



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년11월03일
(11) 등록번호 10-2596660
(24) 등록일자 2023년10월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
A61B 34/30 (2016.01) A61B 17/15 (2006.01)
A61B 34/00 (2016.01) A61B 34/10 (2016.01)
A61B 34/20 (2016.01) A61B 34/32 (2016.01)
A61B 90/00 (2016.01) A61B 90/50 (2016.01)
A61B 90/90 (2016.01)
- (52) CPC특허분류
A61B 34/30 (2016.02)
A61B 17/155 (2013.01)
- (21) 출원번호 10-2021-7036720
(22) 출원일자(국제) 2020년04월10일
심사청구일자 2021년11월10일
(85) 번역문제출일자 2021년11월10일
(65) 공개번호 10-2021-0154181
(43) 공개일자 2021년12월20일
(86) 국제출원번호 PCT/US2020/027665
(87) 국제공개번호 WO 2020/210621
국제공개일자 2020년10월15일
- (30) 우선권주장
62/833,227 2019년04월12일 미국(US)
- (56) 선행기술조사문헌
US04979949 A*
US20160331479 A1*
US20180116739 A1*
WO2019055904 A1*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌
- (73) 특허권자
마코 서지컬 코퍼레이션
미국 33331 플로리다주 웨스턴 엔터프라이즈 애비뉴 3365
- (72) 발명자
강, 효식
미국, 플로리다주 33327, 웨스턴, 1114 히코리 웨이
오토, 제이슨, 칼
미국, 사우스다코타주 57108, 수 폴스, 904 이스트 웨일 룬 서클
해로우, 매튜
미국, 플로리다주 33322, 플랜테이션, 11043 노스 웨스트 18번 플레이스
- (74) 대리인
박경재

전체 청구항 수 : 총 39 항

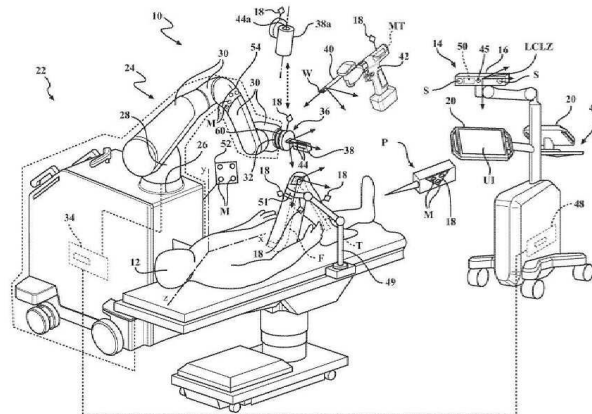
심사관 : 송성민

(54) 발명의 명칭 수술 기구를 위한 절단 가이드를 조종하기 위한 로봇 시스템 및 방법

(57) 요약

로봇 수술 시스템은 로봇 조종기, 및 로봇 조종기에 결합될 절단 가이드를 포함한다. 절단 가이드는 절단 도구가 환자의 조직을 절단하기 위해 절단 도구를 가이드하도록 구성된다. 제어 시스템은 조직에 대해 절단 가이드 및/또는 절단 도구의 위치를 제어하기 위해 로봇 조종기에 결합된다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

A61B 34/10 (2016.02)
A61B 34/20 (2016.02)
A61B 34/32 (2016.02)
A61B 34/76 (2016.02)
A61B 90/03 (2016.02)
A61B 90/06 (2016.02)
A61B 90/37 (2016.02)
A61B 90/50 (2016.02)
A61B 90/90 (2016.02)

명세서

청구범위

청구항 1

톱날을 갖는 프리 핸드(free-hand) 수술용 톱과 함께 사용하기 위한 로봇 수술 시스템으로서,

로봇 조종기;

상기 로봇 조종기에 결합된 절단 가이드를 포함하는 엔드 이펙터로서, 상기 절단 가이드는 톱날이 원하는 절단 평면을 따라서 뼈를 절단하도록 상기 톱날을 가이드하도록 구성된, 상기 엔드 이펙터; 및

상기 로봇 조종기에 결합된 제어 시스템으로서,

상기 톱날이 상기 절단 가이드와 협력할 때 상기 톱날이 상기 원하는 절단 평면과 정렬되도록 뼈에 대한 목표 배향으로 상기 절단 가이드를 자율적으로 위치시키도록; 그리고

상기 절단 가이드가 초기 가이드 위치에서 상기 목표 배향으로 있도록 뼈에 인접한 상기 초기 가이드 위치로 뼈를 향해 상기 절단 가이드가 이동하게 하도록 사용자가 상기 엔드 이펙터를 수동으로 조종함에 따라서 상기 절단 가이드의 움직임을 구속하도록; 그리고

상기 사용자가 상기 톱날로 상기 원하는 절단 평면을 따라서 뼈에 초기 절단을 행한 후에 상기 초기 가이드 위치로부터 멀어지게 이격된 가이드 위치로 상기 절단 가이드의 인출을 용이하게 하도록 상기 로봇 조종기를 제어하도록 구성됨으로써, 뼈에 대한 상기 절단 가이드의 위치를 제어하는, 상기 제어 시스템

을 포함하고,

상기 제어 시스템에 의해, 상기 절단 가이드는 상기 이격된 가이드 위치에서 목표 배향으로 있으며,

상기 이격된 가이드 위치는 상기 톱날과 관련된 하나 이상의 파라미터에 기초하여 결정되며, 상기 이격된 가이드 위치는 상기 톱날이 상기 원하는 절단 평면을 따라서 뼈의 절단을 계속하게 하는데 적합한, 로봇 수술 시스템.

청구항 2

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 뼈로부터 멀어지게 상기 절단 가이드를 자율적으로 인출하고 상기 초기 가이드 위치로부터 상기 이격된 가이드 위치로 상기 절단 가이드를 이동시키기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 3

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 절단 가이드가 상기 초기 가이드 위치에 있는 동안 사용자가 상기 톱날로 뼈에 초기 절단을 행하게 하는 명령을 생성하고, 상기 초기 절단이 행해진 후에 사용자가 뼈로부터 멀어지게 상기 절단 가이드를 인출하게 하는 명령을 생성하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 4

제3항에 있어서, 상기 제어 시스템은 뼈로부터 멀어지게 상기 절단 가이드를 인출하기 위해 사용자가 상기 절단 가이드를 수동으로 조종함에 따라서 상기 절단 가이드의 움직임을 구속하기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서, 상기 하나 이상의 파라미터는 상기 톱날의 길이; 상기 톱날의 폭; 상기 톱날이 상기 절단 가이드를 통해 뼈 내로 절단할 수 있는 최대 깊이; 및 상기 톱날의 추적된 위치 중 적어도 하나를 포함하는, 로봇

수술 시스템.

청구항 7

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 절단 가이드가 뼈에 인접하여 위치된 동안 사용자가 상기 톱날로 상기 원하는 절단 평면을 따라서 초기 절단을 행하도록 뼈에 대한 상기 초기 가이드 위치에서 상기 절단 가이드를 록킹하기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 8

제1항에 있어서, 뼈; 상기 톱날; 및 상기 절단 가이드 중 하나 이상을 추적하는 내비게이션 시스템을 포함하고, 상기 내비게이션 시스템은 뼈; 상기 톱날; 및 상기 절단 가이드 중 하나 이상의 시각적 표현을 나타내는 디스플레이를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 9

제8항에 있어서, 상기 내비게이션 시스템은 뼈에 대한 상기 절단 가이드의 위치 및 배향을 추적하도록 구성되고, 상기 내비게이션 시스템은 상기 절단 가이드가 상기 이격된 가이드 위치에 있을 때 상기 톱날에 의해 도달될 수 있는 뼈의 영역의 시각적 표현을 생성하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 10

제9항에 있어서, 상기 내비게이션 시스템은 뼈의 절단을 추적하고 뼈의 절단의 시각적 표현을 생성하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 11

제9항에 있어서, 상기 내비게이션 시스템은 뼈에 대한 제1 가이드 각도로부터 뼈에 대한 제2 가이드 각도로의 상기 절단 가이드의 재배향을 추적하도록 구성되고, 이에 의해, 상기 톱날은 상기 원하는 절단 평면과 상기 2개의 가이드 각도로 정렬되어 있으며, 상기 제어 시스템은 상기 절단 가이드가 상기 제1 가이드 각도로부터 상기 제2 가이드 각도로 재배향됨에 따라서 상기 절단 가이드의 재배향이 상기 원하는 절단 평면에서의 잠재적인 뼈 절단에 얼마나 영향을 미치는지를 사용자가 시각화할 수 있도록 상기 톱날에 의해 도달될 수 있는 뼈의 영역의 시각적 표현을 변경하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 12

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 뼈의 일부가 절제된 후에 뼈로부터 멀어지게 상기 절단 가이드를 인출하기 위해 사용자가 상기 엔드 이펙터를 수동으로 조종하는 동안 상기 절단 가이드의 움직임을 구속하기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 13

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 사용자에게 햅틱 피드백을 제공하는 것에 의해 상기 절단 가이드의 움직임을 구속하기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 14

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 절단 가이드가 시작 거리에 있을 때 상기 톱날이 상기 절단 가이드를 통해 뼈와 접촉할 수 없도록 뼈로부터 이격된 상기 시작 거리에서 상기 목표 배향으로 상기 절단 가이드를 자율적으로 위치시키기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 15

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 자율 모드, 햅틱 모드, 및 자유 모드 중 하나에서 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 16

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 톱날이 제2 원하는 절단 평면과 정렬되도록 상기 절단 가이드를 자율

적으로 위치시키기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 17

제1항에 있어서, 상기 원하는 절단 평면은 제1 원하는 절단 평면으로서 추가로 한정되고, 상기 제어 시스템은 상기 톱날이 사용자 입력에 응답하여 제2 원하는 절단 평면과 정렬되도록 상기 절단 가이드를 자율적으로 위치시키기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 18

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 톱날이 복수의 평면 절단을 행하기 위해 복수의 원하는 절단 평면과 정렬되도록 상기 절단 가이드를 자율적으로 위치시키기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되고, 상기 제어 시스템은 사전 결정된 기준에 기초하여 상기 평면 절단을 행하기 위해 상기 절단 가이드의 위치 설정의 시퀀스를 결정하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 19

제18항에 있어서, 상기 사전 결정된 기준은 사용자 선호도; 상기 원하는 절단 평면들 사이의 거리; 상기 원하는 절단 평면에 대한 상기 절단 가이드의 현재 정렬; 및 상기 원하는 절단 평면에 도달하기 위해 상기 절단 가이드의 필요한 움직임 중 하나 이상을 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 20

제19항에 있어서, 상기 원하는 절단 평면은 가상 대상체에 의해 한정되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 21

제1항에 있어서, 뼈; 상기 톱날; 및 상기 절단 가이드 중 하나 이상을 추적하는 내비게이션 시스템을 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 22

제21항에 있어서, 상기 내비게이션 시스템은 상기 절단 가이드의 위치 및 배향을 추적하기 위한 제1 추적기, 뼈의 위치 및 배향을 추적하기 위한 제2 추적기, 및 상기 톱날의 위치 및 배향을 추적하기 위한 제3 추적기를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 23

제22항에 있어서, 상기 절단 가이드를 위한 상기 초기 가이드 위치 및 상기 이격된 가이드 위치는 상기 내비게이션 시스템으로부터의 데이터에 기초하여 결정되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 24

제21항에 있어서, 상기 내비게이션 시스템은 뼈의 속도 또는 가속도 중 하나 이상을 결정하도록 구성되고, 상기 제어 시스템은 사전 결정된 제한을 초과하는 뼈의 속도 또는 가속도 중 하나 이상에 응답하여 자유 모드에서 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 25

제24항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 속도 또는 가속도 중 하나 이상이 상기 사전 결정된 제한 또는 제한 아래 있다고 결정하는 상기 내비게이션 시스템에 응답하여 상기 톱날이 상기 원하는 절단 평면과 재정렬되도록 상기 절단 가이드를 자율적으로 배치하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 26

제21항에 있어서, 상기 내비게이션 시스템은 추적 요소들로부터 광을 수신하기 위한 로컬라이저(localizer)를 포함하고, 상기 내비게이션 시스템은 상기 추적 요소들 중 하나 이상이 상기 로컬라이저의 시야로부터 차단되는 지를 결정하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 27

제26항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 추적 요소들 중 하나 이상이 상기 시야로부터 차단되는 것에 응답하여 빠르게 멀어지게 상기 절단 가이드의 인출을 용이하게 하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 28

제27항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 추적 요소들 중 하나 이상이 상기 시야로부터 차단되기 전에 저장된 상기 절단 가이드의 배향을 따라서 빠르게 멀어지게 상기 절단 가이드를 인출하기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 29

제27항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 추적 요소들 중 하나 이상이 상기 로컬라이저의 시야로부터 더 이상 차단되지 않는 것에 응답하여 상기 톱날이 상기 원하는 절단 평면과 재정렬되도록 상기 절단 가이드를 자율적으로 위치시키기 위해 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 30

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 사용자에게 의해 상기 엔드 이펙터 및 상기 로봇 조종기 중 하나 이상에 인가되는 하나 이상의 힘 및 토크를 측정하기 위한 하나 이상의 센서를 포함하고, 상기 제어 시스템은 사전 결정된 제한을 초과하는 상기 하나 이상의 힘 및 토크에 응답하여 자유 모드에서 상기 로봇 조종기를 동작시키도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 31

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 톱날에 의해 상기 절단 가이드에 인가되는 하중을 감지하기 위해 상기 절단 가이드에 결합된 하나 이상의 센서를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 32

제31항에 있어서, 상기 제어 시스템은 사전 결정된 제한을 초과하는, 상기 톱날에 의해 상기 절단 가이드에 인가되는 하중에 응답하여 활성화되는 표시기를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 33

제32항에 있어서, 상기 표시기는 시각적 표시기; 촉각적 표시기; 및 청각적 표시기 중 적어도 하나를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 34

제31항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 수술용 톱의 모터와 통신하도록 구성되고, 상기 제어 시스템은 사전 결정된 제한을 초과하는, 상기 톱날에 의해 상기 절단 가이드에 의해 인가되는 하중에 응답하여 상기 톱날을 이용한 절단을 중지하기 위해 상기 모터의 동작을 비활성화하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 35

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 상기 절단 가이드에 대한 상기 톱날의 상대 위치를 결정하기 위해 상기 절단 가이드에 결합된 하나 이상의 센서를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 36

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 사용자 인터페이스를 포함하고, 상기 사용자 인터페이스는 상기 절단 가이드의 위치 및 배향 중 적어도 하나를 조정하기 위해 사용자로부터 입력을 수신하도록 구성되는, 로봇 수술 시스템.

청구항 37

제1항에 있어서, 상기 절단 가이드는 하나 이상의 날 수용 슬롯을 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 38

제1항에 있어서, 상기 엔드 이펙터의 베이스에 대한 단일 평면으로의 상기 절단 가이드의 움직임을 구속하기 위해 상기 엔드 이펙터의 베이스와 상기 절단 가이드를 서로 연결하는 수동적 링크 기구(passive linkage)를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 39

제1항에 있어서, 뼈의 움직임을 구속하기 위해 뼈에 결합되는 관절 운동형 아암을 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 40

제1항에 있어서, 상기 제어 시스템은 하나 이상의 제어기를 포함하는, 로봇 수술 시스템.

청구항 41

삭제

청구항 42

삭제

청구항 43

삭제

청구항 44

삭제

청구항 45

삭제

청구항 46

삭제

청구항 47

삭제

청구항 48

삭제

청구항 49

삭제

청구항 50

삭제

청구항 51

삭제

청구항 52

삭제

청구항 53

삭제

청구항 54

삭제

청구항 55

삭제

청구항 56

삭제

청구항 57

삭제

청구항 58

삭제

청구항 59

삭제

청구항 60

삭제

청구항 61

삭제

청구항 62

삭제

청구항 63

삭제

청구항 64

삭제

청구항 65

삭제

청구항 66

삭제

청구항 67

삭제

청구항 68

삭제

청구항 69

삭제

청구항 70

삭제

청구항 71

삭제

청구항 72

삭제

청구항 73

삭제

청구항 74

삭제

청구항 75

삭제

청구항 76

삭제

청구항 77

삭제

청구항 78

삭제

청구항 79

삭제

청구항 80

삭제

청구항 81

삭제

청구항 82

삭제

청구항 83

삭제

청구항 84

삭제

청구항 85

삭제

청구항 86

삭제

청구항 87

삭제

청구항 88

삭제

청구항 89

삭제

발명의 설명

기술 분야

[0001] 관련 출원에 대한 상호 참조

[0002] 본 출원은 2019년 4월 12일자로 출원된 미국 특허 가출원 제62/833,227호에 대한 우선권 및 모든 이점을 주장하며, 이의 전체 내용은 그 전문이 참조에 의해 본 명세서에 원용된다.

배경 기술

[0003] 수술 절차 동안 톱, 드릴, 리머(reamer) 등과 같은 전동식 수술 기구를 사용하는 것이 일반적이다. 일반적으로, 이들 수술 기구는 외과의사와 같은 사용자에게 의해 동작될 수 있다. 수술 기구는 뼈, 인대, 피부 등과 같은 환자의 조직을 절단하도록 구성된 절단 도구를 포함한다.

[0004] 종종 하나 이상의 절단 가이드가 필요한 절단을 행하는 동안 절단 도구를 가이드하기 위해 이용된다. 그러나, 절단 가이드를 환자의 조직에 고정하는 것을 포함하는 절단 가이드를 배치하는 것은 수술에 필요한 시간을 증가시킬 수 있다. 로봇 수술의 목표 중 일부는 절단 정확도를 증가시키고 절단 시간을 감소시키는 것이다. 따라서, 절단 가이드를 위치시키기 위해 로봇 시스템을 이용하려는 노력이 있어 왔다. 그러나, 이러한 로봇 시스템에 대한 추가의 개선이 필요하다.

발명의 내용

[0005] 제1 양태에서, 톱날을 갖는 수술용 톱과 함께 사용하기 위한 로봇 수술 시스템이 제공된다. 로봇 수술 시스템은 로봇 조종기, 및 로봇 조종기에 결합될 절단 가이드를 포함하는 엔드 이펙터를 포함한다. 절단 가이드는 톱날이 원하는 절단 평면을 따라서 뼈를 절단하도록 톱날을 가이드하도록 구성된다. 제어 시스템은 톱날이 절단 가이드와 협력할 때 톱날이 원하는 절단 평면과 정렬되도록 뼈에 대한 목표 배향으로 절단 가이드를 자율적으로 위치시키고; 절단 가이드가 뼈에 인접한 초기 가이드 위치에서 목표 배향으로 있도록 초기 가이드 위치로 뼈를 향해 절단 가이드가 이동하게 하기 위하여 사용자가 엔드 이펙터를 수동으로 조종함에 따라서 절단 가이드의 움직임을 구속하는 것에 의해, 뼈에 대한 절단 가이드의 위치를 제어하기 위해 로봇 조종기에 결합된다. 제어 시스템은 사용자가 톱날로 원하는 절단 평면을 따라서 뼈에 초기 절단을 행한 후에 초기 가이드 위치로부터 멀어지게 이격된 가이드 위치로 절단 가이드의 인출을 용이하게 하도록 구성된다. 절단 가이드는 이격된 가이드 위치에서 목표 배향으로 있고, 이격된 가이드 위치는 톱날이 원하는 절단 평면을 따라서 뼈를 계속 절단하게 하는데 적합하다.

[0006] 제2 양태에서, 수술용 톱의 톱날이 원하는 절단 평면을 따라서 뼈를 절단하도록 톱날을 가이드하도록 구성된 절단 가이드의 배치를 제어하는 방법이 제공된다. 절단 가이드는 로봇 조종기에 연결된 엔드 이펙터의 부분을 형성한다. 방법은 톱날이 절단 가이드와 협력할 때 톱날이 원하는 절단 평면과 정렬되도록 뼈에 대한 목표 배향으로 절단 가이드를 자율적으로 위치시키는 단계를 포함한다. 절단 가이드의 움직임은 절단 가이드가 뼈에 인접한 초기 가이드 위치에서 목표 배향으로 있도록 초기 가이드 위치로 뼈를 향해 절단 가이드가 이동하게 하도록 사용자가 엔드 이펙터를 수동으로 조종함에 따라서 구속된다. 방법은 또한 절단 가이드가 이격된 가이드 위치에서 목표 배향으로 있도록 톱날로 원하는 절단 평면을 따라서 뼈에 초기 절단을 행한 후에 초기 가이드 위치로부터

멀어지게 이격된 가이드 위치로 절단 가이드의 인출을 용이하게 하는 단계를 포함하고, 이격된 가이드 위치는 톱날이 원하는 절단 평면을 따라서 뼈를 계속 절단하게 하는데 적합하다.

[0007] 제3 양태에서, 로봇 조종기, 및 로봇 조종기에 결합된 가이드를 포함하는 엔드 이펙터를 포함하는 로봇 수술 시스템이 제공된다. 가이드는 수술 도구가 뼈로부터 물질을 제거하기 위해 원하는 평면 또는 축을 따라서 이동하도록 수술 도구를 가이드하도록 구성된다. 제어 시스템은, 수술 도구가 가이드에 배치될 때 수술 도구가 원하는 평면 또는 축과 정렬되도록 뼈에 대한 목표 배향으로 가이드를 자율적으로 위치시키고; 가이드가 뼈에 인접한 초기 가이드 위치에서 목표 배향으로 있도록 초기 가이드 위치로 뼈를 향해 가이드가 이동하게 하도록 사용자가 엔드 이펙터를 수동으로 조종함에 따라서 가이드의 움직임을 구속하는 것에 의해 뼈에 대한 가이드의 위치를 제어하기 위해 로봇 조종기에 결합된다. 제어 시스템은 사용자가 원하는 평면 또는 축을 따라서 수술 도구를 이용하여 뼈로부터 초기 양의 물질을 제거한 후에 초기 가이드 위치로부터 멀어지게 이격된 가이드 위치로 가이드의 인출을 용이하게 하도록 구성된다. 가이드는 이격된 가이드 위치에서 목표 배향으로 있고, 이격된 가이드 위치는 수술 도구가 원하는 평면 또는 축을 따라서 뼈로부터 물질을 계속 제거하게 하는데 적합하다.

[0008] 제4 양태에서, 환자에게 수술 절차를 수행하기 위해 절단 도구와 함께 사용하기 위한 로봇 수술 시스템이 제공된다. 로봇 수술 시스템은 로봇 조종기, 및 로봇 조종기에 결합될 절단 가이드를 포함하는 엔드 이펙터를 포함한다. 절단 가이드는 절단 도구가 환자의 조직을 절단하도록 절단 도구를 가이드하도록 구성된다. 제어 시스템은 조직에 대한 절단 가이드의 위치를 제어하기 위해 로봇 조종기에 결합된다. 내비게이션 시스템은 조직과 관련된 맞춤형 가상 경계에 대한 절단 도구의 위치 및 배향을 추적하는 도구 추적기를 포함하고, 맞춤형 가상 경계는 환자의 조직과 관련된 가상 모델에 기초하여 환자를 위해 맞춤화된다. 제어 시스템은 절단 도구가 조직을 절단하기 위해 절단 가이드와 협력할 때 절단 도구와 맞춤형 가상 경계 사이의 상호 작용에 응답하여 피드백을 생성하도록 구성된다. 피드백은 절단 도구의 제어, 및/또는 햅틱 청각, 시각 및/또는 진동 피드백을 생성하는 것을 포함할 수 있다.

[0009] 제5 양태에서, 로봇 조종기, 및 절단 도구와 함께 사용되는 절단 가이드를 이용하여 조직을 치료하는 방법이 제공된다. 방법은 조직에 대한 절단 가이드의 위치를 로봇식으로 제어하는 단계를 포함한다. 절단 도구의 위치 및 배향은 조직과 관련된 맞춤형 가상 경계에 대해 추적되고, 맞춤형 가상 경계는 환자의 조직과 관련된 가상 모델에 기초하여 환자를 위해 맞춤화된다. 방법은 절단 도구가 조직을 절단하기 위해 절단 가이드와 협력할 때 절단 도구와 맞춤형 가상 경계 사이의 상호 작용에 응답하여 피드백을 생성하는 단계를 더 포함한다. 피드백은 절단 도구의 제어, 및/또는 햅틱 청각, 시각 및/또는 진동 피드백을 생성하는 것을 포함할 수 있다.

[0010] 제6 양태에서, 환자에게 수술 절차를 수행하기 위해 절단 도구와 함께 사용하기 위한 로봇 수술 시스템이 제공된다. 로봇 수술 시스템은 로봇 조종기, 및 로봇 조종기에 결합될 절단 가이드를 포함하는 엔드 이펙터를 포함한다. 절단 가이드는 절단 도구가 환자의 조직을 절단하도록 절단 도구를 가이드하도록 구성된다. 제어 시스템은 조직에 대한 절단 가이드의 위치를 제어하기 위해 로봇 조종기에 결합된다. 내비게이션 시스템은 조직과 관련된 환자 특정 절단 경계에 대한 절단 가이드의 위치 및 배향을 추적하고, 환자 특정 절단 경계는 환자의 조직에 기초하여 환자를 위해 맞춤화된다. 제어 시스템은 절단 도구가 환자 특정 절단 경계를 넘어서 조직을 절단하는 것을 방지하는 방식으로 절단 가이드가 위치되도록 엔드 이펙터의 수동 조종에 응답하여 하나 이상의 자유도로 절단 가이드를 자율적으로 이동시키도록 구성된다.

[0011] 제7 양태에서, 절단 도구를 갖는 수술 기구, 절단 도구를 가이드하도록 구성된 절단 가이드, 및 제어 시스템을 포함하는 수술 시스템이 제공된다. 제어 시스템은 절단 가이드와 절단 도구의 현재 결합 상태를 결정하고, 결합 상태에 기초하여 수술 기구의 동작을 제어하도록 구성된다.

[0012] 제8 양태에서, 절단 가이드와 함께 사용하기 위한 절단 도구를 갖는 수술 기구의 동작을 제어하는 방법이 제공된다. 방법은 절단 가이드와 절단 도구의 현재 결합 상태를 결정하는 단계, 및 결합 상태에 기초하여 수술 기구의 동작을 제어하는 단계를 포함한다.

[0013] 제9 양태에서, 로봇 조종기, 절단 도구를 가이드하기 위해 로봇 조종기에 결합되도록 구성된 절단 가이드, 및 제어 시스템을 포함하는 수술 시스템이 제공된다. 제어 시스템은 절단 가이드와 절단 도구의 현재 결합 상태를 결정하고, 결합 상태에 기초하여 로봇 조종기의 동작을 제어하도록 구성된다.

[0014] 제10 양태에서, 로봇 조종기, 및 로봇 조종기에 결합된 절단 가이드의 동작을 제어하는 방법이 제공된다. 절단 가이드는 절단 도구와 함께 사용된다. 방법은 절단 가이드와 절단 도구의 현재 결합 상태를 결정하는 단계, 및 결합 상태에 기초하여 로봇 조종기의 동작을 제어하는 단계를 포함한다.

- [0015] 제11 양태에서, 로봇 조종기에 결합될 절단 가이드를 포함하는 로봇 조종기를 포함하는 로봇 수술 시스템이 제공된다. 절단 가이드는 절단 평면을 따라서 뼈를 절단하기 위해 톱날을 가이드하도록 구성된다. 제어 시스템은, 톱날이 절단 평면과 정렬되도록 뼈에 대해 절단 가이드를 위치시키고; 절단 가이드가 뼈에 인접한 초기 가이드 위치에서 목표 배향으로 있도록 초기 가이드 위치로 뼈를 향해 절단 가이드가 이동하게 하기 위하여 절단 가이드의 움직임을 구속하는 것에 의해, 뼈에 대한 절단 가이드의 위치를 제어하기 위해 로봇 조종기에 결합된다. 절단 가이드가 톱날을 가이드하는 동안, 제어 시스템은 초기 가이드 위치로부터 멀어지게 이격된 가이드 위치로 절단 가이드의 인출을 용이하게 하도록 구성된다.
- [0016] 상기 양태 및/또는 이들의 요소 중 임의의 것이 조합될 수 있다는 것이 고려된다. 또한, 다음의 구현 중 임의의 것이 개별적으로 또는 위의 양태 중 임의의 것과 조합하여 고려된다:
- [0017] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 절단 가이드를 뼈로부터 인출하고, 초기 가이드 위치로부터 이격된 가이드 위치로 절단 가이드를 이동시키기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 이러한 인출은 자율적으로 제어되거나, 반자율적으로 제어되거나, 또는 수동으로 제어될 수 있다.
- [0018] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 사용자를 위한 명령을 생성하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 명령은 절단 가이드가 초기 가이드 위치에 있는 동안 톱날로 뼈에 초기 절단을 행하도록 하는 것이다. 일부 구현예에서, 제어 시스템은 예를 들어 초기 절단이 행해진 후에 사용자가 절단 가이드를 뼈로부터 인출하라는 명령을 생성할 수 있다.
- [0019] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 절단 가이드를 뼈로부터 멀어지게 인출하도록 절단 가이드의 움직임을 구속하기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 일부 구현예에서, 이것은 사용자가 절단 가이드를 수동으로 조종함에 따라서 수행된다.
- [0020] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 톱날과 관련된 하나 이상의 파라미터에 기초하여 절단 가이드를 위한 이격된 가이드 위치를 결정하도록 구성된다. 예를 들어, 하나 이상의 파라미터는 톱날의 길이; 톱날의 폭; 톱날이 절단 가이드를 통해 뼈 내로 절단할 수 있는 최대 깊이; 및 톱날의 추적된 위치 중 적어도 하나를 포함한다.
- [0021] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 절단 가이드를 록킹하기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 예를 들어, 절단 가이드는 뼈에 대한 초기 가이드 위치에서 록킹될 수 있다. 일부 경우에, 이것은 절단 가이드가 뼈에 인접하여 위치되는 동안 사용자가 톱날로 원하는 절단 평면을 따라서 초기 절단을 행하는 것을 가능하게 한다.
- [0022] 일부 구현예에서, 내비게이션 시스템은 뼈; 톱날; 및 절단 가이드 중 하나 이상을 추적한다. 일부 경우에, 내비게이션 시스템은 뼈; 톱날; 및 절단 가이드 중 하나 이상의 시각적 표현을 나타내는 디스플레이를 포함한다.
- [0023] 일부 구현예에서, 내비게이션 시스템은 뼈에 대한 절단 가이드의 위치 및 배향을 추적하도록 구성된다. 일부 경우에, 내비게이션 시스템은 톱날에 의해 도달될 수 있는 뼈의 영역의 시각적 표현을 생성한다. 이것은 예를 들어 절단 가이드가 이격된 가이드 위치에 있을 때 수행될 수 있다.
- [0024] 일부 구현예에서, 내비게이션 시스템은 뼈의 절단을 추적하고, 뼈의 절단의 시각적 표현을 생성하도록 구성된다.
- [0025] 일부 구현예에서, 내비게이션 시스템은 뼈에 대한 제1 가이드 각도로부터 뼈에 대한 제2 가이드 각도로 절단 가이드의 재배향을 추적하도록 구성된다. 일부 경우에, 톱날은 두 가이드 각도에서 원하는 절단 평면과 정렬되고 있다. 일부 구현예에서, 제어 시스템은 절단 가이드가 제1 가이드 각도로부터 제2 가이드 각도로 재배향됨에 따라서 절단 가이드의 재배향이 원하는 절단 평면에서 잠재적인 뼈 절단에 얼마나 영향을 미치는지를 사용자가 시각화할 수 있도록 톱날에 의해 도달될 수 있는 뼈의 영역의 시각적 표현을 변경하도록 구성된다.
- [0026] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 절단 가이드의 움직임을 구속하기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 일부 경우에, 이것은 뼈의 일부가 절제된 후에 뼈로부터 멀어지게 절단 가이드를 인출하기 위해 사용자가 엔드 이펙터를 수동으로 조종하는 동안 수행될 수 있다.
- [0027] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 사용자에게 햅틱 피드백을 제공하는 것에 의해 절단 가이드의 움직임을 구속하기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 이러한 햅틱 피드백은 청각, 시각, 진동 또는 이들의 조합일 수 있다.
- [0028] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 뼈로부터 이격된 시작 거리에서 목표 배향으로 절단 가이드를 위치시키기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 일부 경우에, 이러한 위치 설정은 자율적으로 수행된다. 일부 경우에,

이것은 절단 가이드가 시작 거리에 있을 때 톱날이 절단 가이드를 통해 뼈와 접촉하지 않는 것을 가능하게 한다.

