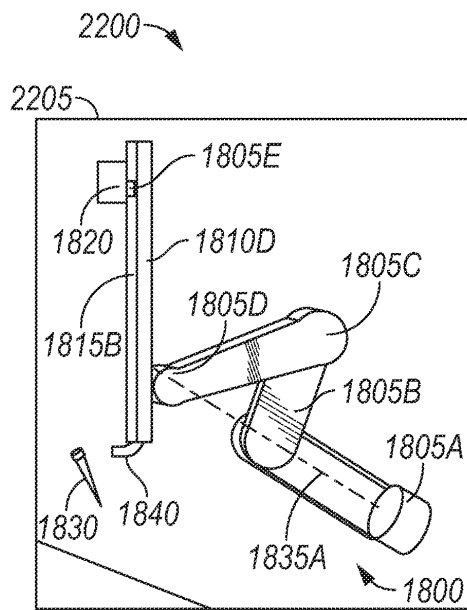
도면27b



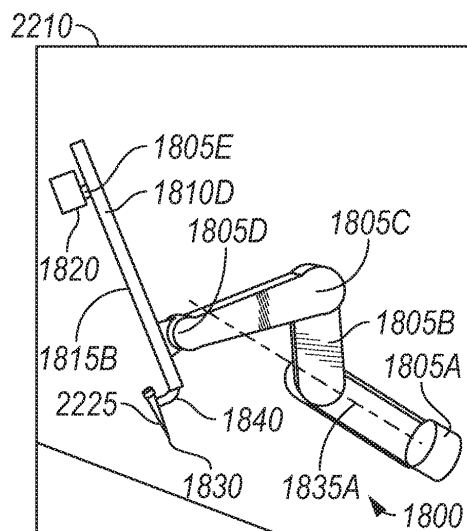
도면28



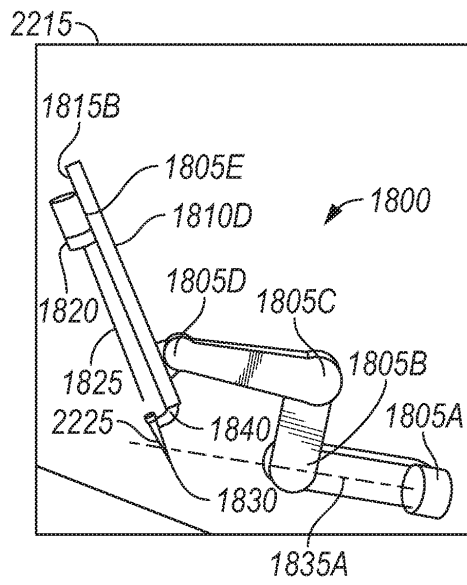