- [0029] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 자율 모드, 햅틱 모드, 및 자유 모드 중 하나에서 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다.
- [0030] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 톱날이 제2 원하는 절단 평면과 정렬되도록 절단 가이드를 위치시키기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 일부 구현예에서, 이러한 위치 설정은 자율적으로 수행된다.
- [0031] 일부 구현예에서, 원하는 절단 평면은 제1 원하는 절단 평면으로서 추가로 한정되고, 제어 시스템은 톱날이 사용자 입력에 응답하여 제2 원하는 절단 평면과 정렬되도록 절단 가이드를 위치시키기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 일부 구현예에서, 이러한 위치 설정은 자율적으로 수행된다.
- [0032] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 톱날이 복수의 평면 절단을 행하기 위해 복수의 원하는 절단 평면과 정렬되도록 절단 가이드를 위치시키기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 일부 구현예에서, 이러한 위치 설정은 자율적으로 수행된다. 일부 구현예에서, 제어 시스템은 사전 결정된 기준에 기초하여 평면 절단을 행하기 위해 절단 가이드의 위치 설정의 시퀀스를 결정한다. 일부 구현예에서, 사전 결정된 기준은 사용자 선호도; 원하는 절단 평면들 사이의 거리; 원하는 절단 평면에 대한 절단 가이드의 현재 정렬; 및 원하는 절단 평면에 도달하기 위해 절단 가이드의 필요한 움직임 중 하나 이상을 포함한다. 일부 구현예에서, 원하는 절단 평면은 가상 대상체(virtual object)에 의해 한정된다.
- [0033] 일부 구현예에서, 내비게이션 시스템은 뼈; 톱날; 및 절단 가이드 중 하나 이상을 추적한다. 일부 구현예에서, 내비게이션 시스템은 절단 가이드의 위치 및 배향을 추적하기 위한 제1 추적기, 뼈의 위치 및 배향을 추적하기 위한 제2 추적기, 및 톱날의 위치 및 배향을 추적하기 위한 제3 추적기를 포함한다. 일부 구현예에서, 절단 가이드를 위한 초기 가이드 위치 및 이격된 가이드 위치는 내비게이션 시스템으로부터의 데이터에 기초하여 결정된다. 일부 구현예에서, 내비게이션 시스템은 뼈의 속도 또는 가속도 중 하나 이상을 결정하도록 구성되고, 제어 시스템은 사전 결정된 제한을 초과하는 뼈의 속도 또는 가속도 중 하나 이상에 응답하여 자유 모드에서 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다.
- [0034] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 속도 또는 가속도 중 하나 이상이 사전 결정된 제한 또는 제한 아래에 있다고 결정하는 내비게이션 시스템에 응답하여 톱날이 원하는 절단 평면과 재정렬되도록 절단 가이드를 위치시키도록 구성된다. 일부 구현예에서, 이러한 위치 설정은 자율적으로 수행된다.
- [0035] 일부 구현예에서, 내비게이션 시스템은 추적 요소들로부터 광을 수신하기 위한 로컬라이저(localizer)를 포함하고, 내비게이션 시스템은 추적 요소들 중 하나 이상이 로컬라이저의 시야로부터 차단되는지를 결정하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 제어 시스템은 추적 요소들 중 하나 이상이 시야로부터 차단되는 것에 응답하여 뼈로부터 멀어지게 절단 가이드의 인출을 용이하게 하도록 구성된다. 일부 구현예에서, 제어 시스템은 추적 요소들 중 하나 이상이 시야로부터 차단되기 전에 저장된 절단 가이드의 배향을 따라서 뼈로부터 멀어지게 절단 가이드를 인출하기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다. 일부 구현예에서, 제어 시스템은 추적 요소들 중 하나 이상이 로컬라이저의 시야로부터 더 이상 차단되지 않는 것에 응답하여 톱날이 원하는 절단 평면과 재정렬되도록 절단 가이드를 자율적으로 위치시키기 위해 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다.
- [0036] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 사용자에게 의해 엔드 이펙터 및 로봇 조종기 중 하나 이상에 인가되는 하나의 힘 및 토크를 측정하기 위한 하나 이상의 센서를 포함한다. 일부 구현예에서, 제어 시스템은 사전 결정된 제한을 초과하는 하나 이상의 힘 및 토크에 응답하여 자유 모드에서 로봇 조종기를 동작시키도록 구성된다.
- [0037] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 톱날에 의해 절단 가이드에 인가되는 하중을 감지하기 위해 절단 가이드에 결합된 하나 이상의 센서를 포함한다. 일부 구현예에서, 제어 시스템은 사전 결정된 제한을 초과하는, 톱날에 의해 절단 가이드에 인가되는 하중에 응답하여 활성화되는 표시기를 포함한다. 일부 구현예에서, 표시기는 시각적 표시기; 촉각적 표시기; 및 청각적 표시기 중 적어도 하나를 포함한다. 일부 구현예에서, 제어 시스템은 수술용 톱의 모터와 통신하도록 구성되고, 제어 시스템은 사전 결정된 제한을 초과하는, 톱날에 의해 절단 가이드에 의해 인가되는 하중에 응답하여 톱날을 이용한 절단을 중지하기 위해 모터의 동작을 비활성화하도록 구성된다.
- [0038] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 절단 가이드에 대한 톱날의 상대 위치를 결정하기 위해 절단 가이드에 결합된 하나 이상의 센서를 포함한다.
- [0039] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 사용자 인터페이스를 포함하고, 사용자 인터페이스는 절단 가이드의 위치 및

배향 중 적어도 하나를 조정하기 위해 사용자로부터 입력을 수신하도록 구성된다.

[0040] 일부 구현예에서, 절단 가이드는 하나 이상의 날 수용 슬롯을 포함한다.

[0041] 일부 구현예에서, 수동적 링크 기구(passive linkage)는 엔드 이펙터의 베이스에 대한 단일 평면으로의 절단 가이드의 움직임을 구속하기 위해 엔드 이펙터의 베이스와 절단 가이드를 서로 연결한다.

[0042] 일부 구현예에서, 관절 운동형 아암(articulating arm)은 뼈의 움직임을 제한하기 위해 뼈에 결합된다.

[0043] 일부 구현예에서, 제어 시스템은 하나 이상의 제어기를 포함한다.

도면의 간단한 설명

[0044] 본 개시내용의 이점은 첨부된 도면과 관련하여 고려될 때 다음의 상세한 설명을 참조하여 더욱 잘 이해됨에 따라서 용이하게 이해될 것이다.

도 1은 수술실에 있는 로봇 수술 시스템의 사시도이다.

도 2는 로봇 수술 시스템의 제어 시스템의 개략도이다.

도 3은 무릎 관절을 위한 하나의 예시적인 임플란트 시스템에서의 임플란트 구성요소의 분해도이다.

도 4a는 멸균 배리어를 통해 로봇 아암 상에서의 절단 가이드 조립체를 도시하는 분해 사시도이다.

도 4b는 멸균 배리어를 통해 로봇 아암 상에서의 절단 가이드의 조립도이다.

도 5a 내지 도 5f는 수술 절차 동안 로봇 수술 시스템에 의해 수행되는 일련의 수술 단계를 도시한다.

도 6a 및 도 6b는 절단 가이드가 제1 배향으로 있을 때 절단 도구에 의해 도달될 수 있는 제1 절단 영역을 도시한다.

도 7a 및 도 7b는 절단 가이드가 제1 배향과 다르지만 제1 배향과 동일한 절단 평면에서 제2 배향으로 있을 때 절단 도구에 의해 도달될 수 있는 제2 절단 영역을 도시한다.

도 8a 및 도 8b는 제1 및 제2 절단 영역을 보여주는 디스플레이 스크린의 스크린 샷을 도시한다.

도 8c 내지 도 8e는 환자 특정 절단 경계를 갖는 절단 평면을 따르는 뼈의 절단을 도시한다.

도 9는 사용자에게 절단 수행 시퀀스를 선택하라는 명령을 보여주는 디스플레이 스크린의 스크린 샷을 도시한다.

도 10은 해부학적 구조의 과도한 움직임을 도시한다.

도 11은 추적기 차단 상태를 도시한다.

도 12는 수술 절차 동안 절단 도구의 편향, 및 디스플레이 스크린 상의 관련 경고를 도시한다.

도 13은 절단 도구의 편향을 나타낼 수 있는 절단 도구의 하중을 검출하기 위한 절단 가이드의 센서를 도시하는 부분 단면도이다.

도 14는 깊이를 나타내기 위해 눈금 마킹이 있는 절단 도구의 사시도이다.

도 15는 절단 가이드에서 절단 도구의 깊이를 결정하기 위해 절단 도구 상의 눈금 마킹을 관측하는 광학 센서를 도시하는 부분 단면도이다.

도 15a는 절단 도구가 절단 가이드와 함께 사용하는데 적절한지의 여부를 결정하기 위해 절단 가이드 및/또는 절단 도구를 식별하는 기술을 예시하는 절단 도구 및 절단 가이드의 부분 사시도이다.

도 15b는 절단 도구를 식별하도록 사용되는 광학 센서를 도시하는 부분 단면도이다.

도 16은 절단 가이드가 단일 평면에서 엔드 이펙터의 베이스 플레이트에 대해 이동하는 것을 허용하는 관절 운동형 평면 아암의 사시도이다.

도 16a는 절단 가이드가 적어도 1 자유도로 엔드 이펙터의 베이스 플레이트에 대해 이동하는 것을 가능하게 하는 가요성 도구의 사시도이다.

도 16b는 절단 가이드가 다중 자유도로 엔드 이펙터의 베이스 플레이트에 대해 이동하는 것을 가능하게 하는 관

절 운동형 조종기의 사시도이다.

도 17 및 도 18은 수술 절차 동안 수행될 수 있는 단계를 도시한다.

도 19는 하나의 예에서 수행될 수 있는 단계를 예시한다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0045] 도 1을 참조하면, 수술 절차에서 사용하기 위한 로봇 수술 시스템(10)이 도시되어 있다. 이러한 수술 절차는 예를 들어 무릎 시술, 엉덩이 시술, 어깨 시술, 발목 시술, 척추 시술, 두개골 시술, 치과 시술 등을 포함한다. 전형적으로, 수술 절차는 뼈와 같은 환자(12)의 경조직의 절단을 포함할 것이지만, 추가적으로 또는 대안적으로 인대 또는 피부와 같은 연조직의 절단을 포함할 수 있다. 일부 버전에서, 로봇 수술 시스템(10)은 단일구획, 이중구획 또는 전체 무릎 임플란트, 비구컵(acetabular cup), 대퇴골 임플란트, 상완골 임플란트, 관절와 임플란트, 경골 임플란트, 거골 임플란트, 척추경 나사, 조직 앵커, 전극, 치과 임플란트 등을 포함하는 무릎, 엉덩이, 어깨, 발목, 척추, 두개골 또는 치과 임플란트와 같은 수술용 임플란트에 의해 대체되는 조직을 환자(12)로부터 잘라내도록 설계된다. 다음의 설명이 대퇴골(F) 및 경골(T)에 대한 전체 무릎 임플란트 시스템의 배치에 초점을 맞추었을지라도, 이는 단지 예시적이고 제한하려는 의도가 아님을 이해해야 한다.
- [0046] 로봇 수술 시스템(10)은, 로컬라이저(16), 추적 디바이스(18)들, 및 하나 이상의 디스플레이(20)를 포함하는 내비게이션 시스템(14)을 포함한다. 내비게이션 시스템(14)은 다음에 추가로 설명되는 바와 같이 수술실에서 다양한 대상체의 움직임을 추적하도록 설정된다. 내비게이션 시스템(14)은 사용자에게 대상체들의 상대적 위치 및 배향을 디스플레이하는 목적을 위해, 그리고 일부 경우에는 로봇 수술 시스템(10)에서 사용되는 하나 이상의 기구 또는 도구의 배치를 제어하는 목적을 위해 이러한 대상체들을 추적한다.
- [0047] 로봇 수술 시스템(10)은 또한 로봇 아암(24) 및 베이스(26)를 포함하는 로봇 조종기(22)를 포함한다. 로봇 아암(24)은 베이스(26)에 회전 가능하게 결합되는 베이스 링크(28), 및 베이스 링크(28)로부터 원위 단부(32)로 직렬로 연장되는 복수의 아암 링크(30)를 포함한다. 아암 링크(30)는 관절 모터(도시되지 않음)를 통해 로봇 아암(24)에 있는 복수의 관절을 중심으로 선회/회전한다. 직렬, 병렬 또는 다른 로봇 아암 구성이 이용될 수 있다. 로봇 조종기(22)는 플로어 표면에 배치되어 지지될 수 있고, 수술실 테이블에 부착되고 그리고/또는 환자(12)에 부착될 수 있거나, 또는 그렇지 않으면 수술 절차를 수행하도록 배치될 수 있다. 한 실시형태에서, 로봇 조종기(22)는 미국 플로리다주, 포트 로더데일에 소재하는 MAKO Surgical Corp.에 의해 제조된 RIO™ Robotic Arm Interactive Orthopedic System을 포함한다.
- [0048] 조종기 제어기(34)는 로봇 조종기(22)의 제어를 제공하기 위해 로봇 조종기(22)에 결합된다. 조종기 제어기(34)는 하나 이상의 컴퓨터, 또는 임의의 다른 적절한 형태의 제어기를 포함할 수 있다. 조종기 제어기(34)는 중앙 처리 유닛(CPU) 및/또는 다른 프로세서, 메모리(도시되지 않음), 및 저장 장치(도시되지 않음)를 가질 수 있다. 조종기 제어기(34)에는 다음에 설명되는 바와 같은 소프트웨어가 탑재된다. 프로세서는 로봇 조종기(22)의 동작을 제어하기 위한 하나 이상의 프로세서를 포함할 수 있다. 프로세서는 임의의 유형의 마이크로프로세서, 다중 프로세서, 및/또는 다중 코어 처리 시스템일 수 있다. 조종기 제어기(34)는 추가적으로 또는 대안적으로 하나 이상의 마이크로제어기, 필드 프로그램 가능 게이트 어레이, 시스템 온 칩, 이산 회로, 및/또는 본 명세서에서 설명된 기능을 수행할 수 있는 다른 적절한 하드웨어, 소프트웨어, 또는 펌웨어를 포함할 수 있다. 프로세서라는 용어는 임의의 실시형태를 단일 프로세서로 제한하도록 의도되지 않는다.
- [0049] 엔드 이펙터(36)는 로봇 아암(24)의 원위 단부(32)에 제거 가능하게 결합된다. 엔드 이펙터(36)는 절단 가이드(38)를 포함한다. 절단 가이드(38)는 절단 도구(40)가 원하는 방식으로(예를 들어, 원하는 절단 평면을 따라서, 원하는 궤적 등을 따라서) 환자(12)의 조직을 절단하도록 프리 핸드(free-hand) 수술 기구(42)의 절단 도구(40)를 가이드하도록 형상화되고 구성된다. 보다 구체적으로, 절단 도구(40)는 환자(12)의 조직에 대해 원하는 위치 및/또는 배향으로 가이드되도록 절단 가이드(38)와 협력한다. 절단 가이드(38)는 절단 도구(40)를 수용하기 위한 하나 이상의 가이드 부분(44)을 갖는다. 도시된 버전에서, 가이드 부분(44)은 톱날의 형태를 하는 절단 도구(40)를 수용하기 위한 날 수용 슬롯을 포함한다. 이러한 슬롯은 종래의 절단 가이드에서와 같이 톱날보다 약간만 더 크게 크기화될 수 있어서, 톱날은 사용자에게 의해 톱날에 약간의 횡방향 하중이 가해지더라도 대체로 슬롯과 동일한 배향으로 유지된다. 드릴, 버(bur) 및 리머와 같은 세장형의 대체로 원통형인 절단 도구를 수용하기 위한 것들, 및 윤곽화된 표면을 절단하기 위한 곡선 슬롯 등과 같은 다른 형태의 절단 가이드(38) 및 관련 가이드 부분이 또한 고려된다. 예를 들어, 도 1에 도시된 원통형 가이드 부분(44a)을 갖는 대안적인 절단 가이드(38a)를 참조한다. 로봇 조종기(22)는 다중 자유도, 예를 들어, 2, 3, 4, 5 또는 6 자유도로 움직이기 위해

절단 가이드(38)를 지지할 수 있다.

[0050] 프리 핸드 수술 기구(42)는 로봇 아암(24) 및 절단 가이드(38)와 독립적으로 동작될 수 있다. 한 버전에서, 프리 핸드 수술 기구(42)는 뼈와 같은 조직에서 평면 절단을 생성하기 위해 사용되는 진동 톱날을 갖는 수술용 톱이다. 프리 핸드 수술 기구(42)는 절단 도구(40)를 진동시키거나 그렇지 않으면 구동하기 위한 모터(MT)를 포함한다. 모터(MT)는 공압 또는 전기 모터를 포함하지만 이에 제한되지 않는 절단 도구(40)를 동작시키기 위한 임의의 적합한 유형의 모터일 수 있다. 모터(MT)는 예를 들어 수술 절차 동안 절단 도구(40)(예를 들어, 톱날)에 진동 운동을 제공하도록 구성된다. 이러한 프리 핸드 수술 기구(42)의 예는 그 전체에 있어서 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 "Surgical Sagittal Saw with Indexing Head and Toolless Blade Coupling Assembly for Actuating an Oscillating Tip Saw Blade"라는 명칭의 미국 특허 제7,704,254호에 개시되어 있다.

[0051] 절단 도구(40)가 톱날을 포함하는 버전에서, 톱날은 임의의 크기, 형상 또는 유형(즉, 직선형 날, 초승달형 날 등)의 톱날일 수 있다. 톱날은 프리 핸드 수술 기구(42)의 허브에 제거 가능하게 결합되도록 구성된 부착 부분을 포함할 수 있다. 톱날은 부착 부분 반대편에, 복수의 톱니를 갖는 절단 부분 또는 작업 부분(W)을 포함한다. 일부 실시형태에서, 톱날은 스탬핑 및/또는 기계 가공에 의해 금속과 같은 단일편의 재료로 형성된다. 톱날은 대체로 평평한 면을 가진 절단 자국(kerf)을 생성하도록 구성될 수 있거나, 또는 둥근 프로파일을 갖는 절단 자국을 제공하도록 구성될 수 있다. 톱날은 카트리지형 톱날을 포함할 수 있다. 톱날은 그 전체에 있어서 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 "Surgical Sagittal Saw Blade with a Static Bar and a Pivoting Blade Head, the Bar Shaped to Facilitate Holding the Blade to a Complementary Saw"이라는 명칭의 미국 특허 제8,444,647호에 도시된 것과 같을 수 있다. 다양한 구성의 톱날 또는 다른 절단 도구가 고려되었다.

[0052] 내비게이션 시스템(14)은 절단 가이드(38), 절단 도구(40), 환자의 관심 해부학적 구조, 예를 들어, 대퇴골(F) 및 경골(T), 및/또는 다른 대상체의 움직임을 추적하도록 설정된다. 내비게이션 시스템(14)은 사용자에게 대상체들의 상대적 위치 및 배향을 디스플레이하는 목적을 위해, 그리고 일부 경우에 환자의 해부학적 구조와 관련된 가상 경계에 대한 절단 가이드(38)의 배치를 제어하는 목적을 위해 이들 대상체들을 추적하고, 이에 의해 이러한 가상 경계에 대한 절단 도구(40)의 배치를 또한 제어한다. 절단 가이드(38)의 자세를 알기 위해, 내비게이션 시스템(14)은 내비게이션 및/또는 로봇 시스템의 다양한 구성요소 사이의 임의의 조합 또는 변형 또는 관계를 이용할 수 있다. 예를 들어, 절단 가이드(38) 자체 및/또는 로봇(및 베이스, 링크, 아암과 같은 로봇의 임의의 구성요소)은 절단 가이드(38)(및 절단 가이드의 각각의 슬롯)의 자세를 알기 위해 추적될 수 있다. 로봇은 관절들의 위치로부터 파생된 내비게이션 데이터 및/또는 운동학적 데이터를 사용하여 추적될 수 있다. 절단 가이드(38) 자세는 내비게이션 데이터로부터만, 운동학적 데이터로부터만, 또는 내비게이션 데이터와 운동학적 데이터의 임의의 조합으로부터 결정될 수 있다. 변환은 환자 및 수술대뿐만 아니라 본 명세서에서 설명된 임의의 추적기를 포함하는 내비게이션 시스템의 임의의 구성요소를 포함할 수 있다.

[0053] 본 명세서에서 설명된 임의의 구현을 위해, 로봇 조종기(22)는 절단 가이드(38)가 환자 움직임 전후에 환자에 대한 상대적 자세를 유지하도록 환자 움직임에 대응하는 방식으로 이동하도록 제어될 수 있다. 내비게이션 시스템은 로봇 조종기에 의해 홀딩되는 절단 가이드(38)의 자세 및 환자의 뼈의 자세를 측정할 수 있다. 시스템은 예를 들어 절단 가이드(38)가 식별된 위치, 목표 또는 평면과 정렬되는 것을 보장하기 위해 절단 가이드(38)를 적소에서 단단히 홀딩하도록 로봇 조종기를 제어한다. 시스템은 뼈의 자세에서의 변화를 결정하고, 뼈의 자세에서의 변화에 적어도 부분적으로 기초하여 절단 가이드(38)의 자세를 자동으로 조정할 수 있다. 뼈 위치에서의 변화는 작업자가 환자의 사지 또는 수술대를 움직일 때와 같은 상이한 조건이 원인일 수 있다. 이와 같이, 절단 가이드(38)와 뼈 사이의 공간적 관계는 수술이 수행됨에 따라서 실질적으로 변경되지 않은 채로 유지되고, 이에 의해 절단 가이드(38)가 환자 움직임 전에 의도된 대로 유지되는 것을 보장한다.

[0054] 내비게이션 시스템(14)은 내비게이션 제어기(48)를 수용하는 카트 조립체(46)를 포함한다. 사용자 인터페이스(UI)는 내비게이션 제어기(48)와 동작적으로 통신한다. 사용자 인터페이스(UI)는 카트 조립체(46)에 조정 가능하게 장착된 디스플레이(20)들, 및 내비게이션 제어기(48)에 정보를 입력하거나 그렇지 않으면 내비게이션 제어기(48)의 특정 양태를 선택/제어하도록 사용될 수 있는 키보드 및 마우스와 같은 입력 디바이스들을 포함한다. 예를 들어, 사용자 인터페이스(UI)는 치료받는 환자의 조직에 대한 절단 가이드(38)의 위치 및 배향 중 적어도 하나를 조정하기 위해 사용자로부터의 입력을 수신하도록 구성될 수 있다. 터치 스크린 또는 음성 활성화를 포함하는 다른 입력 디바이스가 고려된다.

[0055] 로컬라이저(16)는 내비게이션 제어기(48)와 통신한다. 도시된 실시형태에서, 로컬라이저(16)는 광학적 로컬라이저이고, 카메라 유닛을 포함한다. 카메라 유닛은 하나 이상의 광학 위치 센서(S)를 수용하는 외부 케이싱을 갖

는다. 일부 실시형태에서, 적어도 2개의 광학 센서(S)가 이용되고, 때때로 3개 이상이 이용된다. 광학 센서(S)는 별도의 전하 결합 소자(CCD)일 수 있다. 카메라 유닛은 이상적으로 장애물이 없는 후술되는 추적 디바이스(18)의 시야를 이용하여 광학 센서(S)를 위치시키도록 조정 가능한 아암에 장착된다. 일부 실시형태에서, 카메라 유닛은 회전 관절을 중심으로 회전하는 것에 의해 적어도 1 자유도로 조정 가능하다. 다른 실시형태에서, 카메라 유닛은 약 2 이상의 자유도로 조정 가능하다. 카메라 유닛은 또한 수술 절차 또는 그 특정 단계의 비디오 이미지를 생성하기 위해 중앙 비디오 카메라(45)를 포함할 수 있다.

[0056] 로컬라이저(16)는 광학 센서(S)로부터 신호를 수신하기 위해 광학 센서(S)와 통신하는 로컬라이저 제어기(50)를 포함한다. 로컬라이저 제어기(50)는 유선 또는 무선 연결(도시되지 않음)을 통해 내비게이션 제어기(48)와 통신한다. 이러한 연결 중 하나는 고속 통신 및 동시 실시간 데이터 전송(isochronous real-time data transfer)을 위한 직렬 버스 인터페이스 표준인 IEEE 1394 인터페이스일 수 있다. 연결은 회사 고유의 프로토콜을 사용할 수도 있다. 다른 실시형태에서, 광학 센서(S)는 내비게이션 제어기(48)와 직접 통신한다. 위치 및 배향 신호 및/또는 데이터는 대상체를 추적하는 목적을 위해 내비게이션 제어기(48)로 전송된다. 카트 조립체(46), 디스플레이(20), 및 로컬라이저(16)는 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 2010년 5월 25일자로 Malackowski 등에 등록된 미국 특허 제7,725,162호에 기술된 것일 수 있다.

[0057] 내비게이션 제어기(48)는 하나 이상의 컴퓨터, 또는 임의의 다른 적절한 형태의 제어기를 포함할 수 있다. 내비게이션 제어기(48)는 디스플레이(20), 중앙 처리 유닛(CPU) 및/또는 다른 프로세서, 메모리(도시되지 않음), 및 저장 장치(도시되지 않음)를 갖는다. 프로세서는 임의의 유형의 프로세서, 마이크로프로세서 또는 다중 프로세서 시스템일 수 있다. 내비게이션 제어기(48)에는 소프트웨어가 탑재된다. 예를 들어, 소프트웨어는 로컬라이저(16)로부터 수신된 신호를, 추적되는 대상체의 위치 및 배향을 나타내는 데이터로 변환한다. 내비게이션 제어기(48)는 추가적으로 또는 대안적으로 하나 이상의 마이크로제어기, 필드 프로그램 가능 게이트 어레이, 시스템 온 칩, 이산 회로, 및/또는 본 명세서에서 설명된 기능을 수행할 수 있는 다른 적절한 하드웨어, 소프트웨어, 또는 펌웨어를 포함할 수 있다. 프로세서라는 용어는 임의의 실시형태를 단일 프로세서로 제한하도록 의도되지 않는다.

[0058] 내비게이션 제어기(48), 조종기 제어기(34), 및 후술하는 도구 제어기(62)는 도 2에 도시된 로봇 수술 시스템(10)의 제어 시스템의 일부이다. 제어 시스템은 내비게이션 제어기(48), 조종기 제어기(34), 및 도구 제어기(62)의 기능을 수행하기 위해 단일 프로세서 또는 다중 프로세서를 포함할 수 있다. 제어 시스템은 본 명세서에서 설명된 기능 및 방법을 수행하는데 적합한 입력, 출력 및 처리 디바이스의 임의의 적절한 구성을 포함할 수 있다. 제어 시스템은 하나 이상의 마이크로제어기, 필드 프로그램 가능 게이트 어레이, 시스템 온 칩, 개별 회로, 센서, 디스플레이, 사용자 인터페이스, 표시기 및/또는 본 명세서에서 설명된 기능을 수행할 수 있는 다른 적절한 하드웨어, 소프트웨어 또는 펌웨어를 포함할 수 있다.