도면29a



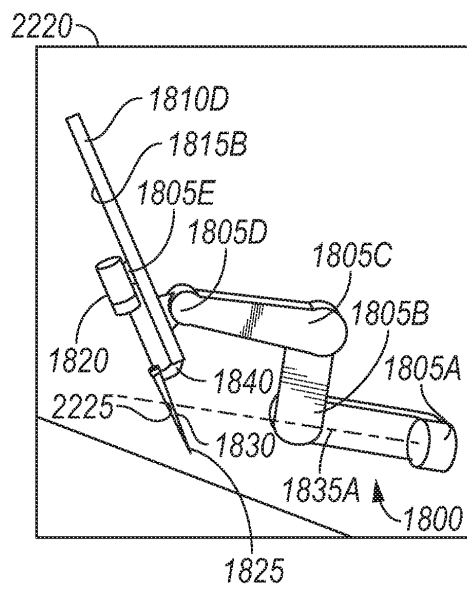
도면29b



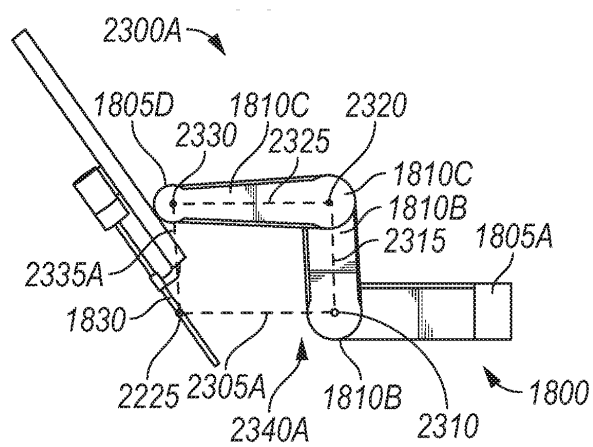
도면29c



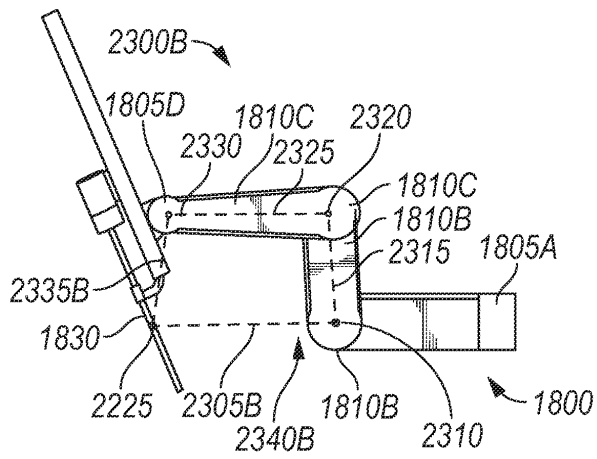
도면29d



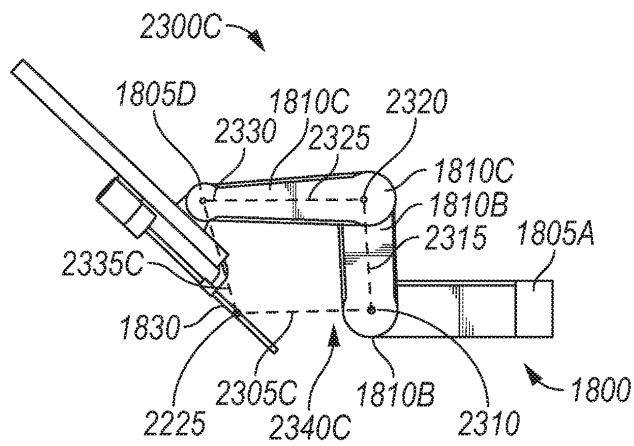
도면30a



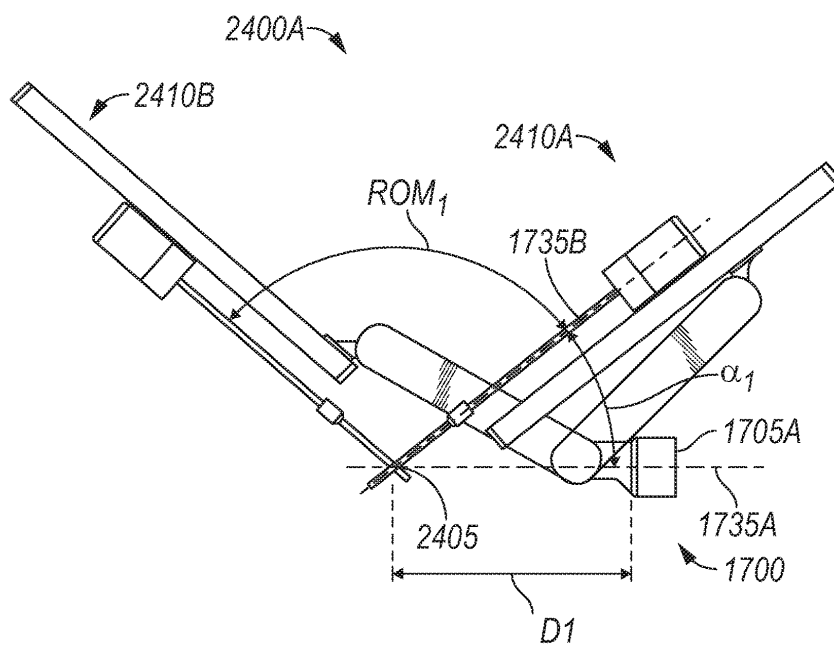