[0059] 내비게이션 시스템(14)은 본 명세서에서 추적기로서 또한 지칭되는 복수의 추적 디바이스(18)를 포함한다. 예시된 실시형태에서, 추적기(18)들은 환자, 예를 들어 대퇴골(F) 및 경골(T)에 결합되는 해부학적 구조 추적기들, 및 절단 가이드(38) 및 절단 도구(40)를 각각 추적하기 위해 엔드 이펙터(36) 및 프리 핸드 수술 기구(42)에 결합되는 도구 추적기들을 포함한다. 해부학적 구조 추적기는 뼈 나사, 뼈 핀 등을 통해 뼈의 섹션에 단단히 고정될 수 있다. 다른 경우에, 뼈에서의 클램프들이 해부학적 구조 추적기를 부착하도록 사용될 수 있다. 예를 들어, 클램프(51)를 갖는 록킹 가능한 관절 운동형 아암(49)(도 1 참조)은 뼈의 움직임을 제한하도록 (예를 들어, 환자의 바깥쪽 다리 주위를 클램핑하는 것에 의해) 뼈에 결합될 수 있으며, 추적기(18)는 클램프(51)에 부착될 수 있다. 추가적인 실시형태에서, 해부학적 구조 추적기는 해부학적 구조의 다른 조직 유형 또는 부분에 장착될 수 있다. 해부학적 구조 추적기가 부착될 수 있는 해부학적 구조에 대한 해부학적 구조 추적기의 위치는 그 자체의 추적기(18)가 있는 디지털화 프로브(P)(예를 들어, 내비게이션 포인터)가 표면 기반 등록을 위해 뼈 상의 뼈 랜드마크를 터치오프하거나 또는 뼈 상의 여러 지점을 터치하도록 사용되는 지점 기반 등록과 같은 등록 기술에 의해 결정될 수 있다. 종래의 등록 기술은 해부학적 구조 추적기의 자세를 환자의 해부학적 구조, 예를 들어, 치료받는 뼈와 상관시키도록 이용될 수 있다.

[0060] 도구 추적기는 엔드 이펙터(36), 절단 가이드(38), 절단 도구(40) 및/또는 프리 핸드 수술 기구(42)와 통합되거나, 이에 고정되거나 또는 제거 가능하게 결합될 수 있다. 도구 추적기는 절단 가이드(38)(또는 그 가이드 부분(44)) 및 절단 도구(40)(또는 그 작업 단부)에 대한 도구 추적기의 위치가 절단 가이드(38) 및 절단 도구(40)의 위치 및 배향을 추적하는 목적을 위해 내비게이션 시스템(14)에 의해 알려지도록 고정된다. 보다 구체적으로, 절단 가이드(38)의 가이드 부분(44)의 위치 및 배향 및 절단 도구(40)의 작업 단부의 위치 및 배향은 추적기(18)에 의해 추적될 수 있다. 절단 도구(40)의 작업 단부는 예를 들어 톱날의 톱니, 드릴의 팁, 버(bur)의 외부

표면, 리머의 바닥, 칼의 팁, RF 도구 팁, 초음파 도구 팁 등과 같은 절단 도구(40)의 원위 단부일 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 베이스 추적기(52) 및/또는 아암 추적기(54)는 또한 예를 들어 베이스(26) 또는 아암 링크(30)로부터 로봇 아암(24)의 원위 단부(32)로의 공간적 변환을 부분적으로 한정하는 로봇 아암(24)의 관절에서의 관절 인코더로부터 유도된 데이터와 결합될 때, 그리고 원위 단부(32)에 대한 절단 가이드(38)(또는 그것의 가이드 부분(44))의 위치를 설명하는 데이터와 조합될 때 절단 가이드(38)의 위치 및 배향을 추적하기 위해 베이스(26) 및/또는 아암 링크(30)들 중 하나에 결합될 수 있다.

[0061] 일부 실시형태에서, 추적기(18)는 수동적 추적기일 수 있다. 이들 실시형태에서, 각각의 추적기(18)는 로컬라이저(16)로부터 광학 센서(S)로 다시 광을 반사시키기 위한 적어도 3개의 수동적 추적 요소 또는 마커를 갖는다. 하나의 도시된 것과 같은 다른 실시형태에서, 추적기(18)는 능동적 추적기이고, 적외선과 같은 광을 광학 센서(S)로 전송하는 발광 다이오드(LED)와 같은 3개, 4개 또는 그 이상의 마커(M)를 가질 수 있다. 수신된 광 신호에 기초하여, 그리고 공지된 삼각 측량 기술을 이용하는 것에 의해, 내비게이션 제어기(48)는 로컬라이저(16)에 대한 추적기(18)의 상대적 위치 및 배향을 나타내는 데이터를 생성한다. 로컬라이저(16) 및 추적기(18)는 광학 추적 기술을 이용하는 것으로서 위에서 설명되었을지라도, 대안적으로 또는 추가적으로 전자기 추적, 무선 주파수 추적, 초음파 추적, 관성 추적, 이들의 조합 등과 같은 대상체를 추적하는 다른 추적 양식을 이용할 수 있다는 것을 이해해야 한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 내비게이션 시스템(14)은 대상체를 식별하거나, 위치를 결정하거나, 움직임을 추적하거나, 이들의 조합 등의 목적을 위해 광섬유, 머신 비전, 비디오 카메라 등을 이용할 수 있다.

[0062] 내비게이션 제어기(48)는 제거될 조직에 대한 절단 가이드(38)의 가이드 부분(44) 및/또는 절단 도구(40)의 작업 단부의 상대적 위치를 나타내는 이미지 신호를 생성한다. 이들 이미지 신호는 디스플레이(20)에 인가된다. 디스플레이(20)는 이러한 신호에 기초하여 사용자 및 직원이 수술 부위에 대한 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 상대적 위치를 보는 것을 가능하게 하는 이미지를 생성한다.

[0063] 본 명세서에서 설명된 시스템 및 방법에서, 가상 대상체들은 원하는 방식으로 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 움직임, 배치, 또는 동작을 제어(예를 들어, 제한, 구속, 방지 등)하도록 사용될 수 있다. 이들 대상체는 점, 선, 평면, 체적 등에 의해 한정될 수 있으며, 1-D, 2-D 또는 3-D일 수 있다. 이들 대상체는 모델로서 한정될 수 있으며, 중실형 모델(solid model)(예를 들어, 구성적인 중실형 기하학적 구조, 복셀(voxel) 등으로 구축된), 표면 모델(예를 들어, 표면 메시 등), 또는 1-D, 2-D, 또는 3-D 모델의 임의의 적절한 형태일 수 있다. 가상 대상체는 환자(12)의 해부학적 구조의 가상 모델 내에서 한정될 수 있거나, 또는 해부학적 구조의 가상 모델과 별개로 한정될 수 있다. 가상 대상체는 널리 공지된 등록 기술을 사용하여 환자의 실제 해부학적 구조에 매핑되는 환자 해부학적 구조의 이미지/모델(예를 들어, CT 스캐닝, X-선 이미지, MRI 이미지, 3-D 모델 등)에 수술 전 또는 수술 중에 등록될 수 있다. 이들 가상 대상체는 로봇 수술 시스템(10)의 제어 시스템(예를 들어, 내비게이션 제어기(48) 및/또는 조종기 제어기(34))에 있는 메모리에 저장된다. 일부 실시형태에서, 본 명세서에서 설명된 가상 대상체의 위치는 로봇 수술 시스템(10)이 환자(12)로부터 원하는 물질을 제거하는 것을 가능하게 하는 방식으로, 가상 대상체에 대한 절단 가이드(38)의 움직임 또는 배치를 제어하고 그리고/또는 절단 도구(40)의 움직임, 배치 및/또는 동작을 제어하기 위해 환자의 해부학적 구조에 매핑된다. 예를 들어, 아래에서 추가로 설명되는 바와 같이, 절단 가이드(38)의 배치는 절단 도구(40)가 사용자에게 의해 설정된 하나 이상의 가상 경계 세트 내에 머물도록 제어되고, 가상 경계 세트는 절단 도구(40)에 의해 제거될 환자(12)의 조직을 한정한다. 가상 대상체 또는 경계에 대한 응답은, 추가적으로 또는 대안적으로, 로봇 제한 모션, 사운드 피드백, 진동 피드백, 시각적 피드백, 기타 유형의 피드백, 및 이들의 임의의 조합과 같은, 그러나 이들로 제한되지 않는, 임의의 종류의 햅틱 응답일 수 있다.

[0064] 로봇 조종기(22)는, (1) 절단 가이드(38)의 움직임을 유발하기 위해 사용자가 엔드 이펙터(36)를 잡는 자유 모드(예를 들어, 직접적으로; 로봇 조종기(22)의 능동적 구동을 유발하는 힘/토크 센서(60)에서의 힘/토크 센서 측정을 통해; 수동적으로; 또는 기타); (2) 사용자가 자유 모드에서와 같이 움직임을 유발하기 위해 로봇 조종기(22)의 엔드 이펙터(36)를 잡지만, 로봇 수술 시스템(10)에 저장된 하나 이상의 가상 대상체에 의해 한정된 하나 이상의 가상 경계에 의해 움직임이 구속되는 햅틱 모드; (3) 절단 가이드(38)가 원하는 배치 및/또는 배향으로 로봇 조종기(22)에 의해 및/또는 원하는 경로를 따라서 자율적으로 이동되는 반자율 모드(예를 들어, 로봇 아암(24)의 활성 관절이 사용자로부터 엔드 이펙터(36) 상에서의 힘/토크를 요구하지 않고 절단 가이드(38)를 이동시키기 위해 동작되는); (4) 로봇 조종기(22)가 서비스를 가능하게 하기 위해 사전 프로그래밍된 자동화 움직임을 수행하는 서비스 모드; 또는 (5) 사용을 위한, 예를 들어, 트레이닝 등을 위한 로봇 조종기(22)의 준비를 용이하게 하는 다른 모드 중 하나 이상으로 동작하는 능력을 갖는다. 햅틱 모드 및 반자율 모드에서의 동작

의 예는 둘 모두의 전체 개시내용이 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 "Haptic Guidance System and Method"이라는 명칭으로 2011년 8월 30일자 등록된 미국 특허 제8,010,180호 및 "Surgical Manipulator Capable of Controlling a Surgical Instrument in Multiple Modes"라는 명칭으로 2015년 9월 1일자 등록된 미국 특허 제9,119,655호에 기술되어 있다.

[0065] 햅틱 모드에서 동작하는 동안, 사용자는 튕질, 드릴링, 리밍, 절제 등과 같은 환자에 대한 수술 절차를 수행하기 위해 원하는 위치 및/또는 배향으로 궁극적으로 절단 도구(40)를 배치하도록 절단 가이드(38)를 이동시키기 위해 로봇 조종기(22)를 수동으로 조종(예를 들어, 수동으로 이동시키거나 또는 수동으로 이동을 유발)한다. 예를 들어, 사용자는 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 미국 특허 제9,119,655호에 기술된 방식으로 힘/토크 센서(60)로부터의 피드백을 통해 수술용 조종기(22)를 조종하도록 엔드 이펙터(36)를 수동으로 잡을 수 있다.

[0066] 사용자가 절단 가이드(38)의 움직임을 유발하도록 로봇 조종기(22)를 조종함에 따라서, 내비게이션 시스템(14)은 관심 해부학적 구조에 대한 절단 가이드(38)의 위치를 추적하고, 환자의 해부학적 구조에 등록(매핑)된 하나 이상의 사전 한정된 가상 경계 넘어서 절단 가이드(38)를 수동으로 조종하는(예를 들어, 이동시키거나 또는 이동을 유발하는) 사용자의 능력을 제한하기 위해 햅틱 피드백(예를 들어, 힘 피드백)을 사용자에게 제공하고, 이는 튕질, 드릴링, 리밍, 절제 등을 위한 고도로 정확하고 반복 가능한 위치 설정을 야기한다. 이러한 햅틱 피드백은 수술 절차와 관련된 하나 이상의 사전 한정된 가상 경계를 넘어서 절단 가이드(38)를 사용자가 수동으로 조종하는 것을 제한하거나 금지하는 것을 돕는다. 햅틱 경계로서 또한 지칭될 수 있는 이러한 가상 경계를 한정하는 가상 대상체는 예를 들어 그 전체가 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 미국 특허 제8,010,180호에 기술되어 있다. 가상 대상체 또는 경계에 대한 응답은, 추가적으로 또는 대안적으로, 로봇 제한 모션, 사운드 피드백, 진동 피드백, 시각적 피드백, 기타 유형의 피드백, 및 이들의 임의의 조합과 같은, 그러나 이들로 제한되지 않는, 임의의 종류의 햅틱 응답일 수 있다.

[0067] 한 버전에서, 햅틱 모드에서, 조종기 제어기(34)는 엔드 이펙터(36)에서 사용자에게 의해 가해지고 힘/토크 센서(60)에 의해 측정된 힘 및 토크에 기초하여 절단 가이드(38)가 이동되어야 하는 원하는 위치를 결정한다. 이러한 버전에서, 대부분의 사용자는 원하는 위치에 도달하기 위해 로봇 조종기(22)를 임의의 적절한 양만큼 실제로 물리적으로 이동시킬 수 없지만, 로봇 조종기(22)는 힘/토크 센서(60)를 통해 인가된 힘 및 토크를 감지하고 관절 상의 능동적 모터가 움직임을 수행하고 있음에도 불구하고 사용자가 실제로 절단 가이드(38)를 이동시키고 있다는 인상을 사용자에게 제공하는 방식으로 반응하는 것에 의해 사용자의 원하는 위치 설정을 에뮬레이팅한다. 예를 들어, 사용자가 이동시키고자 하는 원하는 위치의 결정 및 절단 가이드(38)의 현재 위치(예를 들어, 자세)에 관한 정보에 기초하여, 조종기 제어기(34)는 절단 가이드(38)를 현재 위치로부터 원하는 위치로 재위치시키기 위해 복수의 링크(30)의 각각이 이동될 필요가 있는 범위를 결정한다. 복수의 링크(30)가 위치되어야 하는 위치에 관한 데이터는 복수의 링크(30)를 이동시키고, 이에 의해 절단 가이드(38)를 현재 위치로부터 원하는 위치로 이동시키도록 로봇 아암(24)의 활성 관절을 제어하는 관절 모터 제어기로 전달된다.

[0068] 햅틱 모드는 또한 로봇 조종기(22)의 수동 위치 설정(manual positioning)에 기초하여 사용자에게 반응력을 제공하는 것, 예를 들어, 절단 가이드(38)를 위치시키도록 로봇 조종기(22)의 링크(30) 중 하나 이상의 수동적 움직임에 응답하여 하나 이상의 관절 모터를 활성화하는 것을 포함하는 다른 방식으로 구현될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 다른 수동적 디바이스는 햅틱 피드백을 제공하는 것에 의해 절단 가이드(38)의 위치 설정을 제어하는 것을 돕기 위해 이용될 수 있으며, 이러한 수동적 디바이스의 위치는 조종기 제어기(34) 또는 내비게이션 제어기(48)에 의해 제어된다. 이러한 수동적 디바이스는 스프링, 자석 등을 포함할 수 있다.

[0069] 제어 시스템은 또한 사전 결정된 제한을 초과하는, 힘/토크 센서(60)에 의해 측정된 하나 이상의 힘 및 토크에 응답하여 로봇 조종기(22)의 동작을 햅틱 모드에서 자유 모드로 전환하도록 구성될 수 있다. 예를 들어, 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 미국 특허 제9,119,655호를 참조한다.

[0070] 일부 실시형태에서, 반자율 모드에서, 로봇 조종기(22)는 절단 가이드(38)를 이동시키기 위해 사전 한정된 경로, 사전 한정된 위치/배향, 및/또는 사전 한정된 움직임에 기초하여 자율적으로 작용한다. 이러한 경로/위치/배향/움직임은 수술 절차 동안 및/또는 수술 절차 전에 한정될 수 있다. 일부 실시형태에서, 사용자는 절단 가이드(38)를 원하는 위치 및/또는 배향으로 자율적으로 이동시키도록, 또는 그 전체가 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 미국 특허 제9,566,122호에 기술된 바와 같은 원하는 경로/움직임을 따르도록 펜던트를 통해 반자율 모드에서 로봇 조종기(22)를 제어하기 위한 입력을 제공한다.

[0071] 사용자 인터페이스(UI)는 반자율 모드에서 조종기 제어기(34)와 접속하고/하거나 자유 모드, 햅틱 모드, 반자율 모드, 서비스 모드, 및/또는 다른 모드 사이를 전환하도록 사용될 수 있다. 사용자 인터페이스(UI)는 별도의 제

여기를 포함할 수 있고/있거나, 조종기 제어기(34), 내비게이션 제어기(48) 및/또는 도구 제어기(62)에 입력을 제공할 수 있다. 사용자 인터페이스(UI)는 사용자 인터페이스(UI) 상의 작동 입력으로부터 생성되는 신호를 제어기(34, 48, 62) 중 하나 이상으로 전송하는 다양한 형태의 입력 디바이스(예를 들어, 스위치, 센서, 터치스크린 등)를 포함한다. 사용자가 절단 가이드(38)의 자율적 전진을 시작할 준비가 되면, 반자율 모드에서, 예를 들어, 사용자는 사용자 인터페이스(UI)의 관련 입력(예를 들어, 버튼을 누름)을 작동시킬 수 있다(그리고 자율 동작을 계속하기 위해 버튼을 누르고 있도록 요구받을 수 있다). 일부 버전에서, 하나 이상의 입력의 작동에 기초하여, 한 위치/배향으로부터 다음의 위치/배향으로 이동할 때 절단 가이드(38)의 이송 속도(예를 들어, 속도)가 제어될 수 있다.

[0072] 도 3을 참조하면, 수술 전 영상화 및/또는 수술 중 영상화는 환자의 무릎 관절과 같은 치료를 필요로 하는 환자의 해부학적 구조 또는 치료를 필요로 하는 환자의 다른 해부학적 구조를 시각화하기 위해 이용될 수 있다. 예를 들어, 사용자는 이미지에 대한 및/또는 CT 스캐닝 데이터, MRI 데이터 등으로부터 생성된 대퇴골(F) 및 경골(T)의 3-D 모델과 같은, 이미지로부터 생성된 하나 이상의 3-D 모델에 대해, 대퇴골 구성요소(66) 및 경골 구성요소(68)를 포함하는 무릎 임플란트(64)를 배치하는 위치를 계획한다. 이러한 모델은 또한 환자 특정 해부학적 구조와 유사하도록 모핑된(morphed) 일반적인 뼈 모델에 기초할 수 있다. 계획은 예를 들어 이미지 및/또는 적절한 3-D 모델에서 임플란트 구성요소의 원하는 자세를 식별하는 것에 의해, 무릎 임플란트의 각각의 임플란트 구성요소가 배치될 특정 뼈에 대한 당해 무릎 임플란트(64)의 각각의 임플란트 구성요소의 자세를 결정하는 것을 포함한다. 이것은 환자 해부학적 구조의 3-D 모델에 대해 임플란트 구성요소의 별도 3-D 모델을 생성하거나 위치 설정하는 것을 포함할 수 있다. 일단 계획이 설정되면, 그 계획은 실행을 위해 로봇 수술 시스템(10)으로 전송된다. 3-D 모델은 메쉬 표면, 구조적 입체 기하학(Constructive Solid Geometry: CSG), 복셀을 포함할 수 있거나, 또는 다른 3-D 모델링 기술을 사용하여 표현될 수 있다.

[0073] 가상 대상체는 로봇 조종기(22)의 움직임, 배치 또는 동작을 제어하기 위해 생성될 수 있으며, 이에 의해 절단 도구(40)(예를 들어, 톱, 드릴, 버, 리머, 나이프, RF 도구, 초음파 도구 등)의 작업 단부가 원하는 위치 및/또는 배향으로 배치되도록 절단 가이드(38)의 움직임 또는 배치를 제어한다. 이것은 수술 절차 동안, 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)가 임플란트를 수용하기 위해 제거될 물질의 경계선을 정하는 사전 한정된 가상 경계에 대해 원하는 위치 및/또는 배향으로 유지되도록 보장하는 것을 포함할 수 있다. 이것은 예를 들어, 수술 절차 동안, 절단 도구(40)(예를 들어, 버 또는 드릴)의 궤적이 가상 궤적에 의해 한정된 페그 구멍(peg hole)들의 원하는 자세와 정렬되고, 절단 도구(40)(예를 들어, 버 또는 드릴)의 궤적이 가상 궤적 등에 의해 한정된 고정 나사를 위한 파일럿 구멍(pilot hole)의 원하는 자세와 정렬되도록 하는 등을 보장하는 것을 포함한다. 이것은 절단 가이드(38) 및 절단 도구(40)(예를 들어, 시상 톱날)가 가상 절단 평면에 의해 한정된 원하는 절제/절단 평면과 정렬되어 있고/있거나 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)가 가상 가이드 용적 또는 가상 도구 용적에 의해 한정된 원하는 용적 내에 머물도록 보장하는 것을 더 포함한다. 이것은 또한 절단 도구(40)가 가상 깊이 스톱퍼에 의해 한정된 원하는 깊이까지만 조직을 침투할 수 있도록 절단 가이드(38)가 조직으로부터 적절하게 이격되도록 보장하는 것을 포함할 수 있다.

[0074] 로봇 수술 시스템(10) 및/또는 사용자는 원하는 절단 용적(cutting volume), 궤적, 평면 절단, 절단의 깊이 등과 관련된 가상 대상체를 수술 전에 한정할 수 있다. 원하는 절단 용적은 단순히 사용되는 임플란트의 기하학적 구조에 대응할 수 있다. 또한, 이러한 절단 용적은 해부학적 구조(예를 들어, 대퇴골(F) 및 경골(T))의 3-D 모델에 대한 임플란트의 위치를 계획하고 절차 동안 해부학적 구조의 3-D 모델과 함께 임플란트의 3-D 모델을 실제 해부학적 구조에 등록하는 사용자에게 의해 가상으로 한정되고 해부학적 구조에 등록될 수 있다. 맞춤형 가상 경계는 또한 환자 특정 해부학적 구조에 기초하여 생성될 수 있다. 다시 말해서, 사용되는 임플란트의 기하학적 구조에 기초하여 절단 용적을 한정하는 대신에, 절단 용적은 사용되는 임플란트의 기하학적 구조, 및 환자(12)의 조직과 관련된 가상 모델에 기초하여 환자를 위해 맞춤화된다. 이어서, 내비게이션 시스템(14)은 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)와 관련된 추적기(18)를 통해, 맞춤형 가상 경계에 대한 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 위치 및/또는 배향을 추적한다. 이러한 경우에, 제어 시스템(예를 들어, 조종기 제어기(34), 내비게이션 제어기(48), 및/또는 도구 제어기(62))은 절단 도구(40)가 조직을 절단하기 위해 절단 가이드(38)와 협력할 때 절단 도구(40)와 맞춤형 가상 경계 사이의 상호 작용에 응답하여 절단 도구(40)의 동작을 제어할 수 있다. 이러한 맞춤형 환자 특정 가상 대상체의 생성 및 사용은 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 미국 특허 제 8,977,021호 및 제 9,588,587호에 자세히 설명되어 있다. 가상 대상체 또는 경계에 대한 응답은, 추가적으로 또는 대안적으로, 로봇 제한 모션, 사운드 피드백, 진동 피드백, 시각적 피드백, 기타 유형의 피드백, 및 이들의 임의의 조합과 같은, 그러나 이들로 제한되지 않는, 임의의 종류의 햅틱 응답일 수 있다.

- [0075] 로봇 수술 시스템(10) 및/또는 사용자는 또한 원하는 절단 용적, 궤적, 평면 절단, 절단의 깊이 등과 관련된 가상 대상체를 수술 중에 한정할 수 있거나, 또는 수술 전에 한정된 가상 대상체를 수술 중에 조정할 수 있다. 예를 들어, 자유 모드에서, 사용자는 관심 해부학적 구조, 예를 들어 대퇴골(F)에 대해 원하는 진입점에서 절단 가이드(38)를 위치시키고, 절단 가이드(38)(예를 들어, 그 중심축)의 궤적이 원하는 방향으로 있다는 것을 디스플레이(20)가 보여줄 때까지 절단 가이드(38)를 배향시킨다. 사용자가 궤적에 만족하면, 사용자는 절차 동안 이러한 궤적을 유지될 원하는 궤적으로서 설정하기 위해 로봇 수술 시스템(10)에 입력을 제공한다. 입력은 내비게이션 제어기(48) 또는 조종기 제어기(34)에 결합된 마우스, 키보드, 터치스크린, 푸시 버튼, 발 페달 등과 같은 입력 디바이스를 통해 제공될 수 있다. 이러한 동일한 절차는 사용자가 원하는 평면 절단 등을 설정하기 위해 따를 수 있다. 절단 용적, 원하는 궤적, 원하는 평면 절단 등을 한정하는 가상 대상체의 가상 1-D, 2-D 또는 3-D 모델은 수술 절차 동안 검색을 위해 메모리에 저장된다.
- [0076] 로봇 수술 시스템(10)에 의해 사용되는 하나 이상의 가상 대상체는 내비게이션 포인터(P)로 관심 해부학적 구조를 터치하고 내비게이션 시스템(14)으로 해부학적 구조 상의 관련 지점을 캡처하는 것에 의해 내비게이션 포인터(P)에 의해 한정될 수 있다. 예를 들어, 내비게이션 포인터(P)(도 1)는 가상 경계를 개괄하도록 사용될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 내비게이션 포인터(P)는 절단 도구(40)에 의해 회피될 연조직 또는 다른 민감한 해부학적 구조를 묘사하도록 사용될 수 있다. 이들 지점은 예를 들어 절단 도구(40)가 이러한 영역을 피하도록 절단 가이드(38)의 위치/배향을 조정하기 위해 로봇 수술 시스템(10)에 탑재될 수 있다. 예를 들어 제거될 해부학적 구조, 회피될 해부학적 구조 등으로서 관심 해부학적 구조를 묘사 및/또는 한정하기 위해 다른 방법이 사용될 수 있다.
- [0077] 도 3은 절단 도구(40) 중 하나 이상이 원하는 방식으로 조직을 제거/치료하도록 로봇 수술 시스템(10)에 의해 사용될 수 있는 복수의 가상 대상체를 도시한다. 이러한 가상 대상체는 예를 들어 로봇 수술 시스템(10)이, (1) 원하는 위치 및/또는 배향에 대한 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 위치 및/또는 배향의 시각적 표시를 제공하고; (2) 원하는 위치 및/또는 배향에 대한 절단 가이드(38)의 위치 및/또는 배향의 촉각적 표시를 제공하기 위해 사용자에게 햅틱 피드백을 제공하고; 및/또는 (3) 절단 가이드(38)의 자율적 움직임을 가이드하는 것을 가능하게 한다. 예를 들어, 라인 햅틱 대상체(LH)는 원하는 궤적을 따라서 머물도록 절단 가이드(38a)의 움직임을 구속하기 위해 생성되어 로봇 수술 시스템(10)에 저장될 수 있다. 평면 햅틱 대상체(PH)는 원하는 절단 평면을 따라서 머물도록 절단 가이드(38)의 움직임을 구속하기 위해 생성될 수 있다. 평면 햅틱 대상체(PH)가 어떠한 두께도 없이 도시되었을지라도, 이들은 또한 일반적으로 절단 도구(40) 및/또는 가이드 부분(44)의 두께에 대응하는 두께를 갖는 용적일 수 있다. 다른 가상 대상체 형상, 크기 등이 또한 고려된다. 햅틱 대상체가 아닌 다른 형태의 가상 대상체가 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)에 대한 경계를 확립하기 위해 이용될 수 있으며, 이러한 경계는 절단 가이드(38)의 가이드 부분(들) 및/또는 절단 도구(40)의 작업 단부가 이러한 경계에 접근, 도달 및/또는 초과할 때를 사용자에게 보여주기 위해 디스플레이(20) 중 하나 이상에 표현될 수 있다.
- [0078] 동작시에, 도 4a 및 도 4b를 참조하면, 절단 가이드(38)는 먼저 로봇 조종기(22)에 결합된다. 일부 경우에, 로봇 아암(24) 상에서 상이한 엔드 이펙터 사이를 전환할 때 무균을 유지하기 위해, 멸균 배리어(72)가 엔드 이펙터(36)와 로봇 아암(24) 사이에 위치될 수 있다. 레버(70)는 그 전체가 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 "Sterile Barrier Assembly, Mounting System, and Method for Coupling Surgical Components"라는 명칭으로 2016년 2월 19일자 출원된 미국 특허 공개 제2016/0242861호에 기술된 방식으로 엔드 이펙터(36)를 로봇 아암(24)에 클램핑하도록 사용될 수 있다. 절단 가이드(38)가 로봇 조종기(22)에 고정되면, 절단 가이드(38)는 절단 도구(40)를 수용하고 그 이동을 가이드하도록 사용될 수 있다.
- [0079] 도 5a 내지 도 5f는 제어 시스템에서 가상 절단 평면으로서 한정되는 원하는 절단 평면(74)에 대해 절단 가이드(38)의 일련의 움직임 및 배치를 도시한다. 전체 무릎 절차 동안과 같은 일부 절차에서, 조직에 대해 다수의 절단이 행해지며, 이러한 절단 중 임의의 절단은 본 명세서에서 설명된 방법을 이용할 수 있다. 일부 실시형태에서, 절단은 사전 결정된 최종 깊이가 도달될 때 절단이 완료되도록 조직을 완전히 침투하거나 조직을 부분적으로만 침투할 수 있다. 절단 평면(74)은 조직의 촬영된 수술 전 이미지를 사용하여 생성된 조직의 가상 3-D 모델 상에 원하는 평면 절단을 한정하는 것과 같이 사용자에게 의해 수술 전에 한정될 수 있다. 원하는 평면 절단은 또한 임플란트 구성요소의 형상과 임플란트 구성요소의 3-D 모델에 의해 한정될 수 있다. 절단 평면(74)은 사용자에게 의해 또는 제어 시스템에 의해 자동으로 수술 중에 한정될 수 있다. 절단 평면(74)의 위치 및 배향은 조직에 부착된 추적기(18) 및 조직에 대한 추적기(18)의 등록에 의해 수술 절차 동안 조직이 이동함에 따라서 내비게이션 시스템(14)에 의해 추적될 수 있다. 절단 평면(74)의 위치는 절단 평면(74)을 포함하는 3-D 모델에 매핑되는

것에 의해 추적될 수 있다. 로봇 조종기(22)는 절단 평면(74)의 움직임을 수용하고, 필요할 때 조직에 대해 절단 평면(74)에 머무르는 것과 같이 조직에 대해 임의의 원하는 관계를 유지하도록 필요에 따라 그 자체의 위치 설정을 자율적으로 조정한다. 이러한 제어는 예를 들어, 모두 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 미국 특허 제 8,010,180호, 제9,119,655호 또는 미국 특허 공개 제2014/0180290호에 기술되어 있다.