도면30b



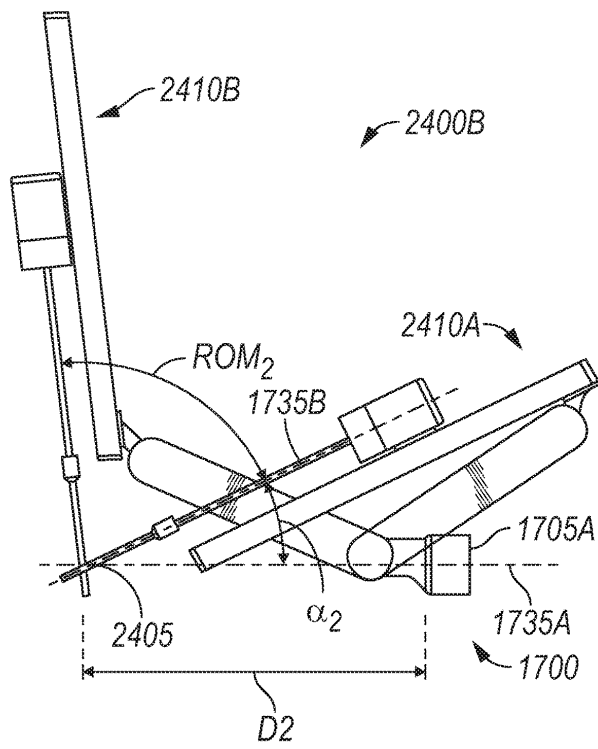
도면30c



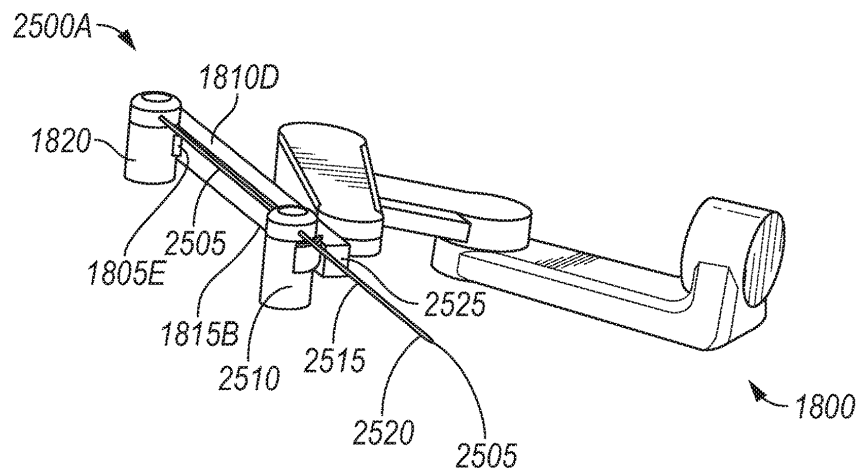
도면31a