[0080] 제어 시스템은 로봇 조종기(22)를 통해 절단 가이드(38)의 움직임 및 배치를 제어하도록 구성된다. 절단 가이드(38)가 로봇 조종기(22)에 결합되고, 가이드 부분(44)이 원하는 절단 평면(74)에서 절단 도구(40)를 수용하기 위해 위치되도록 사용자가 절단 가이드(38)를 이동/배치할 준비가 되면, 제어 시스템은, 절단 도구(40)가 절단 가이드(38)와 협력하도록 배치될(예를 들어, 절단 가이드(38)의 가이드 슬롯 내로 배치될) 때 절단 평면(74) 상에 위치되도록(예를 들어, 이와 정렬되도록) 절단 가이드(38)를 이동시키기 위해 로봇 아암의 관절 모터를 제어하도록 로봇 아암(24)에 명령을 전송할 것이다. 사용자는 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 미국 특허 공개 제 2014/0180290호에 기술된 방식으로 원하는 위치 및/또는 배향으로 절단 도구(40)가 절단 평면(74)과 자동으로 정렬되도록 절단 가이드(38)를 자율적으로 위치시키기 위해 로봇 수술 시스템(10)을 동작시킬 수 있다. 절단 도구(40)는 절단 평면(74)과 동일한 일반적인 배향으로 있는 것에 의해 절단 평면(74)과 정렬되어, 절단 평면(74)은 절단 도구(40)를 통과하거나 이에 인접한다. 일부 단계에서, 사용자는 본 명세서에서 설명된 햅틱 안내에 의해 원하는 위치 및/또는 배향으로 절단 가이드(38)를 위치시킬 수 있다.

[0081] 로봇 수술 시스템(10)은 내비게이션 시스템(14) 및 관련 추적기(18, 52, 54)에 의해 및/또는 로봇 아암(24)의 관절에 있는 인코더에 의해 필요에 따라 절단 도구(40)의 위치를 찾기 위해 절단 평면(74)에 대해 절단 가이드(38)의 위치 및 배향을 결정할 수 있다. 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 현재 위치/배향 및/또는 환자의 해부학적 구조에 대한 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 원하는 위치/배향이 디스플레이(20)에서 표현되고, 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)가 원하는 위치/배향(예를 들어, 절단 평면(74) 상의)에 있을 때를 사용자가 시각화할 수 있도록 실시간으로 업데이트된다.

[0082] 도 5a에서, 절단 평면(74)은 뼈와 같은 조직의 외부 표면을 가로질러 배치된 것으로 도시되어 있다. 여기에서, 제어 시스템은 절단 도구(40)가 절단 가이드(38)의 가이드 부분(44)과 협력하여 위치될 때 절단 도구(40)가 원하는 절단 평면(74)과 정렬되도록 조직에 대한 초기 목표 위치 및/또는 배향으로 절단 가이드(38)를 자율적으로 배치하였다. 제어 시스템은 절단 도구(40)가 절단 가이드(38)를 통해 조직과 접촉할 수 없도록 조직으로부터 이격된 시작 거리(D1)에서 초기 목표 위치 및/또는 배향으로 절단 가이드(38)를 자율적으로 위치시키기 위해 로봇 조종기(22)를 동작시킬 수 있다. 시작 거리(D1)는 가이드 부분(44)의 중심(예를 들어, 절단 가이드(38)의 밑면에 있는 슬롯의 중심)으로부터 절단 평면(74)에서의 조직의 가장 가까운 표면까지의 거리로서 한정될 수 있다. 시작 거리(D1)는 다른 방식으로 또한 한정될 수 있다.

[0083] 조직의 외부 표면이 아치형이거나 곡선화되고 절단 평면(74)이 통상적으로 외부 표면으로부터 비직각으로 연장되기 때문에, 조직에 인접 및/또는 접하지 않고 절단 가이드(38)를 조직에 더 가깝게 이동시키는 것만으로도 곡선화된 외부 표면을 따라서 절단 도구(40)의 스카이빙(skiving)을 야기할 수 있다. 이를 위해, 도 5b를 참조하면, 절단 가이드(38)는 먼저 이러한 스카이빙을 제한하기 위해 조직에 인접한 초기 가이드 위치(GL1)에 위치된다. 초기 가이드 위치(GL1)에서, 절단 가이드(38)는 조직에 인접하게 배치되고, 조직에 접할 수 있다. 초기 가이드 위치(GL1)는 내비게이션 시스템(14)으로부터의 데이터에 기초하여 내비게이션 제어기(48)에 의해 결정될 수 있다. 초기 가이드 위치(GL1)는 수술 절차 동안 다양한 대상체의 상대적 위치 및 배향을 추적하는 목적을 위한 공통 좌표계로서 작용할 수 있는 로컬라이저(16)의 로컬라이저 좌표계(LCLZ)에서 절단 가이드(38)의 가이드 좌표계(GCS)의 위치 및 배향일 수 있다(다른 좌표계는 대상체가 종래의 좌표 변환 기술을 사용하여 변환되는 공통 좌표계로서 사용될 수 있다). 그러므로, 초기 가이드 위치(GL1)는 절단 가이드(38)의 표면이 조직에 인접하는, 절단 가이드(38)의 위치로서 결정될 수 있으며, 조직은 절단 가이드(38)가 목표 배향으로 있을 때 또한 로컬라이저 좌표계(LCLZ)에서 추적된다.

[0084] 제어 시스템은 절단 가이드(38)를 초기 가이드 위치(GL1)로 이동시키기 위해 로봇 조종기(22)를 자율적으로 동작시킬 수 있거나, 또는 햅틱 모드에서와 같이 절단 가이드(38)를 이동시키기 위해 로봇 조종기(22)의 수동 조종을 제어할 수 있다. 햅틱 모드에서, 제어 시스템은 사용자가 목표 배향으로부터(예를 들어, 원하는 평면(74)으로부터) 벗어나 절단 가이드(38)를 이동시키는 것을 방지하는 한편, 사용자가 가상 평면 경계와 같은 하나 이상의 가상 대상체를 통해 목표 배향에서 임의의 원하는 위치로 절단 가이드(38)를 이동시키는 것을 가능하게 한다. 보다 구체적으로, 제어 시스템은 절단 가이드(38)가 초기 가이드 위치(GL1)에서 목표 배향으로 유지되도록 조직에 인접한 초기 가이드 위치(GL1)로 뼈를 향해 절단 가이드(38)를 이동시키기 위해 사용자가 엔드 이펙터(36)를 수동으로 조종함에 따라서 절단 가이드(38)의 움직임을 구속한다. 이를 위해, 제어 시스템은 절단 가이드

드(38)를 이동시키도록 사용자에게 지시하기 위해 디스플레이(20)(도 5a 참조) 상에 명령(INS1)을 생성할 수 있다. 본 명세서에서 설명된 명령이 디스플레이(20) 상에서 제어 시스템에 의해 생성된 시각적 명령을 참조하지만, 이러한 명령, 및 본 명세서에서 설명된 임의의 다른 명령은 또한 청각적 명령 또는 촉각적 명령일 수 있다.

[0085] 일부 경우에, 제어 시스템은 절단 가이드(38)가 동일한 목표 배향으로(도 5a 및 도 5b와 비교하여)에서 머무는 동안 원하는 궤적(76)을 따라서 초기 목표 위치/배향으로부터 초기 가이드 위치(GL1)로 병진될 수만 있도록 절단 가이드(38)의 움직임을 제한할 수 있다. 이러한 경우에, 가상 라인과 같은 다른 가상 경계가 활성화되어 원하는 궤적(76)을 한정할 수 있다. 따라서, 사용자는 절단 가이드(38)를 재배향시킬 수 없고, 예를 들어 원하는 궤적(76)을 따라서 대퇴골(F)을 향하여 단일 방향으로만 절단 가이드(38)를 이동시킬 수 있다. 일부 버전에서, 절단 가이드(38)의 초기 가이드 위치는 조직에 인접할 수 있지만, 원하는 궤적(76) 또는 목표 배향과 반드시 정렬되지 않는다. 대신에, 초기 가이드 위치는 잠재적인 스카이빙 효과(예를 들어, 편향)를 추가로 제한하기 위해 절단 도구(40)가 조직에 접선으로 배치되는 배향으로 한정될 수 있다. 내비게이션 시스템(14)은 절단이 시작되면 절단 도구(40)의 깊이를 모니터링할 수 있고, 그 후 조직 내로의 지정된 침투 깊이가 달성되었으면 절단 가이드(38)를 원하는 궤적/배향으로 자동으로 정렬할 수 있다.

[0086] 도 5b 내지 도 5e를 참조하면, 제어 시스템은 절단 가이드(38)가 조직에 인접하게 위치되는 동안 사용자가 절단 도구(40)로 원하는 절단 평면(74)을 따라서 초기 절단을 행할 수 있도록 조직에 대해 초기 가이드 위치(GL1)에서 절단 가이드(38)를 효과적으로 록킹하도록 로봇 조종기(22)를 동작시킨다. 이것은 절단 도구(40)의 스카이빙을 방지하는 것을 돕는다. 조직에 대해 원하는 위치/배향에서 록킹되면, 사용자는 조직 내로 초기 절단을 수행하기 위해 절단 도구(40)를 사용할 수 있다. 이것은 절단 가이드(38)의 가이드 부분(44) 내로 절단 도구(40)를 삽입하고 별도의 사용자 인터페이스(UI)(도 2 참조)를 통해 수술 기구(42)의 동작을 개시하는 것을 포함할 수 있다. 대안적으로, 제어 시스템은 조직의 외부 표면에 대한 초기 절단을 시작하기 위해 절단 도구(40)를 진동시키기 시작하도록 수술 기구(42)의 모터(MT)를 자동으로 동작시킬 수 있다. 절단은 또한 사용자 입력(예를 들어, 트리거)에 대한 응답일 수 있다. 제어 시스템은 절단 도구(40)가 가상 경계를 만나거나 초과하는 경우와 같이 절단을 용이하게 하고/하거나 절단을 비활성화하기 위해 모터(MT)의 동작을 제어할 수 있다.

[0087] 모터(MT)가 동작하고 있으면, 도 5d 및 도 5e를 참조하면, 절단 도구(40)는 노치(80)와 같은 조직 내로의 초기 절단을 형성하기 위해 조직을 향해 절단 평면(74)을 따라서 이동된다(도 5e 참조). 하나 이상의 가상 경계(예를 들어, 가상 스톱퍼)는 사용자가 필요한 초기 노치(80)를 넘어서 절단하는 것을 방지하기 위해 활성화될 수 있다(예를 들어, 가상 경계는 절단 평면(74)을 따르는 깊이에서의 제한일 수 있다). 예를 들어, 절단 도구(40)보다 약간 더 큰 축 방향 폭(진동을 수용하기 위해) 및 초기 노치(80)의 원하는 깊이에서의 깊이를 갖는 가상 경계(예를 들어, 가상 평면)가 제어 시스템에 프로그램될 수 있어서, 프리 핸드 방식으로 초기 노치(80)보다 더 깊게 절단 도구(40)를 이동시키려는 사용자의 임의의 시도는 절단 도구(40)가 조직 내로 임의의 추가적으로 침투할 수 없도록 도구 제어기(62)가 모터(MT)를 비활성화하거나, 또는 절단 도구(40)를 제어하는 결과를 야기한다.

[0088] 사전 결정된 깊이가 도달되고 초기 노치(80)가 형성되면, 절단 도구(40)는 절단 가이드(38)로부터 인출되고, 절단 가이드는 이격된 가이드 위치(GL2)로 이동된다(도 5e). 제어 시스템은 사용자가 절단 도구(40)로 조직에서 원하는 절단 평면(74)을 따라서 초기 절단을 행한 후에 초기 가이드 위치(GL1)로부터 멀어지게 이격된 가이드 위치(GL2)로 절단 가이드(38)의 인출을 용이하게 한다. 절단 가이드(38)는 이격된 가이드 위치(GL2)에서 목표 배향으로 있고, 이격된 가이드 위치(GL2)는 절단 도구(40)가 원하는 절단 평면(74)을 따라서 조직을 계속 절단하게 하는데 적합하다. 한 버전에서, 제어 시스템은 조직으로부터 멀어지게 절단 가이드(38)를 자율적으로 인출하고 절단 가이드(38)를 초기 가이드 위치(GL1)로부터 이격된 가이드 위치(GL2)로 이동시키도록 로봇 조종기(22)를 동작시키는 것에 의해 인출을 용이하게 한다. 추가적으로 또는 대안적으로, 제어 시스템은 절단 가이드(38)가 초기 가이드 위치(GL1)에 있는 동안 사용자가 절단 도구(40)로 조직에서 초기 절단을 행하도록 디스플레이(20)(도 5b) 상에서 명령(INS2)을 생성하고, 초기 절단이 행해진 후에 사용자가 조직으로부터 멀어지게 절단 가이드(38)를 인출하기 위한 명령(INS3)을 생성한다. 이러한 경우에, 제어 시스템은 초기 절단이 행해진 후에 조직으로부터 멀어지게 절단 가이드(38)를 사용자가 인출하도록 엔드 이펙터(36)를 수동으로 조종함에 따라 선택 모드에서 햅틱 피드백을 통해 절단 가이드(38)의 움직임을 구속하도록 로봇 조종기(22)를 동작시킨다.

[0089] 이격된 가이드 위치(GL2)는 원하는 절단 평면(74)에서 원하는 궤적(76)을 따라서 한정된 또 다른 가상 스톱퍼와 같은 가상 대상체에 의해 한정될 수 있다. 이격된 가이드 위치(GL2)는 또한 이격된 가이드 위치(GL2)가 상이한 절단 도구(40)에 대해 상이하도록 절단 도구(40)와 관련된 하나 이상의 파라미터에 기초하여 결정될 수 있다. 하나 이상의 파라미터는 절단 도구(40)의 길이; 절단 도구(40)의 폭; 절단 도구(40)가 절단 가이드(38)를 통해

조직 내로 절단할 수 있는 최대 깊이; 및 절단 도구(40)의 추적된 위치 중 적어도 하나를 포함한다. 도 5e의 디스플레이(20)에 도시된 바와 같이, 내비게이션 시스템(14)은 절단 가이드(38)가 이격된 가이드 위치(GL2)에 있을 때 절단 도구(40)에 의해 도달될 수 있는 면적의 영역(R1)의 시각적 표현을 생성한다. 이것은 절단 도구(40)의 도달 범위를 이해하고, 절단되도록 의도되지 않은 섬세한 구조와 절단 도구(40)가 접촉할 수 있는 곳을 시각화하는 것을 도울 수 있다. 이격된 가이드 위치(GL2)는 또한 로컬라이저 좌표계(LCLZ)에서의 절단 가이드(38)의 가이드 좌표계(GCS)의 위치 및 배향일 수 있다.

[0090] 절단 가이드(38)가 이격된 가이드 위치(GL2)로 이동되면, 사용자는 원하는 절단 평면(74)을 따라서 조직에 대한 평면 절단을 완료할 수 있다. 또한 도 5e에서의 명령(INS4)을 참조한다. 도 5f는 절단 도구(40)를 사용한 절제가 완료된 후 조직의 완성된 평면 표면(FPS)을 도시한다.

[0091] 도 6a 내지 도 8b를 참조하면, 절단 가이드(38)가 원하는 절단 평면(74)과 정렬된 목표 배향으로 있는 동안 원하는 궤적(76)에 대해 다른 배향으로 배치되는 것이 바람직할 수 있다. 절단 가이드(38)의 이러한 재배향은 절단 도구(40)의 도달 범위를 변경한다. 그러므로, 절단 도구(40)에 의해 절단될 수 있는 조직의 영역이 변경된다. 예를 들어, 도 6a에 도시된 바와 같이, 절단 가이드(38)의 중심축(CA)이 원하는 궤적(76)(조직에 대한 제1 가이드 각도를 나타내는)과 일렬로 배향될 때, 절단 가이드(38) 및 프리 핸드 수술 기구(42)의 물리적 제약/간섭에 의해 제한된 절단 도구(40)는 원하는 절단 평면(74)에서의 제1 면적/영역(R1)에 도달할 수 있다(도 6b 참조). 따라서, 제1 영역(R1)에 위치되는 섬세한 해부학적 구조(DAS)(예를 들어, 인대, 힘줄, 신경 등)는 절단 도구(40)에 의해 우발적으로 절단될 수 있다. 그러나, 그 중심축(CA)이 도 7a에 도시된 바와 같이 원하는 궤적(76)(조직에 대한 제2 가이드 각도를 나타내는)에 대해 예각이도록 절단 가이드(38)가 재배향되면, 제2 면적/영역(R2)은 절단 도구(40)에 의해 접근 가능하고, 섬세한 해부학적 구조(DAS)는 제2 영역(R2) 외부에 있고, 절단 도구(40)에 의해 도달될 수 없다(도 6b 및 도 7b 비교). 로봇 조종기(22)는 절단 도구(40)가 원하는 절단 평면(74)과 정렬되고 있는 방식으로 절단 가이드(38)가 재배향되도록 제어된다. 도 8a 및 도 8b에 도시된 바와 같이, 제어 시스템은, 절단 가이드(38)의 재배향이 원하는 절단 평면(74)의 잠재적 조직에 어떻게 영향을 미치는지 사용자가 시각화할 수 있도록 절단 가이드(38)가 재배향됨에 따라서, 절단 도구(40)에 의해 도달될 수 있는 영역(R1, R2)의 시각적 표현을 변경하도록 구성된다.

[0092] 도 8c 내지 도 8e를 참조하면, 원하는 절단 평면(74)이 둘 모두 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 미국 특허 제8,977,021호 및 제9,588,587호에 기술된 방식으로 생성된 환자 특정 절단 경계(PSCB)를 갖는 것으로 도시되어 있다. 앞서 언급한 바와 같이, 맞춤형 가상 경계는 환자 특정 해부학적 구조에 기초하여 생성될 수 있다. 이러한 경우에, 환자 특정 절단 경계(PSCB)는 예를 들어 수술 전 영상화, 수술 중 영상화 및/또는 수술용 내비게이션 등에 의해 결정된 바와 같이 환자의 해부학적 구조에 기초한 원하는 절단 평면(74)에서 환자의 대퇴골(F)의 절단의 원하는 제한을 나타낸다. 환자 특정 절단 경계(PSCB)에 의해 부과되는 절단 제한은 뼈의 특정 부분의 절단을 피하고, 뼈를 넘는 절단을 피하고, 인대 절단을 피하고, 다른 연조직을 피하는 것 등일 수 있다. 환자 특정 절단 경계(PSCB)는 환자의 해부학적 구조의 이미지 및/또는 모델에 대해 한정되고, 그러므로 해부학적 구조 추적기(18)를 통해 또는 다른 추적 방법을 통해 공통 좌표계에서 추적될 수 있다.

[0093] 한 버전에서, 내비게이션 시스템(14)은 환자 특정 절단 경계(PSCB)에 대한 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 위치 및/또는 배향을 추적한다. 일부 경우에, 제어 시스템(예를 들어, 조종기 제어기(34), 내비게이션 제어기(48), 및/또는 도구 제어기(62))은 절단 도구(40)가 조직을 절단하기 위해 절단 가이드(38)와 협력할 때 절단 도구(40)와 환자 특정 절단 경계(PSCB) 사이의 상호 작용에 응답하여 절단 도구(40)의 동작을 제어한다. 예를 들어, 제어 시스템은 환자 특정 절단 경계(PSCB)에 대한 또는 다른 사전 한정된 경계에 대한 절단 도구(40)의 작업 단부의 위치 및/또는 배향에 기초하여 절단 도구(40)로의 전력을 제어할 수 있다.

[0094] 내비게이션 제어기(48)는, (1) 절단 도구(40)가 환자 특정 절단 경계(PSCB) 내에 있는지의 여부(예를 들어, 환자 특정 절단 경계(PSCB)가 위반되었는지의 여부); (2) 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)가 수술 절차의 특정 단계 동안 정확한 구역(예를 들어, 용적)에 있는지의 여부; (3) 절단 도구(40)가 환자의 해부학적 구조에서 원하는 깊이에 도달했는지의 여부; 및/또는 (4) 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)가 원하는 평면 또는 축에서/으로부터 벗어나 동작하는지의 여부와 같은, 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 하나 이상의 현재 조건을 결정할 수 있다. 이러한 조건은 절단 도구(40)에 동작 가능하게 결합된 모터(MT)에 전력이 인가될 수 있는지의 여부를 나타낸다. 내비게이션 제어기(48)는 현재 조건에 기초하여 조종기 제어기(34) 및/또는 도구 제어기(62)에 하나 이상의 제어 신호를 전송할 수 있다. 일부 버전에서, 현재 조건이 모터(MT)에 전력을 공급하는데 적합하다고, 도구 제어기(62)에 의해 수신된 제어 신호(들)가 나타내면, 도구 제어기(62)는 모터(MT)에 전력을 인가할 수 있다. 물론, 다수의 조건이 절단을 시작하기 위해 모터(MT)에 전력이 인가되기 전에 충족될 필요

가 있을 수 있다. 제어 시스템은 조건 중 하나 이상이 충족되지 않을 때, 예를 들어 환자 특정 절단 경계(PSCB)가 도달되거나 초과되었을 때, 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)가 정확한 구역 밖에 있을 때, 절단 도구(40)는 원하는 깊이에 있을 때, 및/또는 절단 도구(40)가 원하는 평면/축으로부터 벗어나 절단하고 있을 때, 절단 도구(40)의 동작을 조정하거나 중지시킬 수 있다.

[0095] 제어 시스템은 절단 도구(40)의 동작을 조정 및/또는 중지시키는 것 외에 다른 방식으로 그 조건에 기초하여 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 동작을 제어하고/하거나 피드백을 제공할 수 있다. 예를 들어, 내비게이션 제어기(48)는 조종기(22), 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 진동이 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 조건들 중 임의의 것을 나타내게 하도록 조종기 제어기(34) 및/또는 도구 제어기(62)에 하나 이상의 제어 신호를 전송할 수 있다. 예를 들어, 편심 모터(도시되지 않음), 압전 소자(도시되지 않음) 등은 수술 기구(42)에 배치되고, 이러한 진동을 유발하도록 도구 제어기(62)에 결합될 수 있다. 일부 버전에서, 내비게이션 제어기(48)는 조건들 중 하나 이상이 충족될 때 수술 기구(42)의 핸드헬드 부분의 진동을 유발하도록 편심 모터/압전 소자를 동작시키기 위해 도구 제어기(62)에 신호를 전송할 수 있다. 이러한 조건은, (1) 절단 도구(40)가 환자 특정 절단 경계(PSCB)의 일부의 사전 한정된 거리 내에 있는 것; (2) 절단 도구(40)가 환자 특정 절단 경계(PSCB) 밖에 있는 것; (3) 절단 가이드(38)가 뼈에 대해 원하는 위치에 있는 것; (4) 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)가 원하는 평면/축에서 벗어난 것; 및/또는 (5) 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)가 원하는 평면/축 상에 있는 것 등을 포함하지만 이에 제한되지 않는 본 명세서에 개시된 조건 중 임의의 조건을 포함할 수 있다. 유사한 피드백이 추가적으로 또는 대안적으로 사용자 및/또는 다른 사람이 착용한 손목 밴드(도시되지 않음)에 전송될 수 있다. 이러한 손목 밴드는 진동을 유발하기 위해 자체의 편심 모터, 압전 소자 등을 포함할 수 있다. 손목 밴드는 블루투스, 지그비(Zigbee), 또는 다른 통신 프로토콜을 통해 내비게이션 제어기(48)와 무선 통신하는 제어기를 더 포함할 수 있다. 진동은 또한 절단 가이드(38) 상에서 및/또는 조종기 제어기(34), 내비게이션 제어기(48), 및/또는 도구 제어기(62)에 동작적으로 결합된 조종기(22)를 통해(예를 들어, 별도의 편심 모터/압전 소자를 통해) 생성될 수 있다. 조종기(22)의 관절 모터는 또한 그 정류(commutation) 등을 통해 진동을 생성하도록 조종될 수 있다.

[0096] 추가적으로 또는 대안적으로, 제어 시스템은 절단 도구(40)가 환자 특정 절단 경계(PSCB)를 넘어서 조직을 절단할 수 없도록 절단 가이드(38)의 위치 설정을 동적으로 제어할 수 있다. 예를 들어, 도 8c를 참조하면, 제어 시스템은 하나 이상의 자유도로 절단 가이드(38)의 위치 설정을 자율적으로 제어할 수 있다. 예를 들어, 환자 특정 절단 경계(PSCB)에 대해 절단 도구(40)의 배치를 제어하고 여전히 원하는 절단 평면(74) 상에서 절단 도구(40)를 유지하기 위해 제어 시스템에 의해 조정될 수 있는, 도 8c에서 화살표로 도시된 절단 가이드(38)의 움직임의 3개의 가능한 자유도를 참조한다. 이러한 조정에 더하여, 제어 시스템은 또한, 절단 가이드(38)와 대퇴골(F) 사이의 원하는 관계를 유지하기 위해, 예를 들어, 절단 도구(40)를 원하는 절단 평면(74) 상에, 그리고 환자 특정 절단 경계(PSCB)에 대해 원하는 위치에 유지하기 위해 대퇴골(F)이 이동함에 따라서, 절단 가이드(38)를 자동으로 이동시키도록 조종기(22)를 동작시킬 수 있다.

[0097] 절단 가이드(38)의 위치 및/또는 배향의 자율적인 제어는 사용자가 절단 가이드(38)를 하나 이상의 자유도에서 수동으로 이동시키는(또는 수동으로 그 이동을 유발하는) 조종기(22)의 수동 조종과 협력할 수 있다. 예를 들어, 사용자가 1 자유도, 즉 수직으로 이동시키기 위해 절단 가이드(38)를 수동으로 조종함에 따라서, 제어 시스템은 절단 가이드(38)를 자동으로 측 방향으로 이동시켜서, 항상 절단 가이드(38)는 절단 도구(40)가 환자 특정 절단 경계(PSCB)를 넘어 침투할 수 없도록 배치된다. 한 실시형태에서, 힘/토크 센서(60)가 이용될 때, 사용자는 절단 가이드(38)를 대퇴골(F)을 향해 아래쪽으로 이동시키려는 욕구를 나타내는 입력 힘을 실질적으로 수직 방향으로 인가할 수 있다. 그러나, 단순히 사용자의 원하는 모션을 예물레이팅하고 이에 따라 절단 가이드(38)를 수직 방향으로만 이동시키는 대신, 제어 시스템은, 환자 특정 절단 경계(PSCB)를 넘어 조직을 절단하는 것을 피하기 위해, 절단 가이드(38)를 측 방향 및 수직으로 이동시키는 것에 의해 제어 시스템이 사용자의 조종에 반응하도록, 사용자의 인가된 수직 힘에 측 방향 힘을 추가할 수 있다(예를 들어, 도 8c 및 도 8d 비교).

[0098] 일부 버전에서, 가이드(44)는 절단 도구(40)가 가이드(44)에 대한 측 방향 또는 틸팅 운동으로부터 실질적으로 제한되도록 크기화된다. 절단 도구(40)의 길이, 절단 도구(40)의 폭, 가이드(44)의 길이, 및 가이드(44)의 폭에 관한 데이터는 절단 가이드(38) 내로 완전히 삽입될 때 절단 가이드(38)의 위치 및/또는 배향을 위치 및/또는 절단 도구(40)의 위치 및/또는 배향에 상관시키도록 제어 시스템(예를 들어, 내비게이션 제어기(48))에 있는 메모리 내로 입력될 수 있다. 절단 도구(40)의 위치 및/또는 배향은 또한 환자 특정 절단 경계(PSCB)에 대한 절단 도구(40)의 작업 단부의 위치 및/또는 배향을 결정하도록 본 명세서에서 기술된 기술을 사용하여 측정될 수 있다. 도 8c 내지 도 8e는 절단 도구(40)가 환자 특정 절단 경계(PSCB)를 넘어서 침투하는 것을 방지하면서, 사용

자가 원하는 절단 평면(74)을 따라서 대퇴골(F)을 절단하는 것을 가능하게 하는, 절단 가이드(38)의 수동 및/또는 자율적인 움직임의 시퀀스를 도시한다.

[0099] 이전에 논의된 바와 같이, 일부 수술 절차에서, 다중 평면 절단, 다중 페그/파일럿 구멍 등과 같은 많은 상이한 절단이 조직에 대해 행해질 필요가 있을 수 있다. 따라서, 수술 절차는 때때로 이러한 절단의 원하는 시퀀스로 수행된다. 시퀀스는 원하는 시퀀스로 절단을 수행하기 위해 로봇 조종기(22)의 동작을 제어하도록 제어 시스템에 의해 나중에 검색되기 위해 제어 시스템의 메모리에 저장될 수 있다. 예를 들어, 제어 시스템은 절단 도구(40)가 원하는 시퀀스로 복수의 절단을 행하기 위해 복수의 원하는 절단 평면/축과 정렬되도록 절단 가이드(38)를 자율적으로 위치시키도록 로봇 조종기(22)를 동작시킬 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 제어 시스템은 절단이 원하는 시퀀스로 사용자에게 의해 행해지도록 디스플레이(20)에 디스플레이된 단계의 워크플로우를 제어하기 위해 메모리에 저장된 원하는 시퀀스를 참조할 수 있다. 절단 가이드(38)(또는 다수의 상이한 절단 가이드)의 위치 설정의 원하는 시퀀스는 절차의 유형에 기초한 기본 설정에 의해 확립될 수 있거나, 또는 사용자 선호도; 원하는 절단 평면/축들 사이의 거리; 원하는 절단 평면/축들에 대해 절단 가이드(38)의 현재 정렬; 및 원하는 절단 평면/축에 도달하기 위해 요구되는 절단 가이드(38)의 움직임과 같은 사전 결정된 기준에 기초할 수 있다. 도 9는 입력 디바이스 중 하나를 통해 디스플레이(20) 상의 "1" 및 "2"를 토글링하는 것에 의해, 사용자가 평면 절단의 원하는 시퀀스를 선택하도록 프롬프트되는 명령(INS5)의 하나의 예를 도시한다. 일단 선택되면, 제어 시스템은 절단 도구(40)가 제1 평면 절단을 위해 제1 원하는 절단 평면과 정렬되도록(예를 들어, 반자율 모드, 햅틱 모드 등에서의 동작을 통해) 절단 가이드(38)를 적소로 이동시킬 준비가 된다. 일단 제1 평면 절단이 완료되면, 제어 시스템은 절단 도구(40)가 제2 평면 절단을 위한 제2 원하는 절단 평면과 정렬되도록(예를 들어, 반자율 모드, 햅틱 모드 등에서의 동작을 통해) 절단 가이드(38)를 위치시킬 준비가 되고, 필요한 모든 절단이 행해질 때까지 계속된다. 다른 버전에서, 로봇 조종기(22)는 예를 들어 버튼, 터치스크린, 손 제스처 등을 통한 사용자 입력에 기초하여 다음의 위치(예를 들어, 제2 원하는 절단 평면)로 이동하도록 명령받는다. 추가적으로 또는 대안적으로, 이러한 방향 및/또는 크기일 수 있는 사용자 입력은 다음의 위치로 이동하려는 욕구를 나타내기 위해, 절단 가이드(38), 로봇 조종기(22) 또는 다른 위치에서 사용자에게 의해 인가되는 힘을 포함할 수 있다.