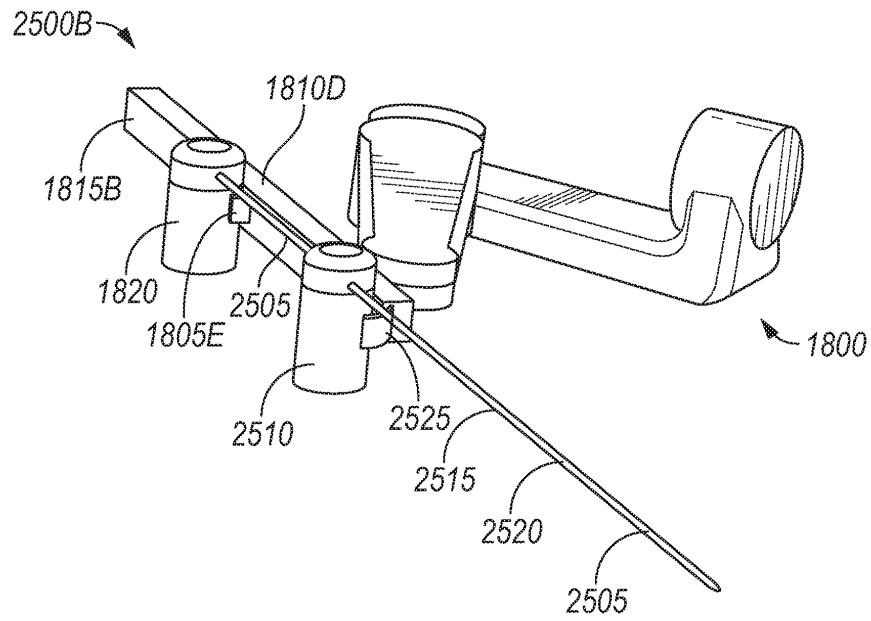
도면31b



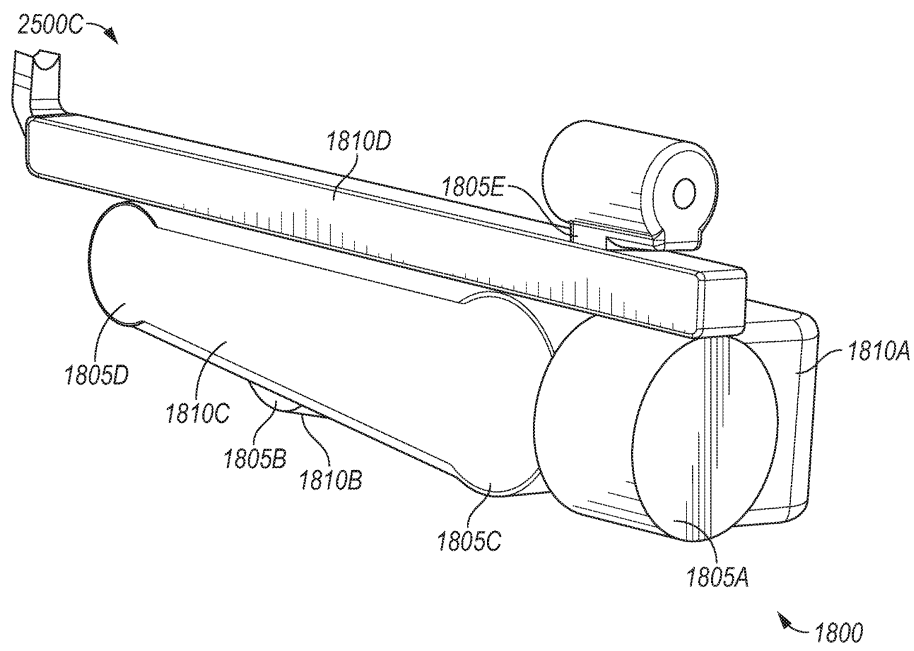
도면32a