[0100] 일부 버전에서, 뼈에 대해 이루어질 원하는 절단은 원하는 절단 위치 또는 그 근처에 절단 도구(40)를 물리적으로 위치시키고 절단 가이드(38)와 맞물림이 없이 원하는 절단 위치에서 내비게이션 제어기(48)에 대응하는 입력을 한번 제공하는 것에 의해(예를 들어, 푸시 버튼, 터치스크린, 발 페달, 제스처 등을 통해) 표시될 수 있다. 이러한 배치 동안, 내비게이션 시스템(14)은 절단의 시퀀스의 절단이 식별되고 있다는 것(예를 들어, 입력이 수신될 때 사용자의 배치에 가장 가까운 것)을 결정하기 위해 뼈에 대한 절단 도구(40)의 자세를 추적한다. 내비게이션 제어기(48)는 디스플레이(20) 상의 절단을 자동으로 식별하고 절단을 확인하는 입력을 사용자에게 프롬프트할 수 있다. 원하는 절단이 확인되었으면, 내비게이션 제어기(48)는 대응하는 입력 신호를 조종기 제어기(34)에 전송하고, 이어서, 조종기 제어기(34)는 원하는 절단과 관련된 초기 가이드 위치에서 절단 가이드(38)를 자동으로 배치할 수 있다. 내비게이션 포인터(P)는 사용자가 다음의 절단을 행하고자 하는 뼈 상에서의 위치를 가리키기 위해 유사한 방식으로 사용될 수 있고, 내비게이션 제어기(48)는 위에서 설명된 바와 같이 응답할 수 있다.

[0101] 도 10을 참조하면, 내비게이션 시스템(14)은 치료받는 조직의 속도 또는 가속도 중 하나 이상을 결정하도록 구성된다. 예를 들어, 추적기(18)를 통한 조직의 추적으로 인해, 내비게이션 시스템(14)은 로컬라이저 좌표계(LCLZ)의 축 주위에서 이를 따르는 위치 및 속도들에서의 변화를 포함하는, 시간 경과에 따른 조직의 위치/속도에서의 변화를 모니터링할 수 있다. 따라서, 속도 및/또는 가속도 제한이 설정될 수 있고, 모니터링된 속도 및/또는 가속도가 그 제한을 초과할 때를 보기 위해 그 제한과 비교될 수 있다. 도 10에 도시된 바와 같이, 관련된 경고가 또한 디스플레이(20) 상에 디스플레이될 수 있다.

[0102] 일부 경우에, 조직은 로봇 조종기(22)가 효과적으로 반응할 수 있는 것보다 더 빠르게 및/또는 더 큰 가속도로 이동할 수 있고, 원하는 절단 평면 또는 원하는 절단 궤적/축과 절단 가이드(38)의 정렬을 여전히 유지할 수 있다. 이러한 상황 및 조직의 원치않는 절단 가능성을 방지하기 위해 제한이 설정될 수 있다. 한 실시형태에서, 제어 시스템은 사전 결정된 제한들 중 하나를 초과하는 조직의 속도 및 가속도 중 하나 이상에 응답하여 로봇 조종기(22)를 자유 모드(예를 들어, 반자율 모드 또는 햅틱 모드로부터)로 전환한다. 그 결과, 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)는 원하는 절단 평면 또는 원하는 절단 궤적/축으로부터 록킹 해제되고, 조직에 대해 자유롭게 이동할 수 있다. 추가적으로, 도구 제어기(62)를 통한 것과 같은 제어 시스템은 절단 도구(40)를 구동하는 모터(MT)의 동작을 중지시킬 수 있다. 내비게이션 시스템(14)은 자유 모드로 전환한 후에 조직의 속도/가속

도를 지속적으로 모니터링하고, 제어 시스템은, 속도 및 가속도 중 하나 이상이 사전 결정된 제한(들) 또는 그 이하로 재개되었다고 내비게이션 시스템(14)이 결정하는 것에 응답하여 절단 도구(40)가 원하는 절단 평면 또는 원하는 절단 궤적/축과 재정렬되도록, 반자율 모드, 햅틱 모드 등을 통해 절단 가이드(38)를 재위치시킬(또는 절단 가이드(38)의 재위치 설정을 가능하게 할) 수 있다.

[0103] 도 11을 참조하면, 이전에 설명된 바와 같이, 로컬라이저(16)의 센서(S)들은 능동적 또는 수동적인 추적 요소 또는 마커(M)로부터 광을 수신할 수 있도록 추적기(18)에 대한 가시선(line-of-sight)에 의지한다. 때때로, 마커(M)들 중 하나 이상은 로컬라이저(16)의 센서(S) 중 하나 이상의 시야로부터 차단될 수 있다. 그 결과, 추적기(18)의 위치 및 배향 및 추적기(18)가 부착되는 관련 대상체의 신뢰 가능한 추적이 중단된다. 내비게이션 시스템(14)은 마커(M) 중 하나 이상이 센서(S)로부터의 피드백에 기초하여 로컬라이저(16)의 시야로부터 차단되는지를 결정할 수 있다. 예를 들어, 내비게이션 제어기(48)는 단지 하나의 센서(S)만이 마커(M)로부터 광을 수신하는 반면에 다른 센서(S)가 마커(M)로부터 광을 수신하지 않기 때문에 마커(M)의 위치를 삼각 측량할 수 없다. 마커(M) 중 하나가 시야로부터 차단된다는 결정에 응답하여, 제어 시스템은 도 11에 도시된 바와 같이 조직으로부터 멀어지게 절단 가이드(38)의 인출을 용이하게 한다. 이러한 인출은 자율적일 수 있거나, 또는 자유 모드 또는 햅틱 모드에서와 같이 절단 가이드(38)를 인출하도록 디스플레이(20) 상에서의 사용자에게 대한 명령(INS6)의 형태일 수 있다. 제어 시스템은 본 명세서에서 설명된 바와 같이, 차단된 상태의 경우에 로봇 조종기(22)의 동작을 자유 모드 또는 햅틱 모드로 자동으로 전환할 수 있고, 움직임을 위해 절단 가이드(38)를 록킹 해제할 수 있고/있거나, 절단 도구(40)의 모터(MT)의 동작을 중단할 수 있다. 예를 들어, 조직의 추적이 차단된 추적기(18)로 인해 더 이상 신뢰할 수 없기 때문에, 제어 시스템은 마커(M) 중 하나 이상이 시야로부터 차단되기 전에 내비게이션 제어기(48) 및/또는 조종기 제어기(34)에 저장된 절단 가이드(38)의 배향/축을 따라서 조직으로부터 멀어지게 절단 가이드(38)를 인출하기 위해 로봇 조종기(22)를 동작시키도록 구성될 수 있다. 내비게이션 시스템(14)은 차단된 상태를 지속적으로 모니터링하고, 마커(M)가 더 이상 로컬라이저(16)의 시야로부터 차단되지 않는다는 것에 응답하여, 제어 시스템은 절단 도구(40)가 원하는 절단 평면 또는 원하는 절단 궤적/축과 재정렬되도록 반자율 모드, 햅틱 모드 등을 통해 절단 가이드(38)를 재위치시킬 수 있다(또는 절단 가이드(38)의 재위치 설정을 가능하게 할 수 있다).

[0104] 도 12 및 도 13을 참조하면, 제어 시스템은 절단 도구(40)에 의해 절단 가이드(38) 상에 인가되는 하중을 감지하도록 및/또는 절단 도구(40)의 편향을 감지하도록 절단 가이드(38)에 결합된 하나 이상의 도구 하중 센서(82)(도 13 참조)를 포함한다. 도구 하중 센서(82)는 절단 도구(40)에 의해 절단 가이드(38) 상에 인가되는 하중 및/또는 절단 도구(40)의 관련 편향을 측정/검출하기 위한 하나 이상의 로드 셀, 압력 센서, 광학 센서, 홀 효과 센서, 초음파 센서 등 및/또는 임의의 다른 적절한 센서를 포함할 수 있다. 도 13에 도시된 버전에서, 도구 하중 센서(82)는 가이드 부분(44)(예를 들어, 슬롯)에 노출되는 절단 가이드(38)의 바디에 고정된 압력 센서를 포함하여서, 작업 단부(W)에서 절단 도구(40) 상에 배치된 임의의 편향 하중(은선 참조)이 압력 센서에 의해 감지될 것이고, 관련 입력 신호가 생성될 것이다.

[0105] 도구 하중 센서(82)는 필요에 따라 이들 제어기(34, 48, 62) 중 임의의 것에 입력 신호를 제공하도록 조종기 제어기(34), 내비게이션 제어기(48), 및 도구 제어기(62)(도 2 참조)에 결합된다. 도구 하중 센서(82)로부터의 측정치는 예를 들어 측정치가 사전 결정된 제한을 초과할 때 절단 도구(40)가 바람직하지 않은 방식으로 편향되고 있다는 표시를 제공할 수 있다. 따라서, 제어 시스템(예를 들어, 도구 제어기(62))은 사전 결정된 제한 중 하나를 초과하는, 절단 도구(40)에 의해 절단 가이드(38)에 인가되는 하중에 응답하여 절단 도구(40)에 의한 절단을 중단하도록 절단 도구(40)의 모터(MT)의 동작을 비활성화할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 제어 시스템은 이러한 하중/편향을 보상하기 위해 절단 가이드(38)를 이동시키도록 로봇 조종기(22)에게 지시하는 것에 의해 이러한 하중/편향을 고려할 수 있다. 일부 사용자는 이것을 원함이 없이 자연스럽게 약간의 편향 하중을 인가하는 경향이 있을 수 있지만, 제어 시스템은 이러한 경향을 고려할 수 있다. 예를 들어, 검출된 하중이 5°의 편향에 상응하면, 제어 시스템은 로봇 조종기(22)에게 절단 가이드(38)를 반대 방향으로 약 5° 회전시키도록 지시할 수 있다. 그 결과, 편향의 순수 효과는 절단 도구(40)가 원하는 궤적/평면 등을 따라서 동작되는 결과를 야기할 것이다. 일부 버전에서, 이러한 보상은 측정된 하중이 제1 임계 하중보다 크지만 제2 임계값 하중보다 작을 때 이용될 수 있다. 일부 버전에서, 사용자가 절단 도구(40)에 힘을 가하여 측정된 하중이 제2 임계값을 초과할 때, 이것은 사용자가 다음의 위치, 예를 들어, 다음의 원하는 절단 평면에 대해 절단 가이드(38)를 재배향시키기를 원한다는 표시일 수 있다. 따라서, 제어 시스템은 이러한 하중의 인가를 검출하는 것에 응답하여 절단 가이드(38)를 다음의 원하는 절단 평면과 자동으로 정렬할 수 있다. 이것은 그 과정 동안 다른 조직과 맞물림이 없이 이러한 재배향을 허용하도록 절단 도구(40)가 조직으로부터 특정 거리만큼 인출된다는 것을 검출하는

것과 조합될 수 있다.

[0106] 제어 시스템은 또한 도 12에 도시된 바와 같이 절단 가이드(38) 상에 위치된 하나 이상의 시각적 표시기와 같은 도구 하중 표시기(84)를 포함할 수 있다. 도구 하중 표시기(84)는 사전 결정된 제한을 초과하는, 절단 도구(40)에 의해 절단 가이드(38)에 인가되는 하중에 응답하여 제어 시스템(예를 들어, 조종기 제어기(34), 내비게이션 제어기(48), 및/또는 도구 제어기(62))에 의해 활성화될 수 있다. 도 12에 도시된 도구 하중 표시기(84)는 유색 광을 연속적으로 방출하기 위해 조종기 제어기(34)에 의해 제어되지만 번쩍이고/깜박이도록 원하는 빈도로 동작될 수 있고/있거나 여러 색상의 광을 방출할 수 있는 발광 다이오드(LED)와 같은 하나 이상의 조명을 포함한다. 도구 하중 표시기(84)는 하나 이상의 시각적 표시기, 촉각적 표시기 및 청각적 표시기를 포함할 수 있다. 별도의 시각적 표시기는 도 12에 도시된 바와 같이 디스플레이(20) 상의 관련 메시지일 수 있다.

[0107] 도 14 및 도 15를 참조하면, 제어 시스템은 절단 가이드(38)에 대해 절단 도구(40)의 위치를 감지하기 위해 절단 가이드(38)에 결합된 하나 이상의 도구 위치 센서(86)(도 15 참조)를 포함한다. 보다 구체적으로, 위치 센서(86)는, 절단 가이드(38) 및 그 관련 가이드 부분(44)의 위치 및 배향을 모니터링하는 내비게이션 시스템(14) 및 절단 가이드(38)에서의 절단 도구(40)의 위치를 검출하는 도구 위치 센서(86)의 조합을 통해 환자(12)의 조직에 대한 절단 도구(40)의 작업 단부(W)의 위치를 제어 시스템이 결정할 수 있도록, 절단 도구(40)의 작업 단부(W)(예를 들어, 팁, 원위 단부 등)의 위치를 찾는 것을 돕는다. 그러므로, 도구 위치 센서(86)는 그 자체 좌표계를 가질 수 있거나, 또는 가이드 좌표계(GCS)에서의 알려진 위치에 위치될 수 있어서, 위치 센서(86)로부터 취해진 측정치는 공통 좌표계, 예를 들어, 로컬라이저 좌표계(LCLZ)로 변환될 수 있는 가이드 좌표계(GCS)에 대해 만들어진다는 위치 센서(86)는 절단 도구(40) 및/또는 이것이 부착되는 프리 핸드 수술 기구(42) 상에 추적기(18)를 배치하는 것에 대한 대안으로서 또는 이에 추가하여 사용될 수 있다.

[0108] 도구 위치 센서(86)는 절단 가이드(38)에서 절단 도구(40)의 위치를 측정/검출하기 위한 하나 이상의 광학 센서, 홀 효과 센서, 초음파 센서 등, 또는 임의의 다른 적절한 센서를 포함할 수 있다. 도 13에 도시된 버전에서, 도구 위치 센서(86)는 가이드 부분(44)(예를 들어, 슬롯)에 노출되도록 절단 가이드(38)의 바디에 고정된 CCD 또는 CMOS와 같은 하나 이상의 광학 센서를 포함하여서, 절단 도구(40) 상의 마킹(88)은 광학 센서에서 보일 수 있다. 광학 센서는 가이드 부분(44)의 양쪽 측면에서 이격된 관계로 위치될 수 있고/있거나, 2개 이상의 광학 센서는 가이드 부분(44)의 동일한 측면 상에서 이격될 수 있어서, 가이드 부분(44)에 있는 절단 도구(40)의 임의의 경사가 검출될 수 있거나, 또는 단일 광학 센서가 이용될 수 있다. 어떤 경우에서든, 광학 센서는 절단 가이드(38)에 대한 절단 도구(40)의 깊이를 결정하기 위해 절단 도구(40) 상의 마킹(88)을 판독한다. 이를 위해, 각각의 깊이에서의 마킹(88)은 상이할 수 있거나, 또는 마킹(M)들 사이의 간격이 다를 수 있어서, 깊이는 마킹(88)의 이미지를 생성하는 광학 센서에 의해 결정될 수 있다. 한 버전에서, 광학 센서는 광학 선형 인코더와 유사하게 동작할 수 있다.

[0109] 도구 위치 센서(86)는 조종기 제어기(34), 내비게이션 제어기(48), 및 도구 제어기(62)에 결합되어 필요에 따라 이들 제어기(34, 48, 62) 중 임의의 것에 입력 신호를 제공한다. 도구 위치 센서(86)로부터의 측정치는 절단되는 조직의 위치 및 배향에 대한 로컬라이저 좌표계(LCLZ)에서 절단 도구(40)(예를 들어, 작업 단부)의 위치 및/또는 배향을 결정하기 위해 로컬라이저 좌표계(LCLZ)에서 절단 가이드(38)의 위치 및 배향에 관한 내비게이션 데이터와 조합될 수 있다. 따라서, 제어 시스템은 이어서 디스플레이(20) 또는 다른 곳에서 절단 가이드(38), 절단 도구(40) 및/또는 조직의 이미지를 생성하고 사용자가 절단 가이드(38), 절단 도구(40) 및/또는 디스플레이(20) 상의 조직 사이의 상대적인 움직임을 볼 수 있도록 실시간으로 이미지를 업데이트할 수 있다. 추가적으로, 절단 도구(40)의 위치 및/또는 배향을 아는 것에 의해, 제어 시스템은 가상 절단 경계와 같은 임의의 가상 대상체에 대해 절단 도구의 움직임을 추적할 수 있으며, 이에 따라, 절단 도구(40)의 작업 단부(W)가 경계를 초과한 것을 제어 시스템이 검출하면 모터(MT)에 대한 전력을 차단하는 것과 같이 반응한다. 유사하게, 제어 시스템은, 절단 도구(40)가 절단 가이드(38) 내에 있다는 것을 제어 시스템이 검출하면 모터(MT)로의 전력 공급이 절단 도구(40)의 움직임(예를 들어, 회전, 병진, 진동 등)을 유발하도록 허용할 수 있다. 그러므로, 일부 경우에, 절단 도구(40)는 절단 가이드(38) 외부에서 동작할 수 없고, 전력이 모터(MT)에 분배되도록 적어도 부분적으로 절단 가이드(38) 내에 위치되어야만 한다.

[0110] 추가적으로 또는 대안적으로, 내비게이션 시스템(14)은 또한 절단 도구(40)가 절단 가이드(38)에 위치되는지 또는 그렇지 않으면 절단 가이드(38)와 결합되는지를 결정하기 위해, 즉 절단 가이드(38)에 대한 절단 도구(40)의 결합 상태를 결정하기 위해 절단 가이드(38)에 대한 절단 도구(40)의 위치를 추적할 수 있다. 이어서, 조종기 제어기(34)는 절단 가이드(38)를 이동시키기 위해 조종기(22)를 동작시키는 것이 적절한지/적절한 때를 결정하기 위해 이러한 정보를 이용한다. 예를 들어, 내비게이션 제어기(48)는 절단 도구(40)가 절단 가이드(38)의 가

이드(44)(예를 들어, 슬롯) 중 하나에 위치된다는 것을 나타내는 긍정적인 결합 상태 신호를 조종기 제어기(34)에 전송할 수 있다. 조종기 제어기(34)는 이에 응답하여, 사용자가 절단 가이드(38)로부터 절단 도구(40)를 제거할 때까지, 절단 가이드(38)를 이동시키는 작업을 무력화/방지할 수 있다. 반대로, 일부 경우에, 조종기 제어기(34)는 절단 도구(40)가 절단 가이드(38)에 존재하면 특정 작업만을 허용할 수 있다.

[0111] 일부 버전에서, 내비게이션 제어기(48)에는 절단 가이드(38)의 3-D 모델과 같은 절단 가이드(38)와 관련된 기하학적 데이터(예를 들어, 메모리에 저장된)가 제공되고, 기하학적 데이터는 초기에 가이드 좌표계(GCS)에서 한정되고, 이어서, (예를 들어, 좌표 변환 등을 통해) 로컬라이저 좌표계(LCLZ)를 포함하는 임의의 적절한 좌표계로 변환될 수 있다. 절단 가이드 모델은 중실체 모델(solid body model), 삼각형 메쉬, 및/또는 다른 형태의 표면 또는 용적 모델 등을 포함할 수 있다. 이러한 기하학적 데이터는 내비게이션 제어기(48)를 위한 가이드 부분(44)(예를 들어, 슬롯)의 좌표/위치를 한정한다. 추가적으로, 내비게이션 제어기(48)에는 절단 도구(40)의 3-D 모델과 같은, 절단 도구(40)와 관련된 기하학적 데이터(예를 들어, 메모리에 저장된)가 제공되고, 기하학적 데이터는 초기에 도구 좌표계에서 한정되고, 이어서, 로컬라이저 좌표계(LCLZ)를 포함하는 임의의 적합한 좌표계로 변환될 수 있다. 절단 도구 모델은 중실체 모델, 삼각형 메쉬, 및/또는 다른 형태의 표면 또는 용적 모델 등을 포함할 수 있다. 전송한 추적기 및/또는 다른 추적 양식에 의해, 내비게이션 제어기(48)는 절단 가이드(38)의 가이드 부분(44)에 대한 절단 도구(40)의 자세를 추적할 수 있다. 더욱이, 내비게이션 제어기(48)는 이에 의해(예를 들어, 동일한 좌표계에서 이들의 현재 좌표를 비교하는 것에 의해) 절단 도구(40)가 가이드 부분(44) 중 하나에 존재하는지의 여부를 검출할 수 있다. 일부 버전에서, 도구 제어기(62)는 절단 도구(40)가 가이드 부분(44) 중 하나에 있는 것(예를 들어, 긍정적인 결합 상태 신호)으로서 내비게이션 제어기(48)에 의해 검출될 때 절단 도구(40)의 모터(MT)에 전력을 공급할 수 있다. 예를 들어, 내비게이션 제어기(48)는 대응하는 신호를 도구 제어기(62)에 전송할 수 있다. 반대로, 도구 제어기(62)는, 절단 도구(40)가 가이드 부분(44)의 어느 것에도 없다고 내비게이션 제어기(48)가 검출하고 대응하는 부정적인 결합 상태 신호를 도구 제어기(62)에 전송할 때 모터(MT)에 대한 전력 공급을 비활성화 또는 무력화할 수 있다.

[0112] 추가적으로 또는 대안적으로, 절단 가이드(38)는 가이드 부분(44)에서 절단 도구(40)의 존재/부재를 검출하는, 절단 가이드(38)에 결합된 센서를 가질 수 있다. 이들 센서는 근접 센서, 리미트 스위치, 초음파 센서, 모션 센서, 광학 센서, 이들의 조합 등을 포함하고, 이것은 가이드 부분(44)의 임의의 것에서 절단 도구(40)의 존재/부재에 기초하여 모터(MT)에 대한 전력을 제어하기 위해 도구 제어기(62)에 의해 이용될 수 있다. 일부 실시형태에서, 센서는 가이드 부분(44)에서 절단 도구(40)의 존재/부재에 기초하여 모터(MT)에 대한 전력을 제어하기 위해 유선 또는 무선(예를 들어, 블루투스, 지그비, IR 등)을 통해 도구 제어기(62)와 직접 통신한다. 절단 도구(40)는 유선 또는 무선 통신 체계를 사용하는 임의의 적절한 통신 수단을 사용하여 제어될 수 있다.

[0113] 도 15a 및 도 15b를 참조하면, 하나 이상의 식별 디바이스(87)가 또한 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)를 식별하기 위해 이용될 수 있다. 식별 디바이스(87)는 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)를 식별하기 위해 광학 센서, RF 센서 등, 또는 임의의 다른 적절한 센서를 포함할 수 있다. 도 15a에 도시된 버전에서, 식별 디바이스(87)는 절단 도구(40) 상의 하나 이상의 마킹/태그(91)를 판독하기 위한 스캐너/리더(89)를 포함할 수 있다. 예를 들어, 스캐너/리더(89)는 바코드 스캐너, QR 코드 스캐너, RFID 리더 등일 수 있고, 마킹/태그(91)는 바코드, QR 코드, RFID 태그, 또는 임의의 다른 적절한 형식의 식별자일 수 있다. 스캐너/리더(89)는 별도의 휴대용 전자 디바이스일 수 있거나, 조종기(22)에 부착될 수 있거나, 또는 절단 가이드(38) 등에 부착될 수 있다.

[0114] 식별 디바이스(87)는 추가적으로 또는 대안적으로 다음에 기술되는 바와 같이, 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 이미지를 획득하고 식별을 위해 사용된 패턴 인식 또는 다른 이미지 처리 알고리즘을 사용하여 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)를 식별하기 위해 저장된 이미지의 라이브러리에 절단 가이드 및/또는 절단 도구(40)의 촬영된 이미지를 매칭시키는 것에 의해 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 형상, 크기 및/또는 구성을 검출하도록 머신 비전 기술 및 관련 머신 비전 제어기를 이용하는 하나 이상의 카메라(93)(예를 들어, 하나 이상의 CCD 또는 CMOS 센서)를 포함한다. 머신 비전 제어기는 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)의 이미지를 획득하기 위해 아날로그 또는 디지털 인터페이스를 사용하는 프레임 그래버(frame grabber)를 포함할 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 카메라(93)는 머신 비전 제어기에 직접 연결될 수 있는 디지털 카메라를 포함할 수 있다. 2-D/3-D 영상화, 다중 스펙트럼 영상화, 티오에프 카메라(time-of-flight camera) 및 영상화, 격자 어레이 기반 영상화, 및/또는 입체 비전/영상화 등이 사용될 수 있다.

[0115] 이미지가 카메라(93)에 의해 획득된 후에, 이미지는 처리된다. 이미지로부터 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)를 추출하기 위해 (예를 들어, 이미지와 관련된 이미지 데이터를 머신 비전 제어기 또는 머신 비전 제어

기에 결합된 내비게이션 제어기(48)에 저장된 대상체 데이터와 비교하는 것에 의해) 여러 단계의 처리가 사용될 수 있다. 이용될 수 있는 머신 비전 이미지 처리 방법은 스티칭/등록; 필터링; 경계화(thresholding); 픽셀 카운팅; 분할; 에지 감지; 색상 분석; 얼룩 탐지 및 추출; 패턴 인식/템플릿 매칭; 2차원 바코드 판독; 및/또는 광학 문자 인식; 및/또는 식별의 목적을 위해 이미지를 처리하기 위한 임의의 다른 적절한 방법과 같은 방법을 포함한다.

[0116] 도 15b에 도시된 버전에서, 식별 디바이스(87)는 가이드 부분(44)(예를 들어, 슬롯)에 노출되도록 절단 가이드(38)의 바디에 고정된 CCD 또는 CMOS와 같은 하나 이상의 광학 센서(95)를 포함하여서, 절단 도구(40) 상의 태그는 광학 센서(95)에 보인다. 일부 경우에, 절단 가이드(38)의 식별은 예를 들어, RFID 태그/리더 등을 통해 절단 가이드(38)를 조종기(22)에 부착할 때 사용자 인터페이스 상에서 사용자에게 의해 또는 절단 가이드(38)를 별도로 식별하는 것에 의해 선택된 결과로서 내비게이션 제어기(48)에 있는 메모리에 미리 저장될 수 있다.

[0117] 식별 디바이스(87)는 내비게이션 제어기(48)가 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)를 식별할 수 있도록 이미지 데이터, 코드 데이터 등과 같은 데이터를 내비게이션 제어기(48)에 전송하기 위해 내비게이션 제어기(48)에 결합될 수 있다. 예를 들어, 특정 절단 가이드(38) 및/또는 절단 도구(40)는 스캐닝된 바코드, QR 코드, RFID 데이터 등을, 다양한 알려진 절단 가이드 및/또는 절단 도구와 관련된 식별자의 록업 테이블에 나열되고 내비게이션 제어기(48)의 메모리에 저장된 식별자와 비교하고 매칭시키는 것에 의해 식별될 수 있다. 록업 테이블은 또한 특정 절단 도구와 함께 사용하는데 적합한 하나 이상의 허용 가능한 절단 가이드와 각각의 절단 도구를 관련시킬 수 있다. 그 결과, 내비게이션 제어기(48)는 어느 절단 가이드(38)가 사용되고 있는지, 어떤 절단 도구(40)가 사용되고 있는지, 그리고 그 특정 절단 도구가 그 특정 절단 가이드(38)와 함께 사용하는데 적절한지의 여부를 결정할 수 있다. 절단 도구(40)가 절단 가이드(38)와 함께 사용하는데 적합하지 않으면, 도구 제어기(62)는 모터(MT)의 동작을 무력화/방지할 수 있고, 조종기 제어기(34)는 절단 가이드(38)의 움직임을 무력화/방지할 수 있고, 제어 시스템은 계속하기 위해 디스플레이(20) 및 사용자로부터 확인을 위한 프롬프트를 통해 사용자에게 알릴 수 있고, 그리고/또는 제어 시스템은 다른 적절한 응답을 트리거할 수 있다. 반대로, 절단 도구(40)가 절단 가이드(38)와 함께 사용하는데 적합하다고 내비게이션 제어기(48)에 의해 결정되면, 동작은 정상적으로 진행될 수 있다. 도 16을 참조하면, 관절 운동형 링크 기구(articulating linkage)(90)는 엔드 이펙터(36)의 베이스(92)에 대한 단일 평면(SP1)으로 절단 가이드(38)의 움직임을 구속하기 위해 엔드 이펙터(36)의 베이스(92)와 절단 가이드(38)를 상호 연결한다. 관절 운동형 링크 기구(90)는 능동적, 수동적, 또는 그 조합일 수 있다. 도시된 바와 같이, 관절 운동형 링크 기구(90)는 복수의 링크(94, 96, 98, 100)를 포함한다. 더 많거나 더 적은 링크가 다른 버전에서 또한 가능하다. 여기에서, 제1 링크(94)는 한쪽 단부에서 엔드 이펙터(36)의 베이스(92)에 고정되고 베이스(92)로부터 제1 회전 관절(102)로 연장된다. 제2 링크(96)는 제1 회전 관절(102)에서 제1 링크(94)에 선회 가능하게 연결되고 제1 회전 관절(102)로부터 제2 회전 관절(104)로 연장된다. 제3 링크(98)는 제2 회전 관절(104)에서 제2 링크(96)에 선회 가능하게 연결되고 제2 회전 관절(104)로부터 제3 회전 관절(106)로 연장된다. 제4 링크(100)는 제3 회전 관절(106)에서 제3 링크(98)에 선회 가능하게 연결되고 제3 회전 관절(106)로부터 절단 가이드(38)로 연장되고, 즉, 절단 가이드(38)는 제4 링크(100)의 한쪽 단부에 고정된다.