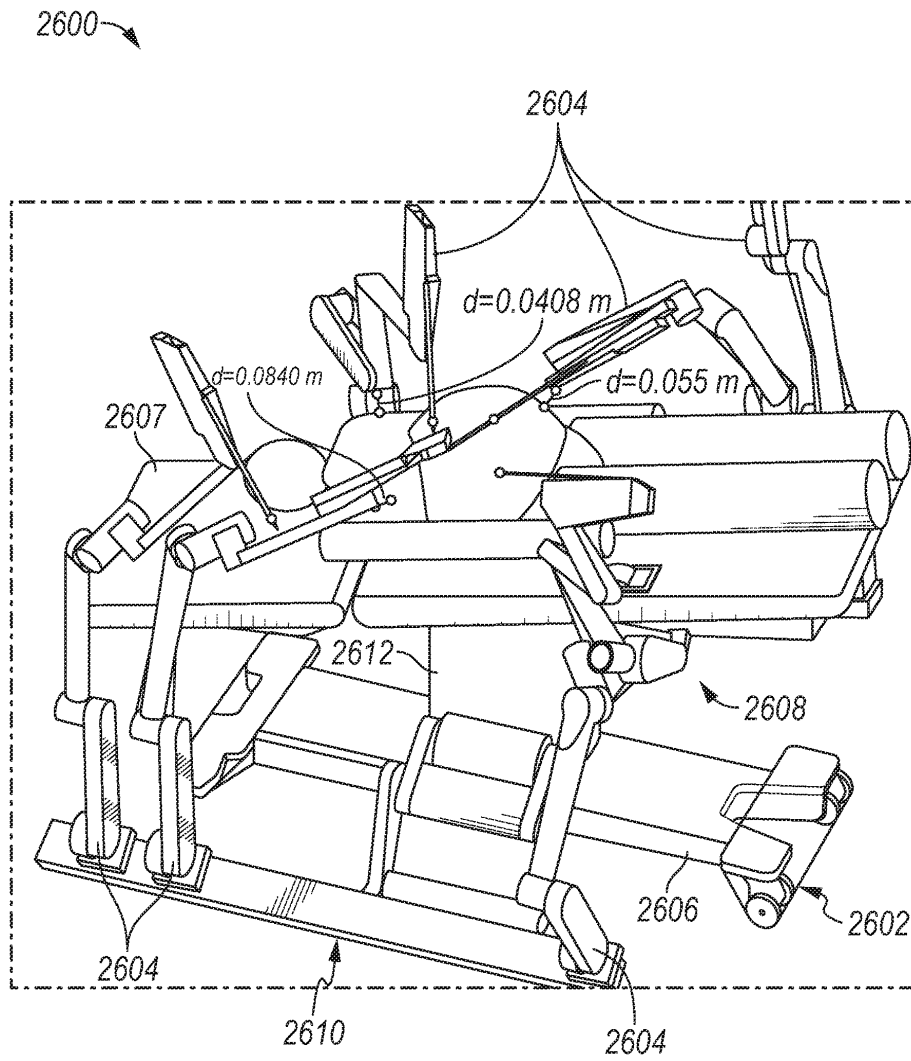
도면32b



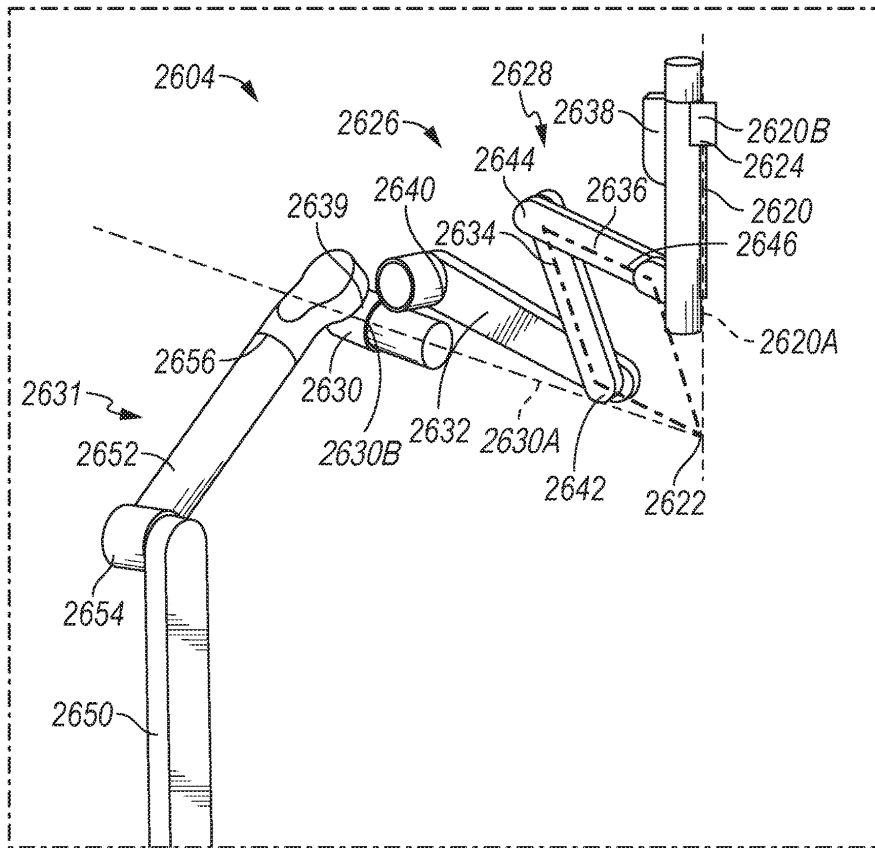
도면33



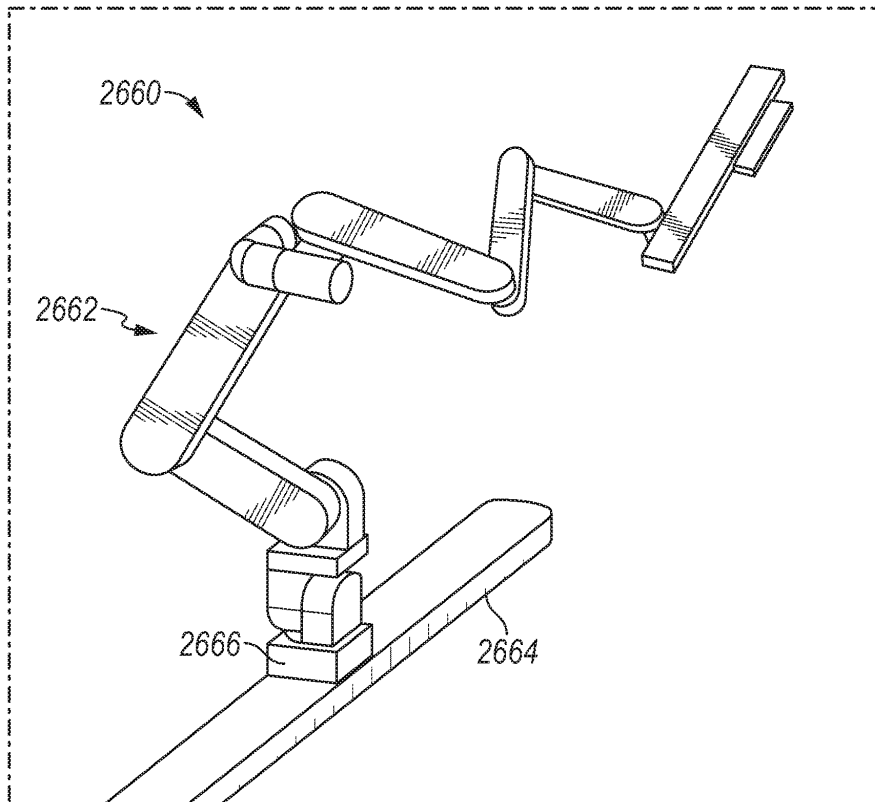
도면34



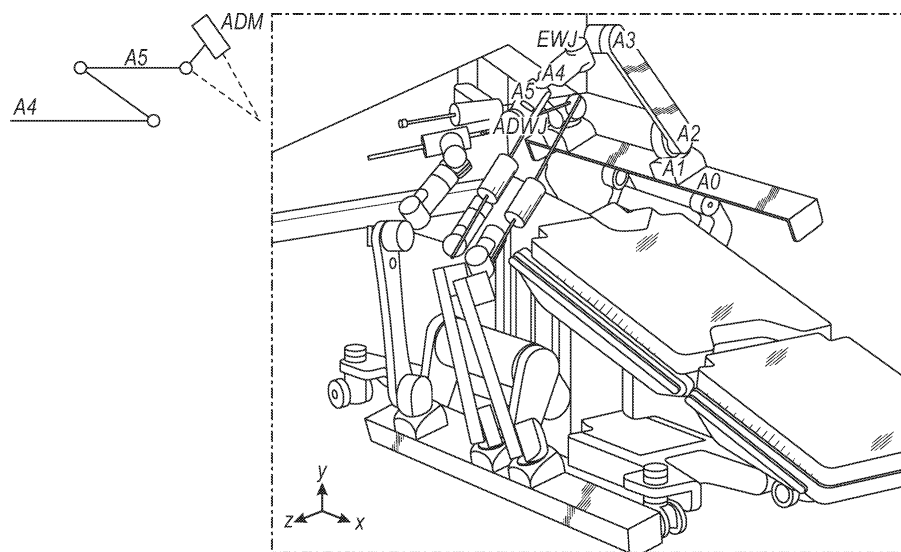
도면35



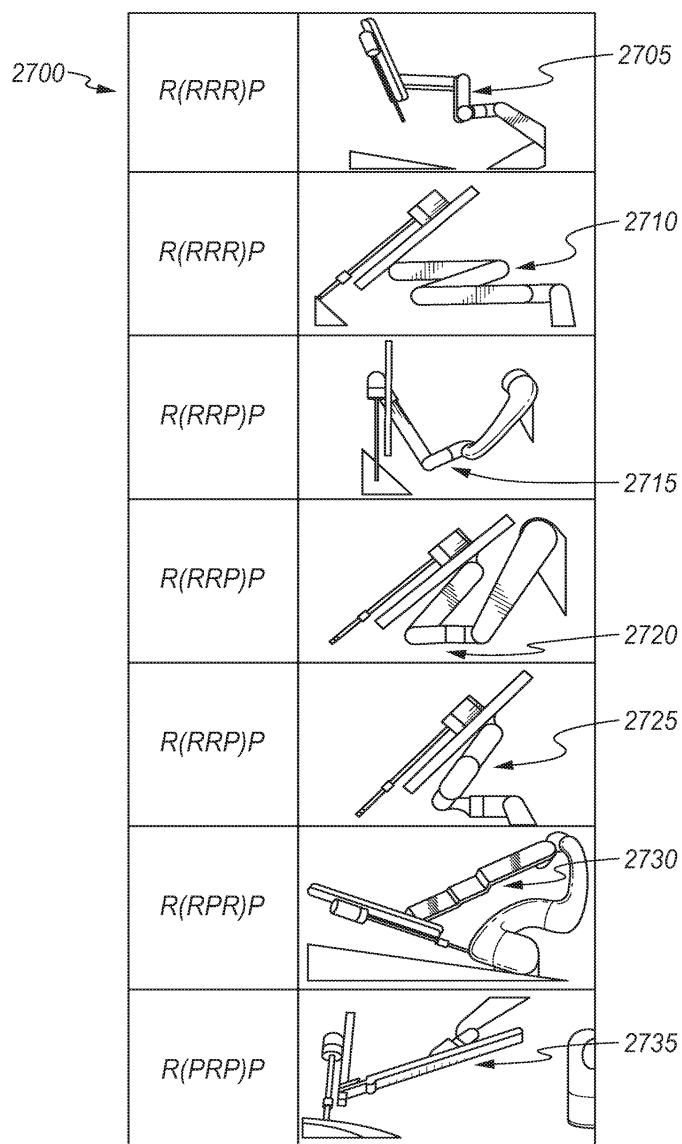
도면36



도면37



도면38



도면39