[0118] 링크(94, 96, 98, 100) 및 관절(102, 104, 106)의 구성의 결과로서, 절단 가이드(38)는 도 16에서 화살표에 의해 도시된 바와 같이 3 자유도로 이동할 수 있다. 다른 구성이 또한 가능하다. 대안적으로 또는 추가적으로, 병진 관절 또는 다른 관절 유형이 또한 이용될 수 있다. 관절(102, 104, 106)은 하나 이상의 록킹 디바이스(108), 예를 들어 클램프, 패스너(예를 들어, 조임 볼트/너트), 브레이크 등에 의해 원하는 위치에서 절단 가이드(38)를 홀딩하도록 록킹 가능할 수 있다. 관절 스톱퍼(도시되지 않음)는 관절을 중심으로 하는 회전을 제한하기 위해 이용될 수도 있다. 관절 스톱퍼는 수동으로 설정될 수 있거나, 또는 제어 시스템에 의해 자동화되고 설정될 수 있다. 로터리 인코더, 전위차계, 또는 다른 유형의 센서와 같은 아암 위치 센서(110)는 엔드 이펙터(36)의 베이스(92)에 대한 절단 가이드(38)의 위치 및 배향을 결정하기 위해 링크(96, 98, 100)의 현재 회전 위치를 결정하도록 각각의 관절(102, 104, 106)에 위치될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 별도의 추적기(18)가 절단 가이드(38) 상에 배치되고, 공통 좌표계(예를 들어, 로컬라이저 좌표계(LCLZ))에서 절단 가이드(38)의 위치 및 배향을 추적할 수 있도록 절단 가이드(38)로 교정/등록될 수 있어서, 조직에 대한 절단 가이드(38)의 위치가 결정되고, 본 명세서에서 설명된 기능 및 방법을 구현하기 위해 제어 시스템에 의해 사용될 수 있다.

[0119] 도 16a는 베이스(122)에 대한 절단 가이드(38)의 움직임을 용이하게 하기 위해 엔드 이펙터(36)의 베이스(122)와 절단 가이드(38)를 서로 연결하는 다른 관절 운동형 링크 기구(120)를 도시한다. 이 예에서, 관절 운동형 링크 기구(120)는 베이스(122)와 절단 가이드(38)를 서로 연결하는 가요성 도구(124)를 포함한다. 가요성 도구

(124)는 베이스(122)로부터 절단 가이드(38)로 연장되는 도관(125)을 포함할 수 있다. 도관(125)은 근위 영역, 및 근위 영역에 대해 구부러질 수 있는 원위 영역(DR)을 갖는다. 도관(125)은 플라스틱, 금속, 이들의 조합으로 형성될 수 있으며, 일부 경우에 탄성 또는 반탄성일 수 있다. 도관(125)은 근위 영역에서 상대적으로 강성이고 원위 영역(DR)에서 가요성일 수 있어서, 원위 영역(DR)이 근위 영역에 대해 구부러질 수 있다.

[0120] 도시된 예에서, 가요성 도구(124)는 원위 영역의 움직임에 제어하기 위해 하나 이상의 제어 와이어(128)를 포함한다. 2개의 제어 와이어(128)만이 도시되어 있지만, 1개, 2개, 3개, 4개 또는 그 이상의 제어 와이어가 이용될 수 있고, 도관(125)의 벽 내부에서 가요성 도구(124)의 길이를 따라서 연장될 수 있거나 또는 도관(125)의 루멘에서 연장될 수 있다. 2개, 3개, 4개 또는 그 이상의 제어 와이어(128)가 이용되면, 이들은 그 길이를 따라서 도관(125)의 중심을 중심으로 원주 방향으로 균등하게 이격될 수 있다. 제어 와이어(128)는 도관(125)의 원위 단부에서 도관(125)에 고정될 수 있다.

[0121] 제어 디바이스(126)는 제어 와이어(128)의 장력을 제어하기 위해 가요성 도구(124)에 부착된다. 제어 와이어의 장력은 일반적으로 인장된 제어 와이어의 방향으로 원위 영역(DR)의 편향을 유발한다. 제어 디바이스(126)는 제어 와이어(128)의 장력을 제어하기 위해 제어 와이어(128)에 동작적으로 결합된 핸들(130) 및 액추에이터(132)를 포함한다. 도시된 버전에서, 액추에이터(132)는 레버(136)의 움직임에 응답하여 회전하는 드럼(134)을 포함한다. 제어 와이어(128)는 도관(125)의 원위 단부로부터 드럼(134)으로 연장되고 드럼(134)에 고정되어서, 드럼(134)이 제1 방향으로 회전할 때, 제1 제어 와이어(128a)는 장력 상태에 놓이지만, 제2 제어 와이어(128b)는 이완되고, 드럼(134)이 반대 방향으로 회전할 때, 제2 제어 와이어(128b)는 장력 상태에 놓이지만, 제1 제어 와이어(128a)는 이완된다. 액추에이터(132)의 동작은 도관(125)의 원위 영역(DR)의 원하는 편향 및 도관(125)의 원위 단부에 고정된 절단 가이드(38)의 대응하는 움직임을 유발한다. 3개 이상의 제어 와이어가 이용되는 실시형태에서, 추가적인 핸들/액추에이터는 추가적인 제어 와이어를 동작시키도록 사용될 수 있다. 노브, 다이얼, 모터 등과 같은 다른 형태의 액추에이터는 제어 와이어를 인장시키도록 사용될 수 있다. 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 "Surgical Instrument with Articulating Region"이라는 명칭의 미국 특허 공개 제2018/0242962호에 기술된 것과 같은 다른 관절 운동형 링크 기구가 또한 이용될 수 있다.

[0122] 도 16b는 조직에 대해 절단 가이드(38)를 위치시키기 위해 베이스(142)와 절단 가이드(38) 사이에서 이용될 수 있는 관절 운동형 링크 기구(140)의 다른 예를 도시한다. 이러한 버전에서, 관절 운동형 링크 기구(140)는 절단 가이드(38)의 위치를 제어하기 위해 뱀형 로봇 조종기를 포함한다.

[0123] 일부 실시형태에서, 절단 가이드(38)가 원하는 궤적/평면을 따라서 조직과 정렬되도록 이동되는 것에 더하여, 환자의 조직은 절단 가이드(38)와 원하는 정렬을 제공하도록 이동될 수 있다. 이것은 수동으로, 또는 환자에게 결합된 하나 이상의 조종기로 달성된다. 환자의 조직을 이동시키도록 사용될 수 있는 이러한 배열은 예를 들어 참조에 의해 본 명세서에 통합되는 "Motorized Joint Positioner"라는 명칭의 미국 특허 공개 제2014/0188129호에 기술되어 있다.

[0124] 도 17을 참조하면, 조직에 대한 절단 가이드(38)의 위치를 찾기 위해 제어 시스템에 의해 수행되는 단계의 하나의 예가 도시되어 있다. 단계 200에서, 절단 가이드(38)는 먼저 도 5a에 도시되고 위에서 설명된 바와 같이 절단될 조직에 대한 초기 목표 위치 및/또는 배향으로 자율적으로 배치된다. 단계 202에서, 절단 가이드(38)가 초기 목표 위치 및/또는 배향으로 위치되면, 제어 시스템은 사용자가 도 5b에 도시된 초기 가이드 위치(GL1)로 절단 가이드(38)를 이동시키거나 또는 이동을 유발하도록 준비된다. 절단 가이드(38)가 초기 가이드 위치(GL1)에서 목표 배향으로 있도록 조직에 인접한 초기 가이드 위치(GL1)로 조직을 향해 절단 가이드(38)가 이동하게 하기 위해 사용자가 엔드 이펙터(36)를 수동으로 조종함에 따라서, 제어 시스템은 절단 가이드(38)의 움직임을 제한한다. 단계 204에서, 절단 도구(40)가 초기 절단을 행하도록 초기 가이드 위치(GL1)에서 절단 가이드(38) 내로 삽입된 후에, 제어 시스템은 앞에서 설명한 방식으로 초기 가이드 위치(GL1)로부터 멀어지게 이격된 가이드 위치(GL2)로 절단 가이드(38)의 인출을 용이하게 한다.

[0125] 도 18을 참조하면, 일부 버전에서, 절단 도구(40)가 추적되는 절단 가이드(38)에 더하여, 내비게이션 시스템(14) 또는 별도의 내비게이션 시스템에 의해 추적될 때 다양한 제어 방법이 이용될 수 있어서, 시스템(예를 들어, 도구 제어기(62))은 환자의 조직에 대한 절단 도구(40)의 위치에 기초하여 절단 도구(40)의 동작을 제어할 수 있다. 이러한 제어는 모터(MT)의 동작 중지, 모터(MT)의 속도 변경 등을 포함할 수 있다.

[0126] 유사하게, RF 도구, 초음파 도구, 레이저 등과 같은 다른 유형의 절단 도구에 대해, 제어 시스템은 조직에 인가되는 관련 RF 에너지를 제어하거나(예를 들어, 정지, 변경 등), 초음파 팁의 진동을 제어하거나(예를 들어, 정지, 변경 등), 전력을 제어(예를 들어, 정지, 변경 등)할 수 있다. 도 18은 하나의 방법에서 취해질 수 있는 단

계를 도시한다. 단계 300에서, 절단 가이드(38)는 먼저 조직에 대해 원하는 위치에 로봇식으로 배치된다. 이러한 로봇 제어는 자유 모드, 햅틱 모드, 반자율 모드 등에서 로봇 조종기(22)의 제어를 포함할 수 있다. 단계 302에서, 절단 도구(40)의 위치 및/또는 배향은 전술한 바와 같이 조직과 관련된 맞춤형 가상 경계와 같은 가상 대상체에 대해 추적된다. 단계 304에서, 절단 도구(40)의 동작은 절단 도구(40)와 맞춤형 가상 경계 사이의 상호 작용에 응답하여 제어되어, 예를 들어, 절단 도구(40)가 이전에 설명된 바와 같이 절단되도록 의도되지 않은 조직을 절단하는 것을 방지한다.

[0127] 도 19는 수술 절차를 수행하기 위해 제어 시스템에 의해 수행되는 단계 400의 상세한 예를 도시한다. 도 19에서 제시된 단계는 단지 예시이고, 이들의 변형이 고려된다는 것을 이해해야 한다. 더욱이, 다양한 형태의 사용자 입력이 제어 시스템에 입력을 제공하기 위해 다음에 설명된다. 그러나, 다른 형태의 사용자 입력이 또한 고려된다. 본 명세서에서 설명된 입력 기능을 수행하도록 이용될 수 있는 적절한 사용자 입력 디바이스는 수술 기구(42), 절단 가이드(38), 조종기(22) 등에서의 푸시 버튼; 제스처 제어 디바이스; 터치스크린(예를 들어, 디스플레이(20)와 관련된); 센서; 스위치; 발 페달; 내비게이션 포인터(P), 절단 도구(40), 조종기(22) 또는 다른 디바이스의 지정된 움직임/조종; 힘/토크 센서(60)로부터의 입력 등을 포함하지만 이에 제한되지 않는다.

[0128] 초기에, 조종기는 제어 시스템에 의해 현재 위치 및 배향으로 록킹되어 홀딩된다. 이것은 절단 가이드(38) 등에서 임의의 사용자 인가 힘/토크에 반응하지 않는 것에 의해, 중력의 영향에 대항하는 것에 의한 것과 같은 현재 위치 및 배향을 유지하기 위해 관절 모터에 능동적으로 전력을 공급하는 조종기 제어기(34)에 의해 달성될 수 있다. 단계 402에서, 사용자는 대응하는 입력(예를 들어, 절단 가이드(38) 상에 위치한 버튼)을 제공하기 위해 조종기 제어기(34) 및/또는 내비게이션 제어기(48)에 동작 가능하게 결합된 제1 사용자 입력을 작동시킨다. 이것은 사용자 입력을 누르고 작동된 상태에서 사용자 입력을 홀딩하는 것(예를 들어, 버튼을 계속해서 누르는 것)을 포함할 수 있다. 그 결과, 제어 시스템은 단계 404에서 조종기(22)를 자유 모드에 놓고, 단계 406에서 사용자가 절단 가이드(38)를 이동시키고 절단 가이드(38)를 원하는 절단 평면과 정렬하기 위해 절단 가이드(38)에 힘과 토크를 인가할 수 있게 한다. 이러한 입력은 또한 사용자 입력을 토클링하는 것에 의해, 또는 일부 다른 형태의 사용자 입력에 의해 달성될 수 있다.

[0129] 디스플레이(20)는 원하는 절단 평면의 현재 위치 및 배향에 대한 절단 가이드(38)의 현재 위치 및 배향의 실시간 업데이트를 보여줄 수 있다. 그 결과, 사용자는 절단 가이드(38)가 원하는 자세에 또는 그 근처에 있다는 것을 디스플레이(20)가 보여줄 때까지 디스플레이(20)를 모니터링하는 것에 의해 단계 406에서 절단 가이드(38)의 수동 정렬을 수행할 수 있다. 디스플레이(20) 상에서의 절단 가이드(38) 및/또는 원하는 절단 평면의 시각적 표현은, 사용자가 절단 가이드(38)를 원하는 절단 평면에 시각적으로 정렬할 수 있도록 절단 가이드(38)의 2-D 또는 3-D 표현 및/또는 절단 도구(40)의 표현(아직 삽입되지 않았음에도 불구하고 절단 가이드(38)에 이미 존재하는 것처럼)일 수 있다. 청각, 촉각, 또는 다른 피드백은 또한 원하는 절단 평면 상에 또는 원하는 절단 평면과 관련된 가상 경계에 대해 사용자가 절단 가이드(38)를 수동으로 정렬하는 것을 돕기 위해 사용될 수 있다.

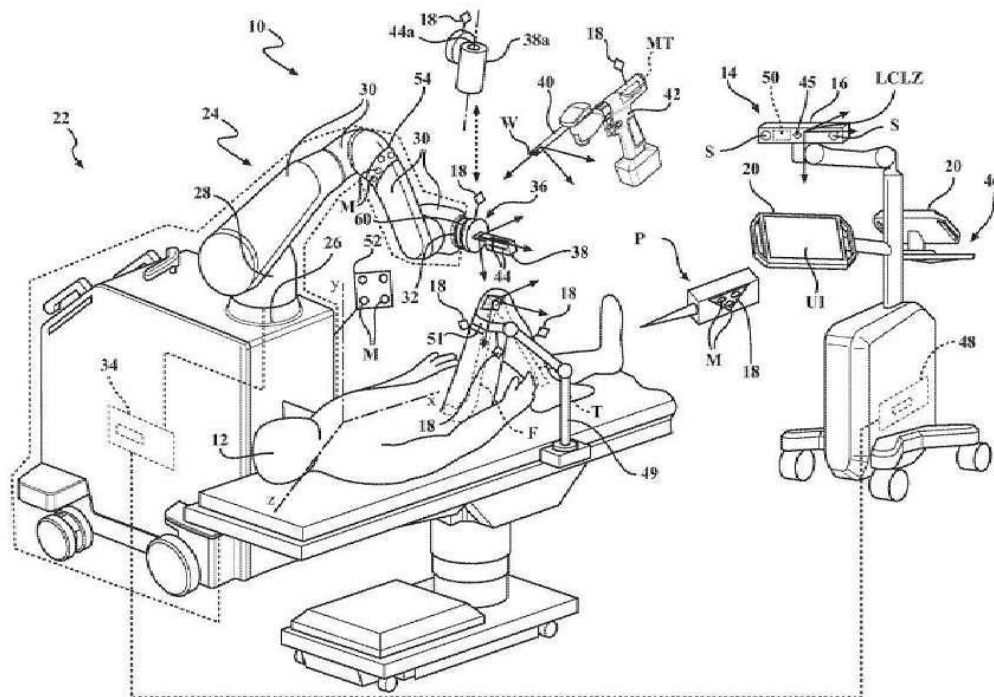
[0130] 단계 408에서, 사용자는 제1 사용자 입력을 해제하거나, 제1 사용자 입력을 다른 상태로 토클링하거나, 그렇지 않으면 사용자가 수동 정렬을 완료하였다는 것을 나타내는 입력을 제공한다. 이에 응답하여, 제어 시스템은 환자(12)의 뼈에 대한 현재 위치 및 배향으로 절단 가이드(38)를 록킹하고 홀딩한다. 이것은 절단 가이드(38) 등에서 임의의 사용자 인가 힘/토크에 반응하지 않는 것에 의해, 중력의 영향에 대항하는 것에 의한 것과 같은 현재 상대적 위치 및 배향을 유지하기 위해 관절 모터에 능동적으로 전력을 공급하는 조종기 제어기(34)에 의해 달성될 수 있다. 추가적으로, 내비게이션 제어기(48)는 임의의 움직임을 검출하고, 조종기 제어기(34)가 조종기(22)를 이동시킬 수 있도록 조종기 제어기(34)에 업데이트된 내비게이션 데이터를 연속적으로 전송하고, 이에 따라 절단 가이드(38)와 뼈 사이의 관계를 유지하기 위해 뼈를 능동적으로 모니터링한다.

[0131] 일부 경우에, 사용자에게 의해 수행된 수동 정렬은 뼈에 대해 원하는 자세로 절단 가이드(38)를 배치하는데 충분하다. 일부 경우에, 자유 모드에서 달성하기 어려운 추가적인 보다 정확한 움직임이 요구될 수 있다. 단계 410에서, 예를 들어, 사용자는 현재 자세로부터 원하는 절단 평면과의 정확한 정렬로 절단 가이드(38)를 이동시키는(예를 들어, 가상 경계에 대해 원하는 자세로 절단 가이드를 배치하는) 욕구를 나타내도록 입력을 제어 시스템에 제공하기 위해 제2 사용자 입력(예를 들어, 조종기 제어기(34) 및/또는 내비게이션 제어기(48)에 동작 가능하게 연결된 발 페달)을 작동시킬 수 있다. 이러한 입력에 응답하여, 조종기 제어기(34)는 단계 412에서 위에서 설명된 자율 정렬 모드에서 동작하고, 뼈로부터 사전 한정된 거리 떨어진, 예를 들어 뼈로부터 100 mm 떨어진 원하는 절단 평면에 절단 가이드(38)를 배치한다. 자율 정렬이 완료되면, 사용자는 단계 414에서 제2 사용자 입력을 해제하고, 절단 가이드(38)는 뼈에 대한 현재 자세로 록킹된다.

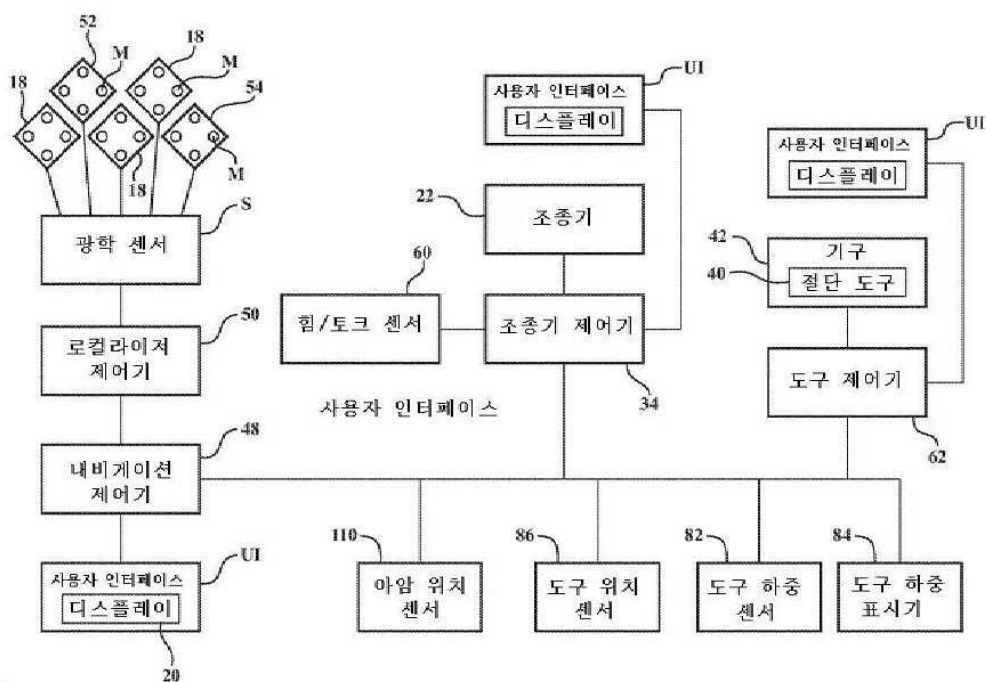
- [0132] 단계 416에서, 제1 사용자 입력(또는 다른 사용자 입력)은 절단 가이드(38)의 자세가 뼈에 대해 유지/홀딩되는 6-DOF(자유도)로 홀딩되는 것으로부터, 3-DOF에서 움직일 수 있는 것으로 조종기(22)가 전환되도록 햅틱 모드에 진입하도록 작동되고, 즉 절단 가이드(38)가 원하는 절단 평면에서 유지되는 한 사용자는 임의의 방식으로 절단 가이드(38)를 이동시킬 수 있다. 다시 말해서, 조종기 제어기(34)는 원하는 절단 평면 내에서 이동하지만 절단 평면을 벗어나지 않도록 햅틱 모드에서 사용자 인가 힘 및 토크에 응답한다. 그래서, 평면으로부터 벗어난 임의의 기울기를 초래하는, 사용자에게 의해 인가된 모든 힘과 토크는 무시된다. 이것은 이러한 원하지 않는 움직임을 야기할, 힘/토크 센서(60)에 의해 측정된 임의의 사용자 인가 힘 및 토크를 제로화하고, 원하는 절단 평면에서 이들 힘 및 토크, 즉 평면의 방향과 평면에서의 회전의 성분에만 응답하는 것에 의해 달성될 수 있다. 햅틱 모드에서의 동작에 의해, 사용자는 절단 가이드(38)를 초기 가이드 위치 또는 뼈에 더 가까운 다른 유사한 위치로 이동시킬 수 있다. 사용자가 제1 사용자 입력(또는 다른 입력)을 해제할 때, 조종기(22)는 단계 418에서 뼈에 대해 다시 홀딩된다. 단계 420에서, 사용자는 예를 들어, 도 5c 및 도 5d에 도시된 바와 같이 절단 가이드(38)에 대해 절단 도구(40)를 배치하는 것에 의해 절단 도구(40)를 이용하여 뼈의 초기 절단을 행할 수 있다.
- [0133] 일부 버전에서, 초기 가이드 위치에서 전체 절단이 행해질 수 있다. 다른 버전에서, 절단 가이드(38)는 평면 절단을 계속 행하기 위해 뼈로부터 멀어지게 재위치된다. 예를 들어, 단계 422에서, 사용자는 도 5e에 도시된 바와 같이 이격된 가이드 위치로 절단 가이드(38)를 이동시키기 위해 햅틱 모드 및 관련된 3-DOF 움직임으로 다시 들어가도록 제1 사용자 입력을 작동시킬 수 있다. 제1 사용자 입력이 해제될 때, 조종기(22)는 단계 424에서 뼈에 대해 6-DOF로 절단 가이드(38)를 다시 홀딩한다. 단계 426에서, 사용자는 뼈에 대해 필요한 절단을 완료할 수 있다.
- [0134] 일부 버전에서, 절단 가이드(38)는 절단 도구(40)가 제거될 뼈의 전체 용적에 도달할 수 있도록 즉 방향 및 내측 절단 가이드 위치(예를 들어, 도 8d, 도 8e 비교)로부터 원하는 절단 평면에서 즉 방향으로 사용자가 절단 가이드(38)를 이동시키는 것을 필요로 할 수 있는 이러한 크기(예를 들어, 비교적 작은)일 수 있다. 이것은 원하는 절단 평면에서 절단 가이드(38)의 즉 방향 이동(예를 들어, 도 8d 및 도 8e에 도시된 위치로부터)을 허용하기 위해 제1 사용자 입력을 통해 햅틱 모드로 전환하는 것에 의해 달성될 수 있다. 가상 경계는 위에서 설명된 바와 같이 절단 가이드(38)가 원하는 절단 평면에서 즉 방향으로 이동될 수 있지만 사전 한정된 제한 내에 있도록(예를 들어, 절단 도구(40)가 환자 특정 절단 경계(PSCB)를 넘어 연장되지 않도록) 크기화될 수 있다.
- [0135] 절단이 완성되면, 제1 사용자 입력은 절단 가이드(38)가 원하는 절단 평면과 관련된 가상 경계를 빠져나가는 출구 지점에 절단 가이드(38)가 도달할 때까지 뼈로부터 멀어지게 절단 가이드(38)를 사용자가 뒤로 가게 할 수 있도록 단계 428에서 햅틱 모드로 전환하기 위해 다시 작동될 수 있다. 추가적으로 또는 대안적으로, 사용자가 뼈로부터 적어도 사전 한정된 거리, 예를 들어 150 mm만큼 절단 가이드(38)를 뒤로 가게 하면, 가상 경계는 무력화될 수 있고, 조종기 제어기(34)는 단계 430에서와 같이 자동으로 자유 모드로 들어갈 수 있으며, 사용자는 이어서 단계 432에서 절단 가이드(38)를 다음의 원하는 절단 평면과 수동으로 정렬할 수 있다.
- [0136] 몇몇 실시형태가 전술한 설명에서 논의되었다. 그러나, 본 명세서에서 논의된 실시형태는 본 발명을 모든 특정 형태로 완전하게 망라하거나 제한하도록 의도되지 않는다. 사용된 용어는 제한이 아니라 설명의 성격을 띠도록 의도된다. 상기 교시에 비추어 많은 변경 및 변형이 가능하고 본 발명은 구체적으로 설명된 것과 다르게 실시될 수 있다.

도면

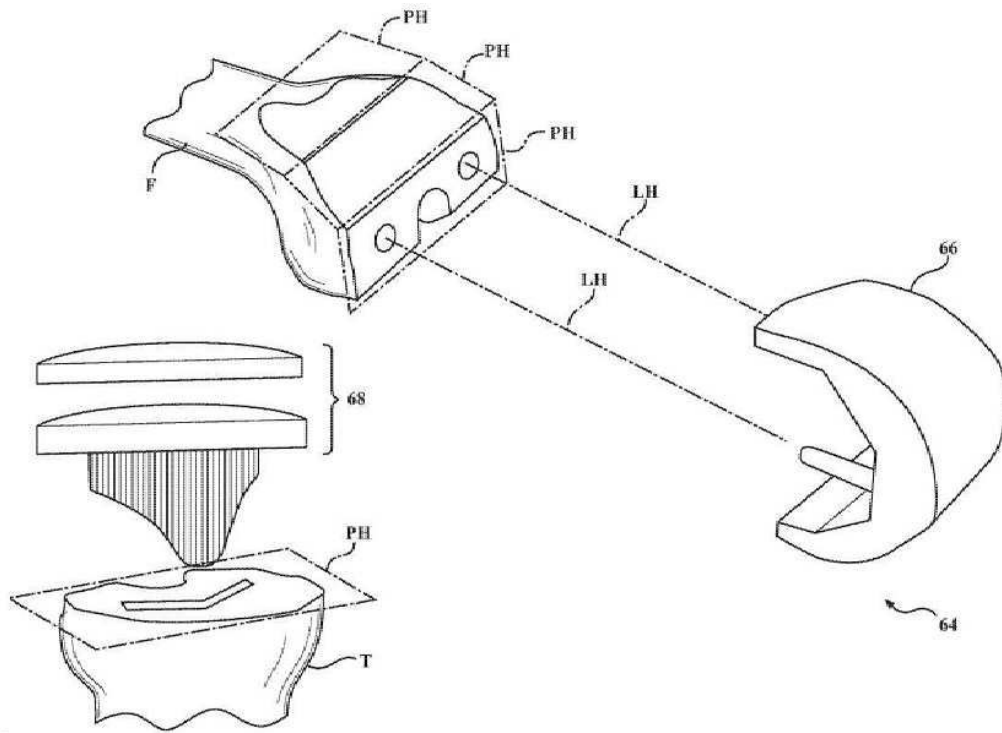
도면1



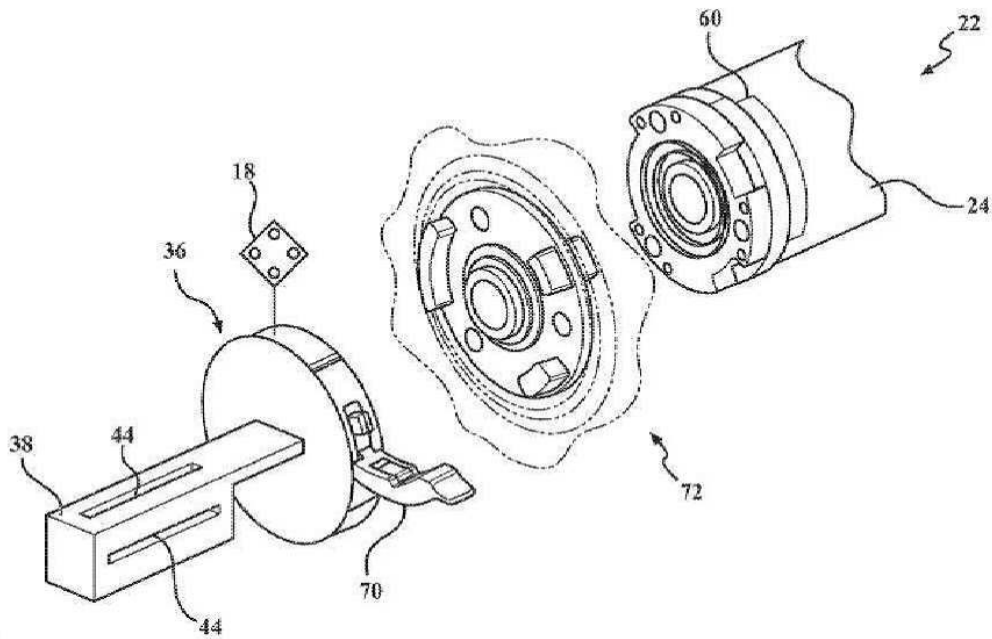
도면2



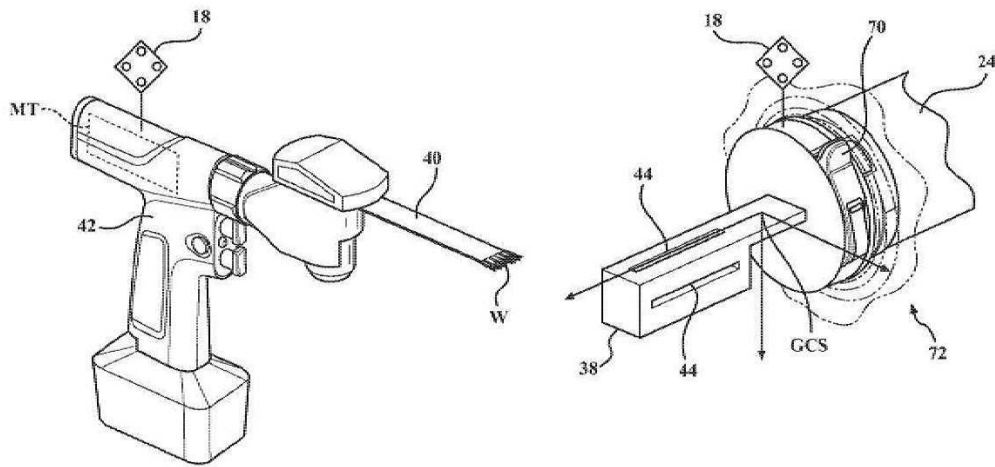
도면3



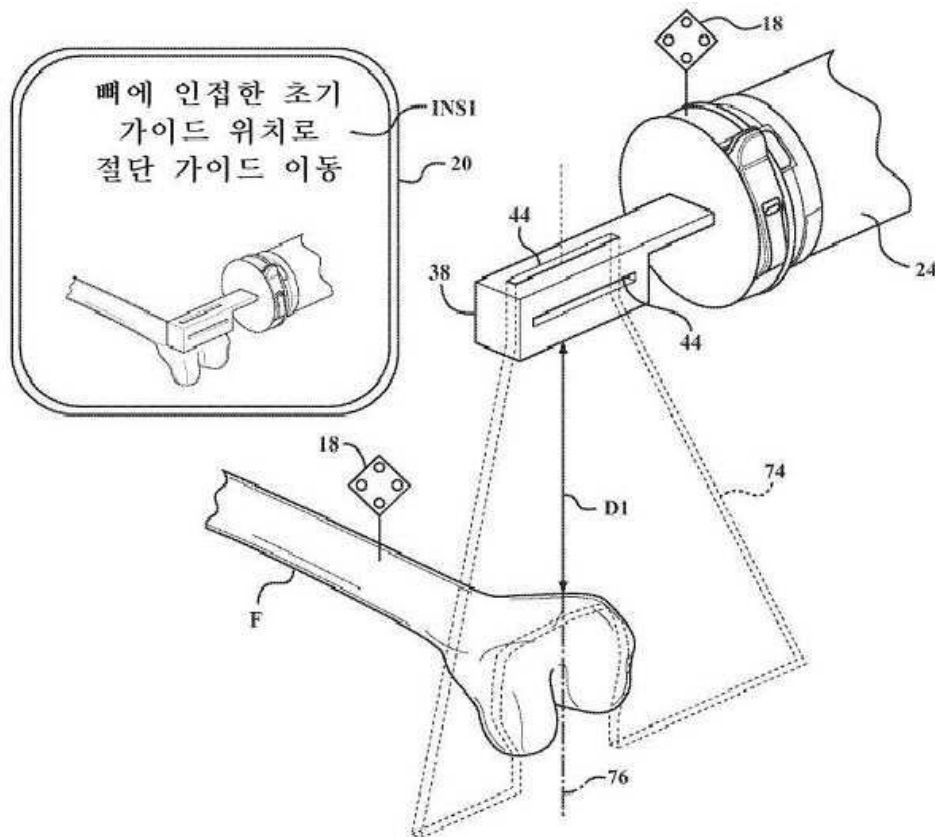
도면4a



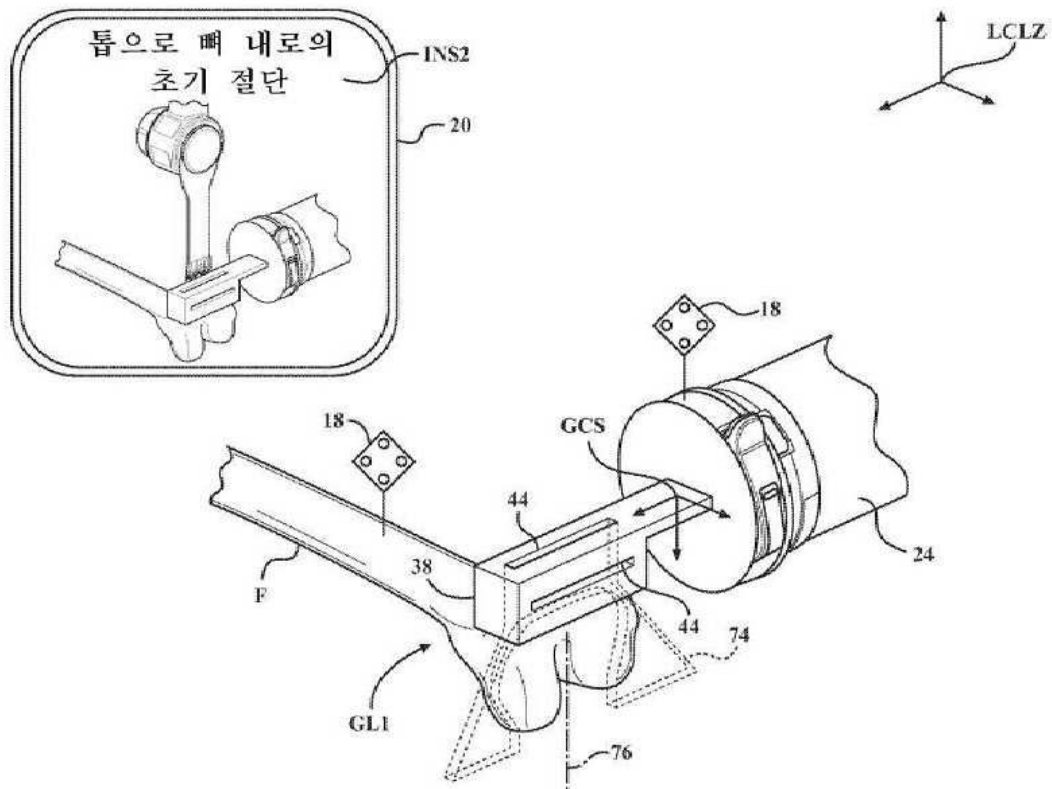
도면4b



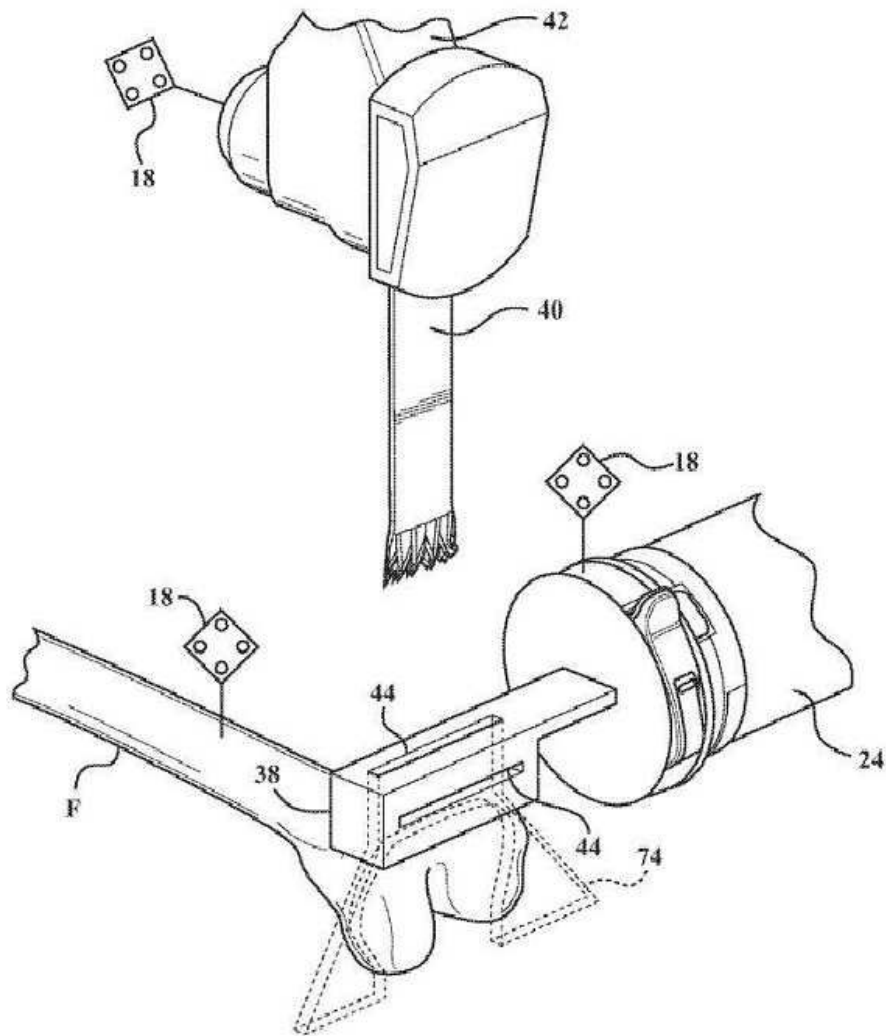
도면5a



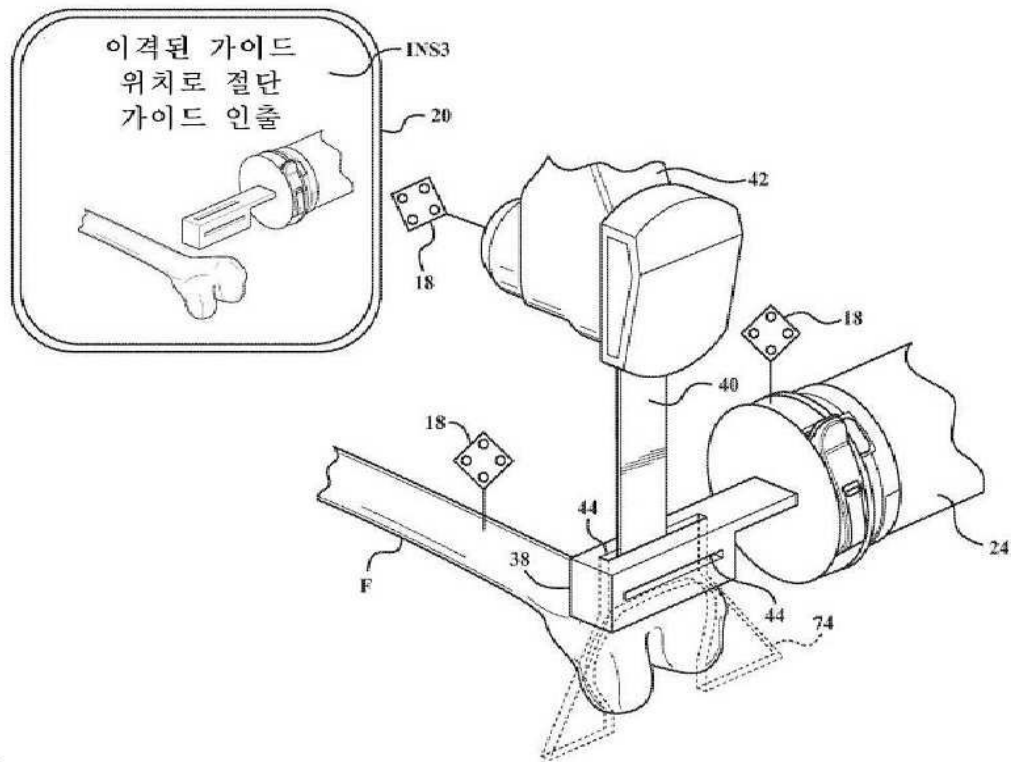
도면5b



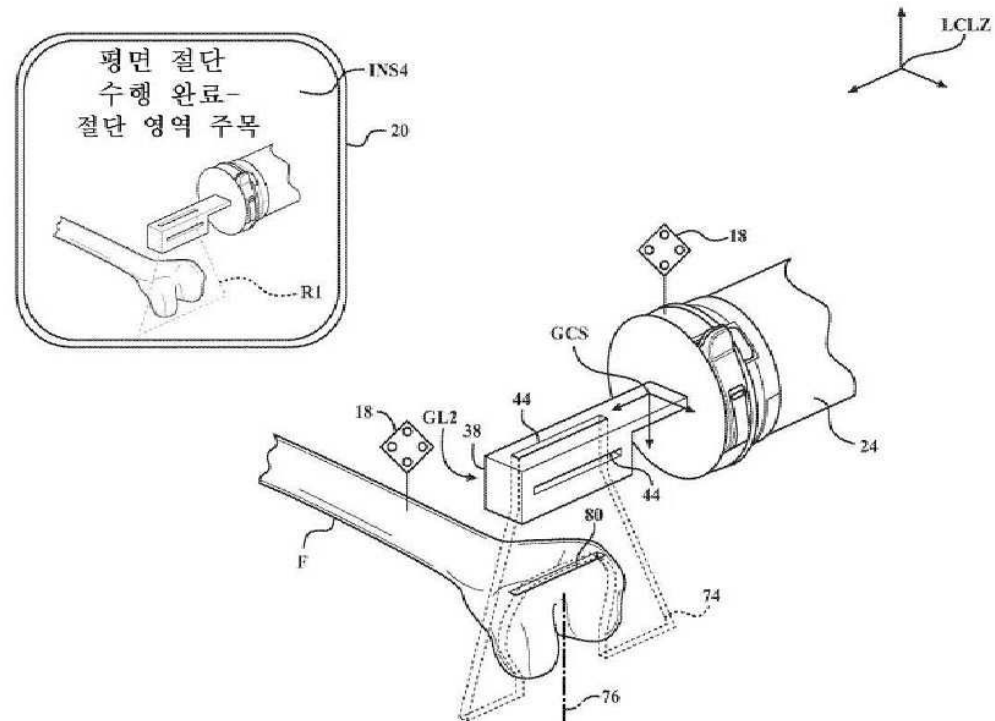
도면5c



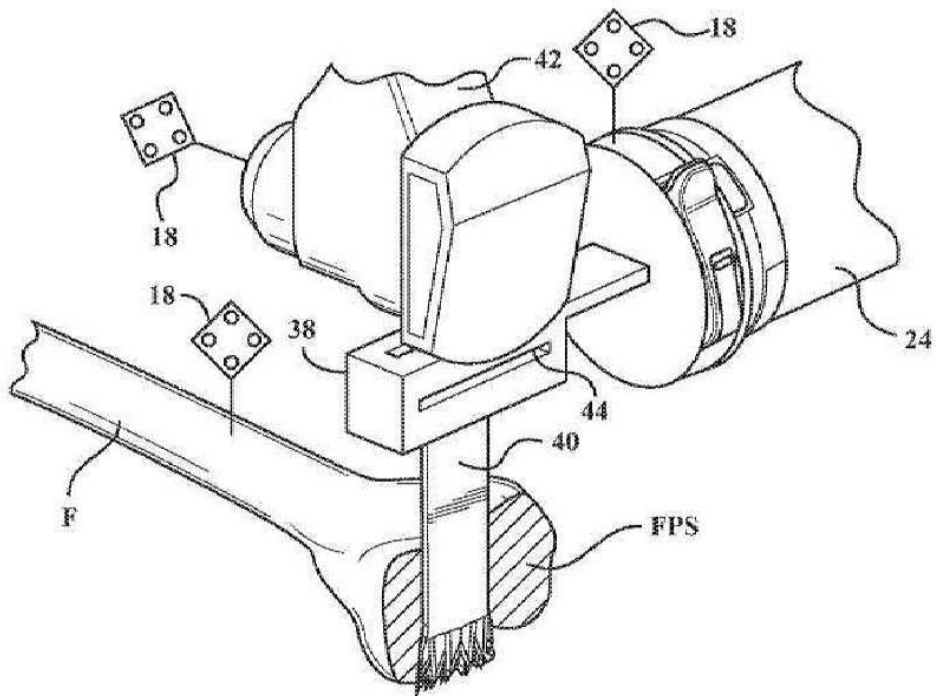
도면5d



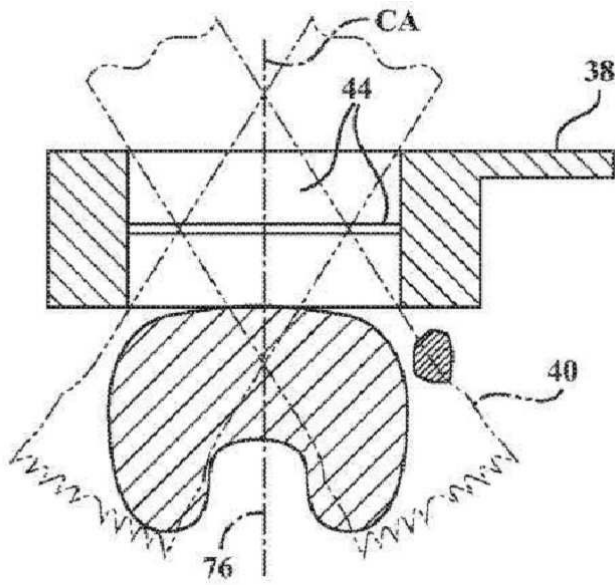
도면5e



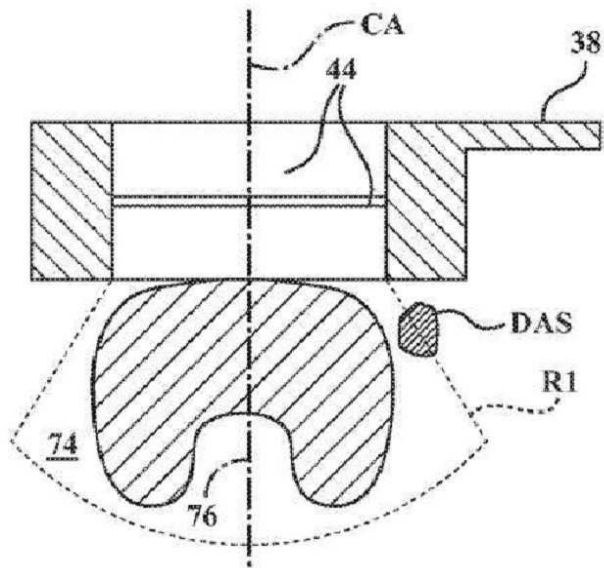
도면5f



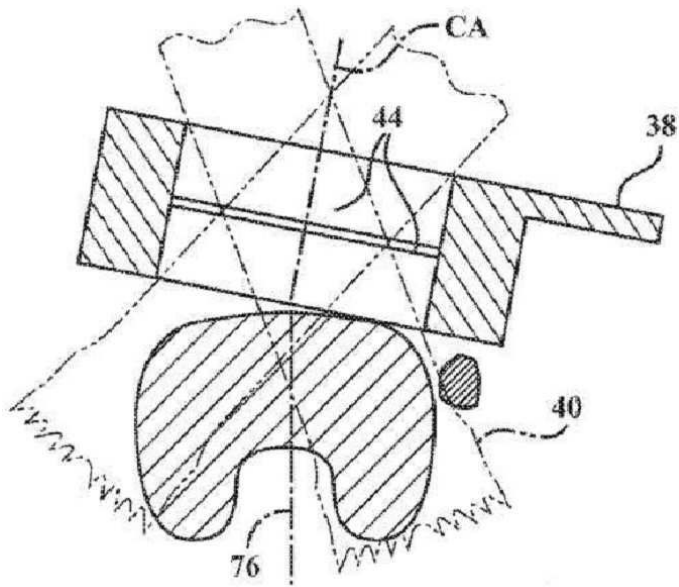
도면6a



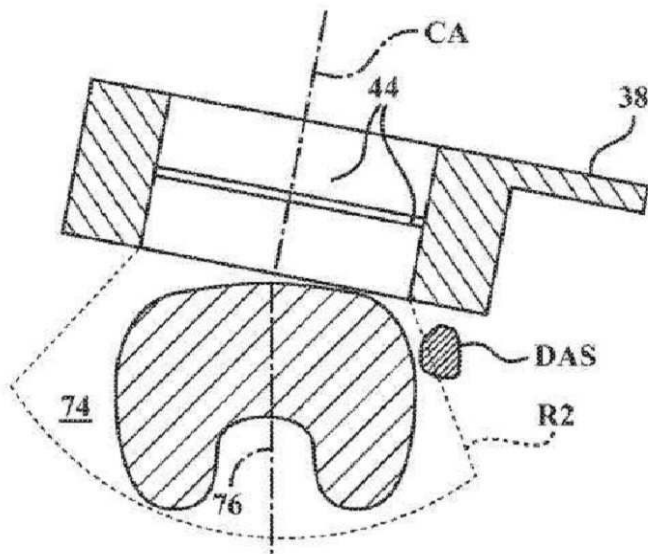
도면6b



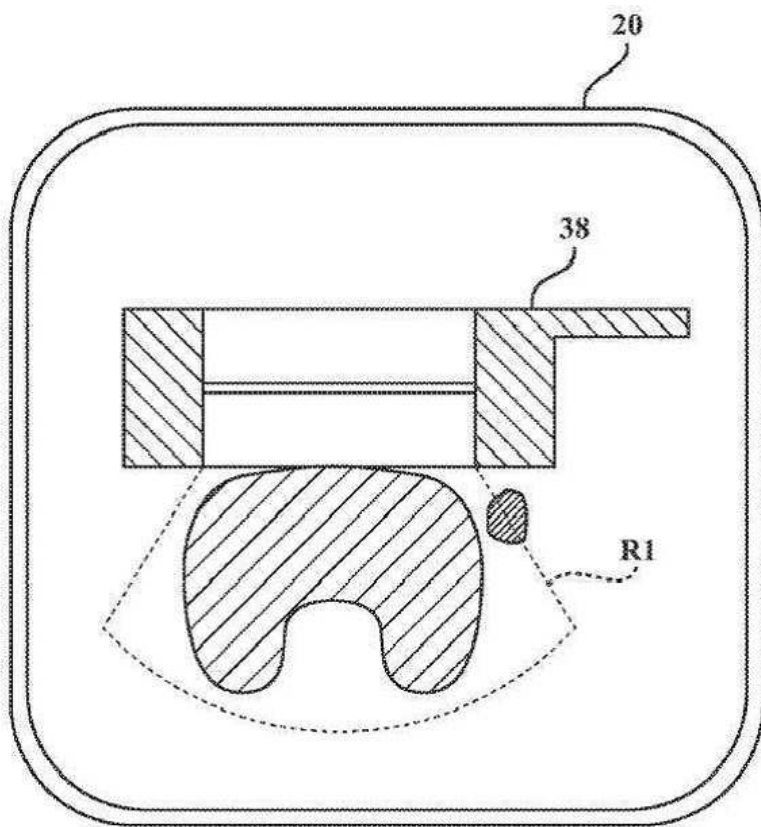
도면7a



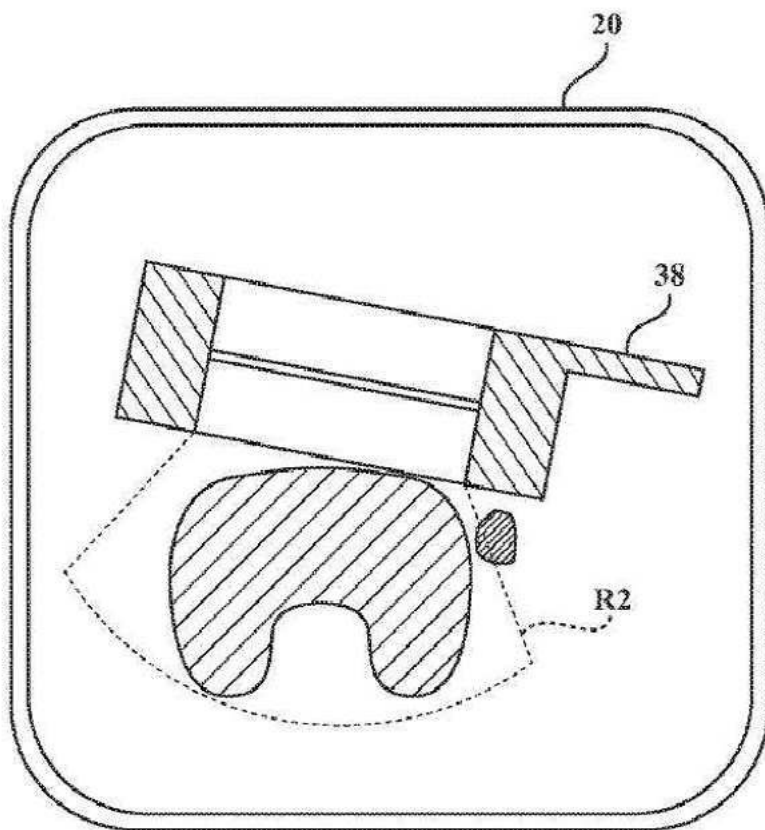
도면7b



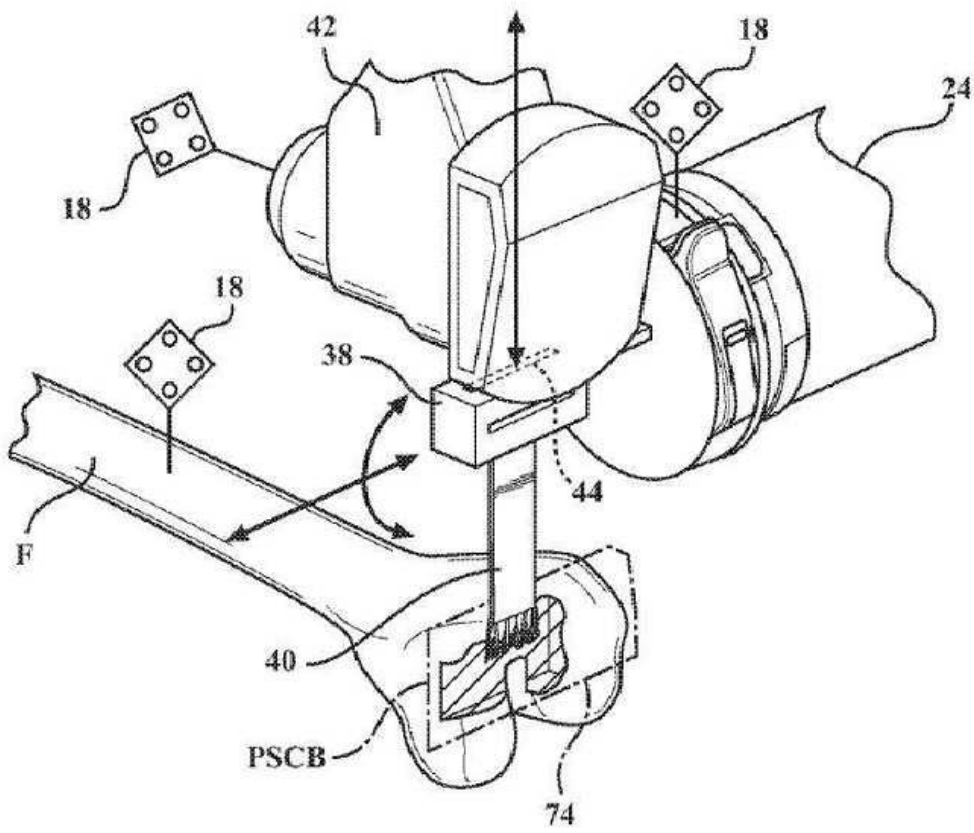
도면8a



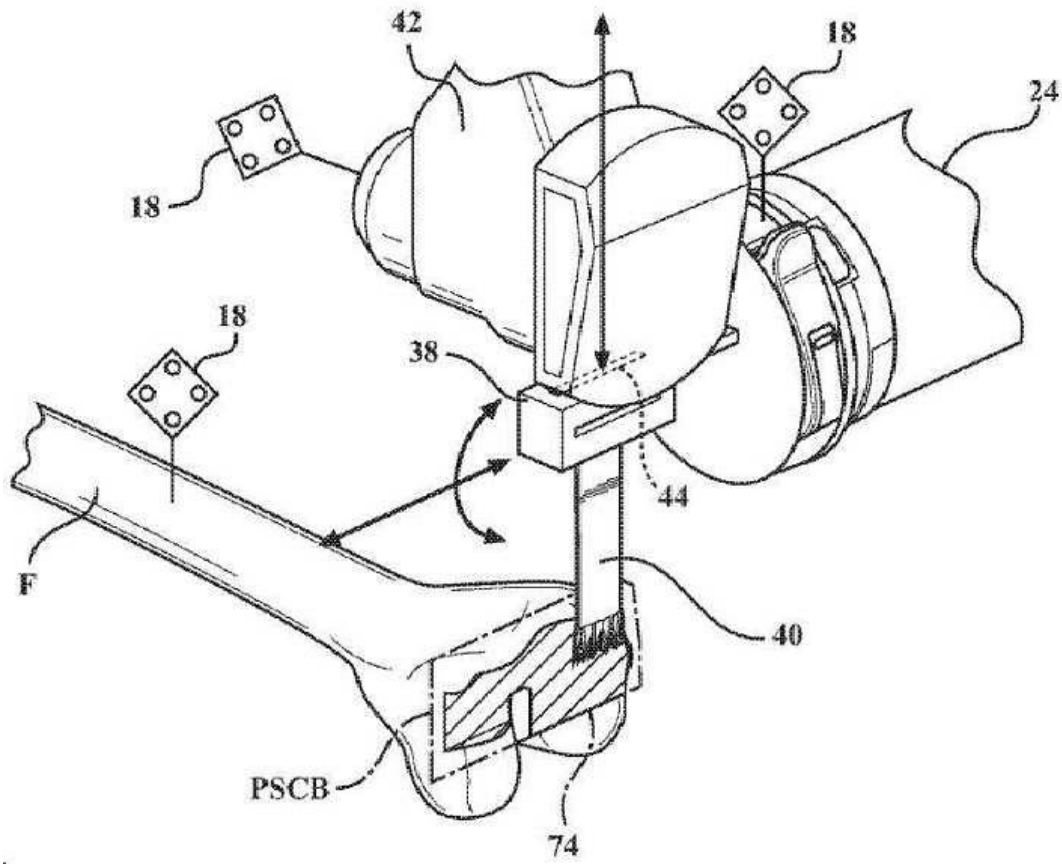
도면 8b



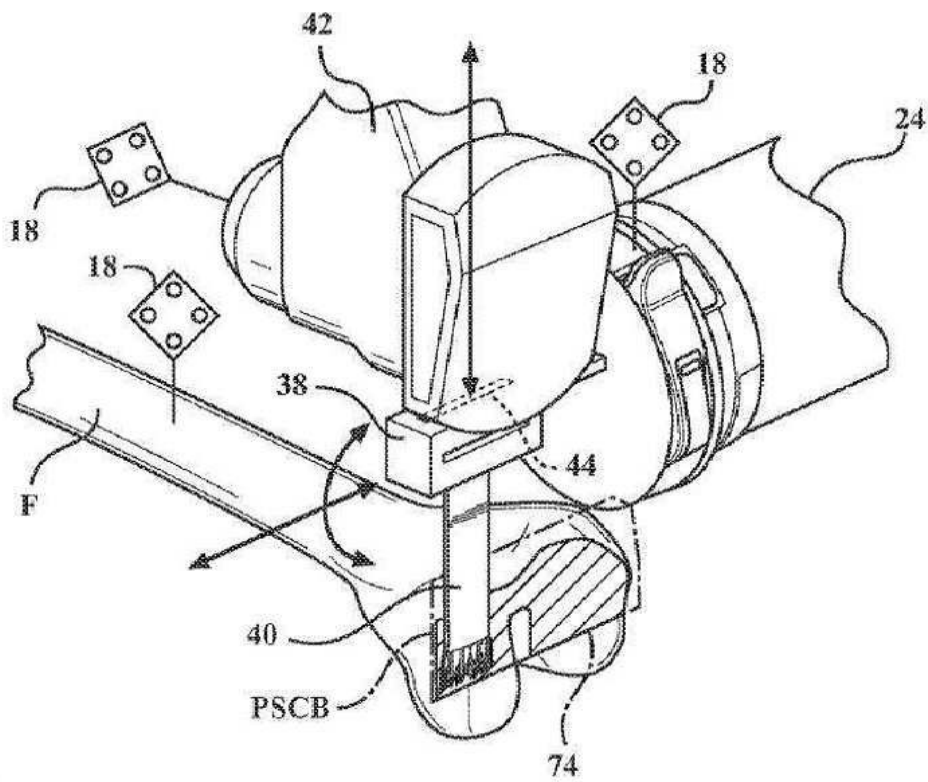
도면8c



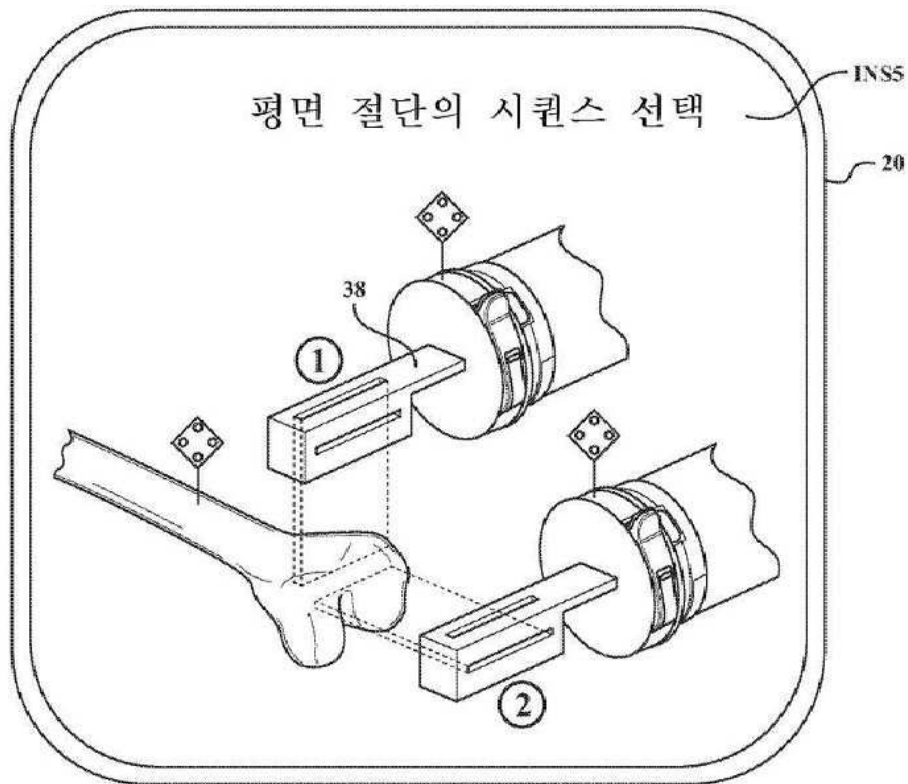
도면8d



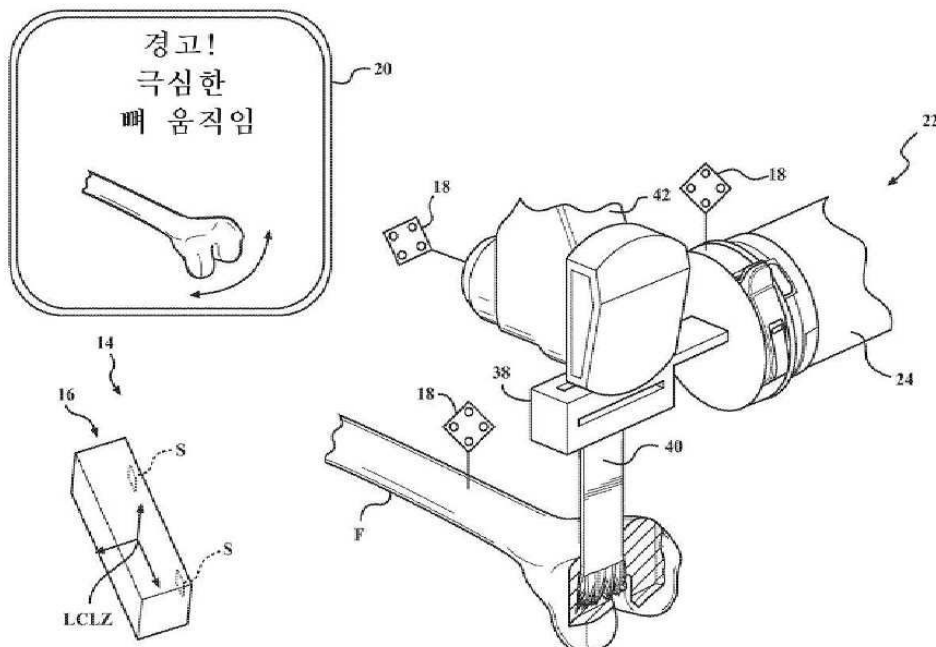
도면8e



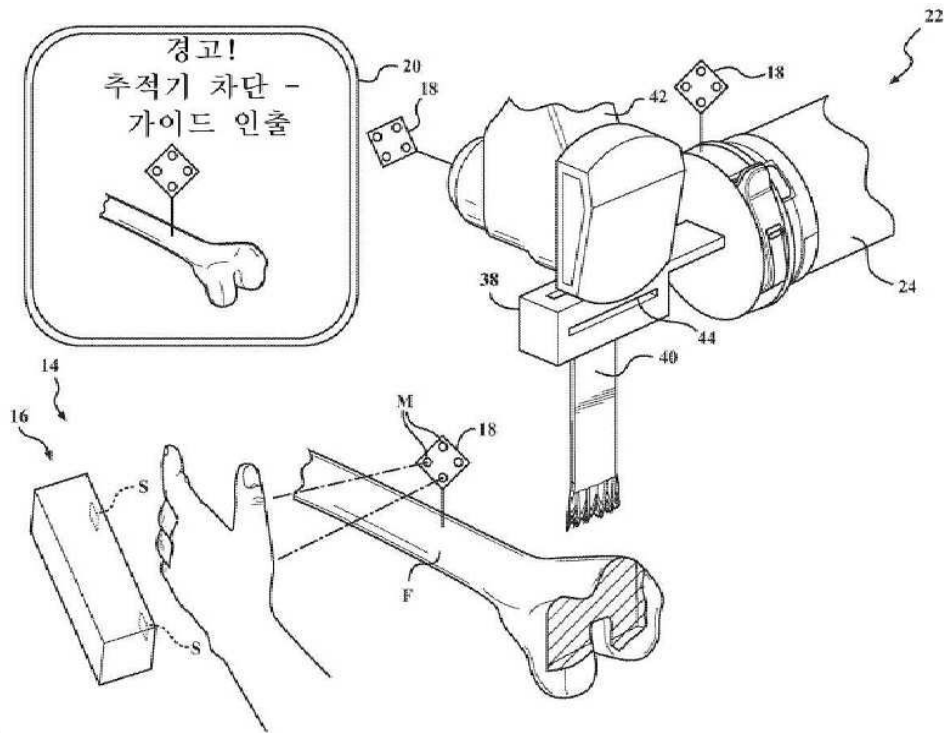
도면9



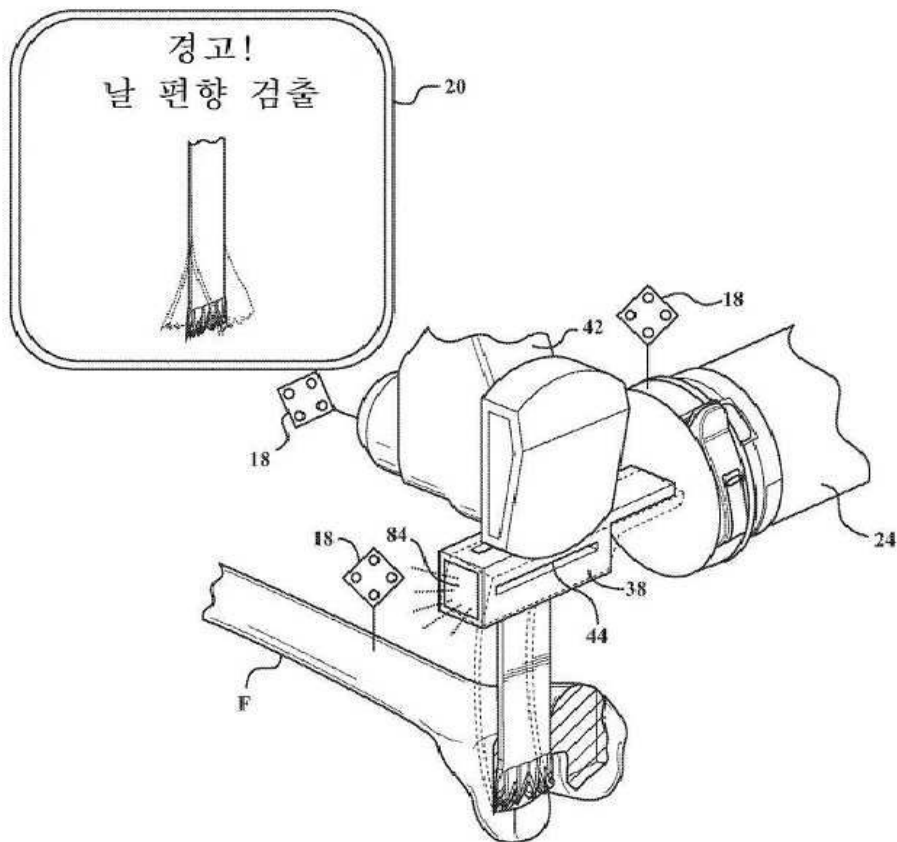
도면 10



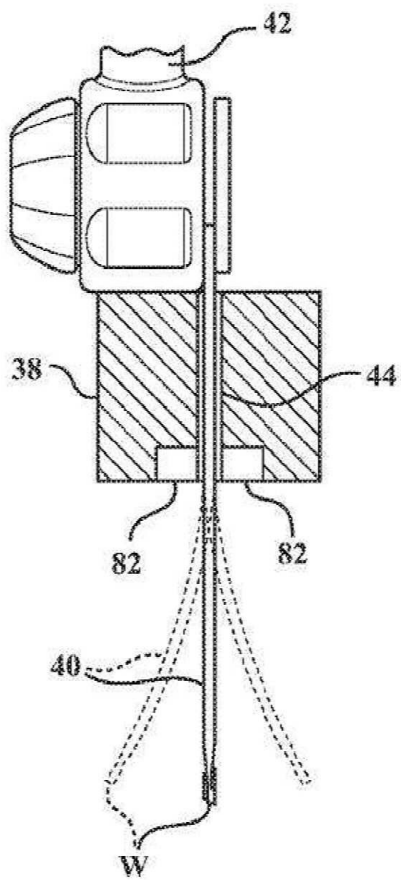
도면11



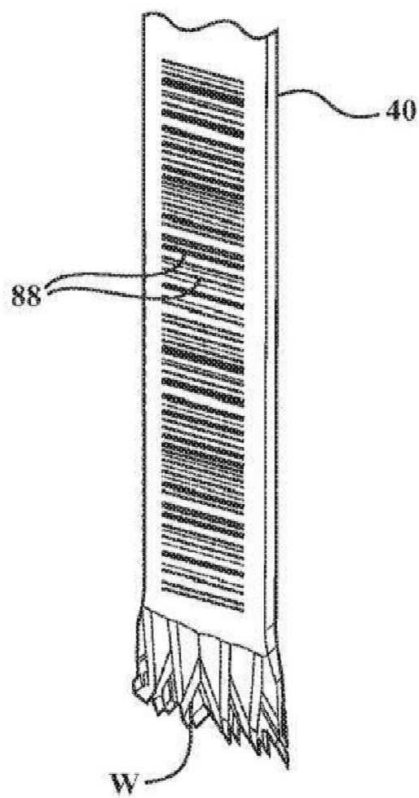
도면12



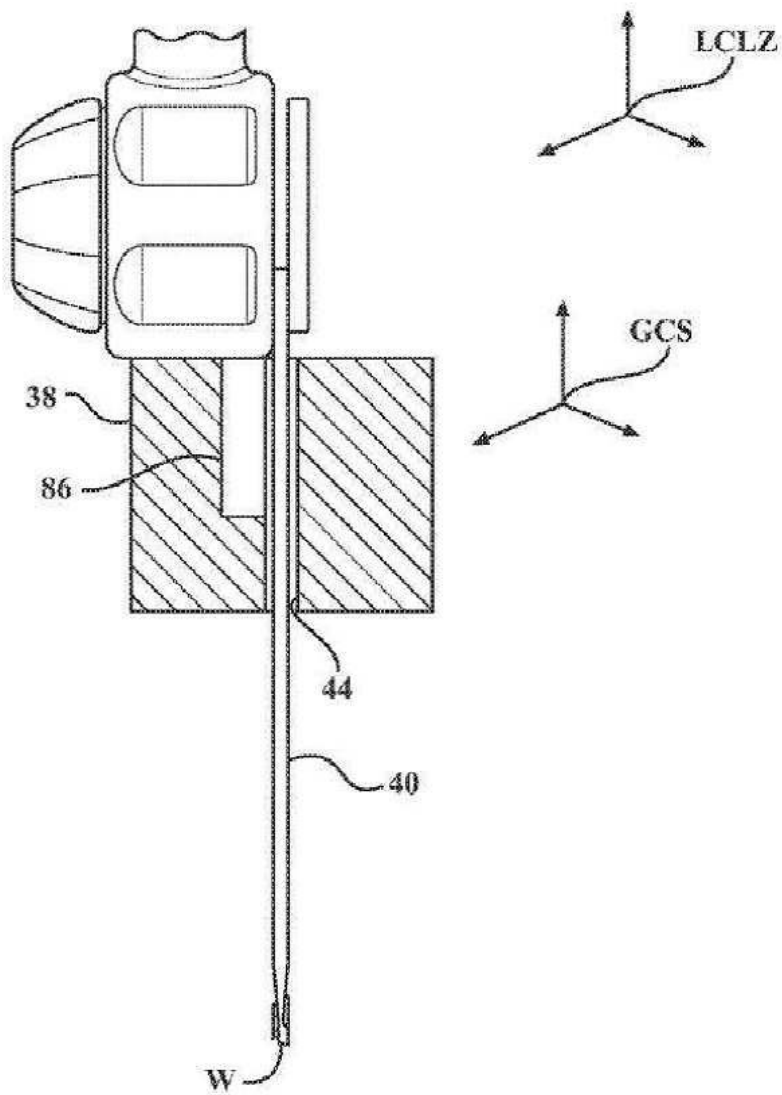
도면13



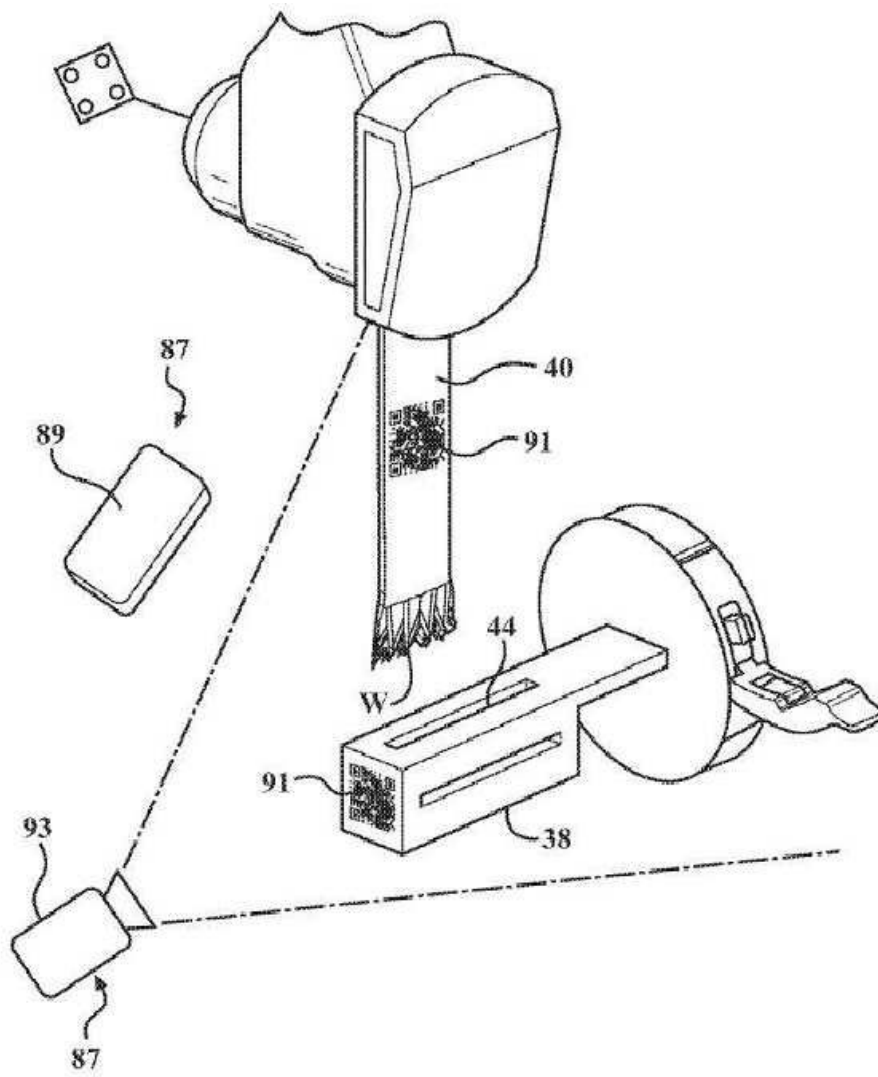
도면14



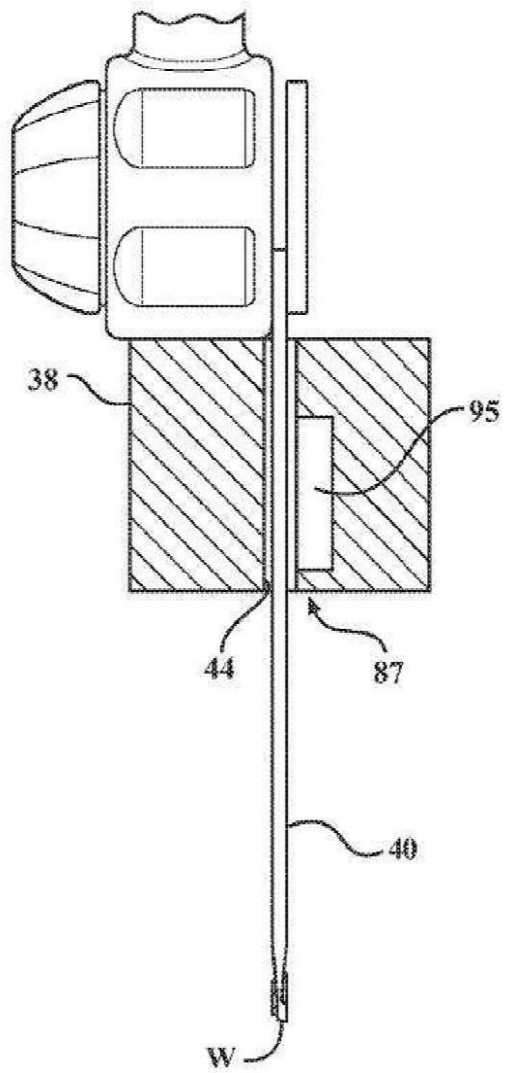
도면15



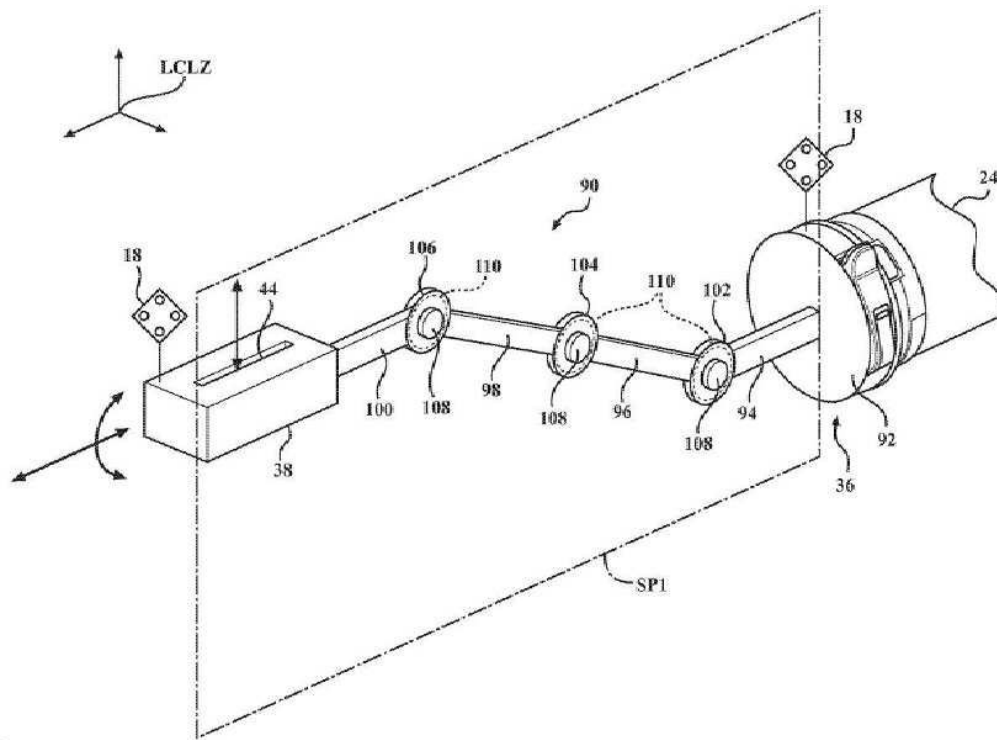
도면15a



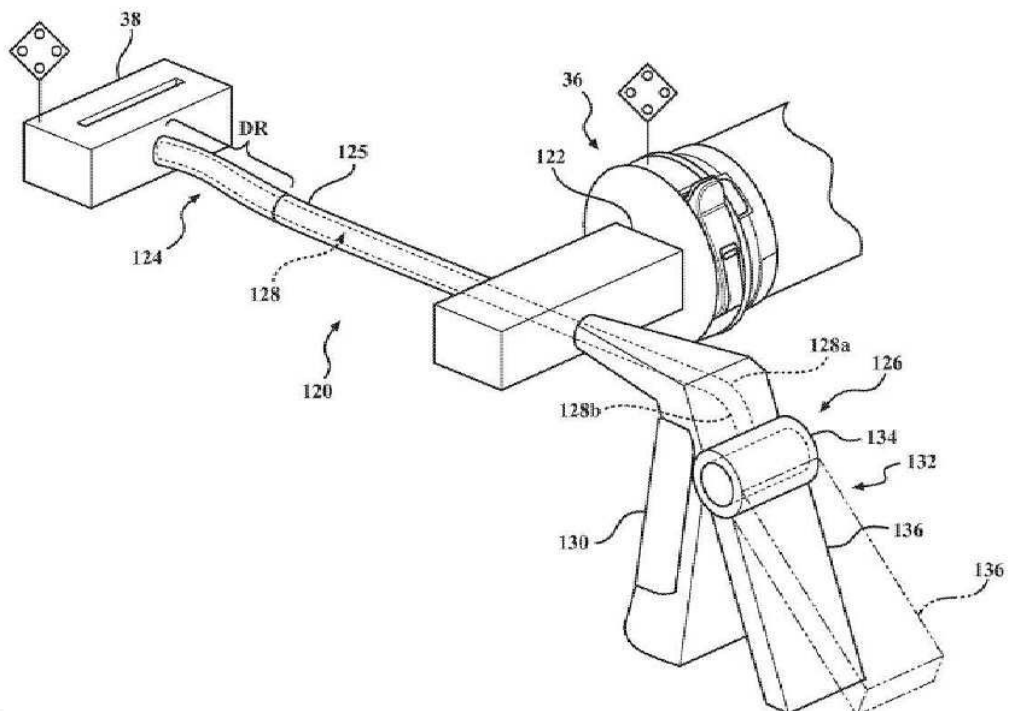
도면15b



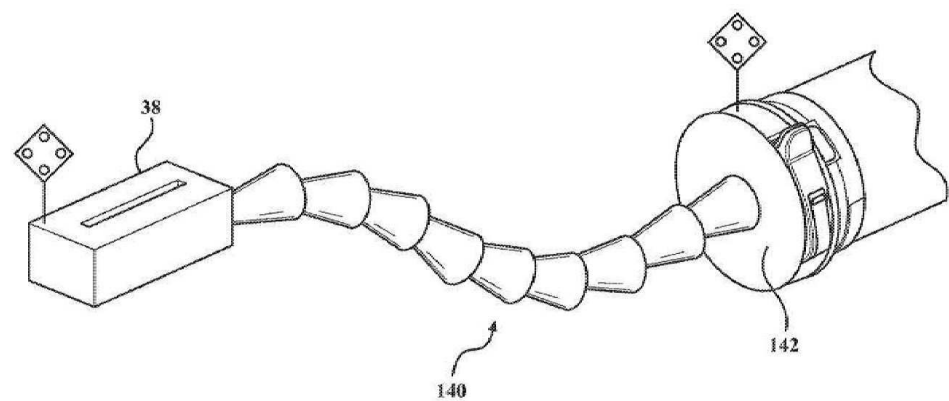
도면16



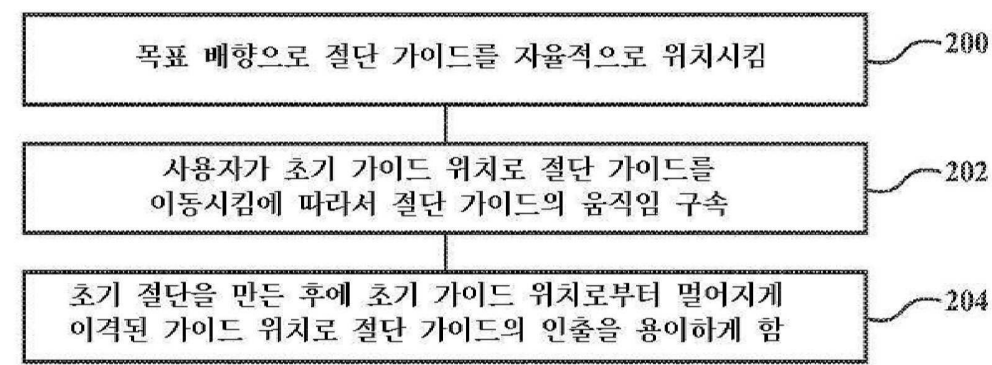
도면16a



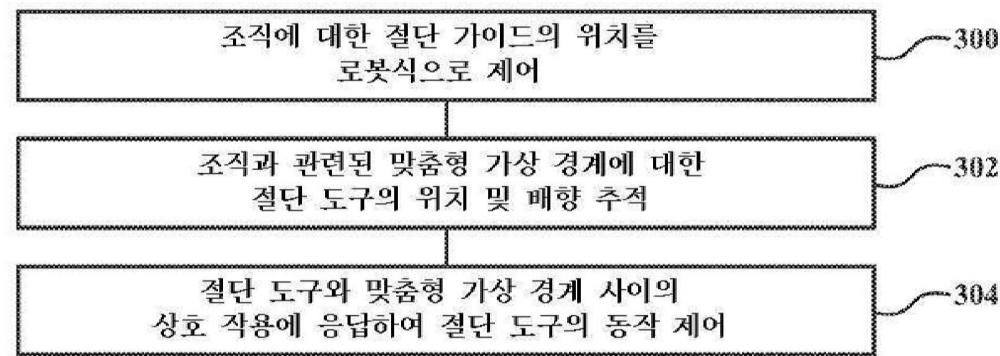
도면16b



도면17



도면18



도면19

