



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 113811258 B

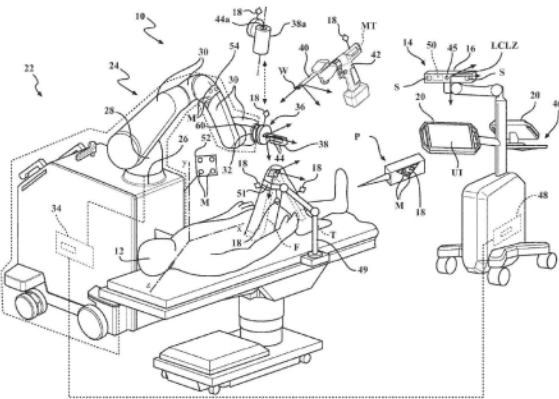
(45) 授权公告日 2024. 05. 24

(21) 申请号 202080035148.2
(22) 申请日 2020.04.10
(65) 同一申请的已公布的文献号
申请公布号 CN 113811258 A
(43) 申请公布日 2021.12.17
(30) 优先权数据
62/833,227 2019.04.12 US
(85) PCT国际申请进入国家阶段日
2021.11.11
(86) PCT国际申请的申请数据
PCT/US2020/027665 2020.04.10
(87) PCT国际申请的公布数据
W02020/210621 EN 2020.10.15
(73) 专利权人 马科外科公司
地址 美国佛罗里达
(72) 发明人 姜孝植 J·K·奥托 M·哈罗
(74) 专利代理机构 中国贸促会专利商标事务所
有限公司 11038
专利代理师 王庆华

(51) Int.Cl.
A61B 34/30 (2016.01)
A61B 34/20 (2016.01)
A61B 17/14 (2006.01)
(56) 对比文件
CN 101448467 A, 2009.06.03
CN 107405156 A, 2017.11.28
US 2003130576 A1, 2003.07.10
US 2007219559 A1, 2007.09.20
US 2018116739 A1, 2018.05.03
US 2018344409 A1, 2018.12.06
US 2006142657 A1, 2006.06.29
US 2008009697 A1, 2008.01.10
US 2012237105 A1, 2012.09.20
US 2016113720 A1, 2016.04.28
US 2018157238 A1, 2018.06.07
US 2018325608 A1, 2018.11.15
US 2019083191 A1, 2019.03.21
US 4979949 A, 1990.12.25

审查员 王萌萌
权利要求书4页 说明书28页 附图29页

(54) 发明名称
用于操纵外科手术器械的切割引导件的机器人系统和方法
(57) 摘要
一种机器人外科手术系统包括机器人机械手以及将联接到所述机器人机械手的切割引导件。所述切割引导件被配置为引导切割工具,使得所述切割工具切割患者的组织。控制系统联接到所述机器人机械手以控制所述切割引导件和/或所述切割工具相对于所述组织的位置。



1. 一种用于与徒手外科手术用锯子一起使用的机器人外科手术系统,所述徒手外科手术用锯子具有锯片,所述机器人外科手术系统包括:

机器人机械手;

端部执行器,所述端部执行器包括将联接到所述机器人机械手的切割引导件,所述切割引导件被配置为引导所述锯片,使得所述锯片沿着期望的切割平面切割骨骼;以及

控制系统,所述控制系统联接到所述机器人机械手以通过被配置为以下方式来控制所述切割引导件相对于所述骨骼的位置:

相对于所述骨骼自主地将所述切割引导件定位在目标取向,使得在所述锯片与所述切割引导件配合时,所述锯片与所述期望的切割平面对准;

在用户手动地操纵所述端部执行器以使所述切割引导件朝向所述骨骼移动到与所述骨骼相邻的初始引导位置时,约束所述切割引导件的移动,使得所述切割引导件在所述初始引导位置处保持在所述目标取向上;以及

控制所述机器人机械手以在所述用户沿着所述期望的切割平面用所述锯片在所述骨骼中进行初始切割之后促进所述切割引导件从所述初始引导位置抽离到间隔开的引导位置,

由此所述切割引导件在所述间隔开的引导位置处保持在所述目标取向上,并且其中所述间隔开的引导位置是基于与所述锯片相关联的一个或多个参数来确定的,并且所述间隔开的引导位置适合于所述锯片沿着所述期望的切割平面继续切割所述骨骼。

2. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以自主地将所述切割引导件从所述骨骼抽离并且将所述切割引导件从所述初始引导位置移动到所述间隔开的引导位置。

3. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为在所述切割引导件处于所述初始引导位置时对所述用户生成用所述锯片在所述骨骼中进行所述初始切割的指令,并且在进行所述初始切割之后对所述用户生成将所述切割引导件从所述骨骼抽离的指令。

4. 如权利要求3所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为在所述用户手动地操纵所述切割引导件以将所述切割引导件从所述骨骼抽离时操作所述机器人机械手以约束所述切割引导件的移动。

5. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述一个或多个参数包括以下各项中的至少一者:所述锯片的长度;所述锯片的宽度;所述锯片能够通过所述切割引导件切入所述骨骼的最大深度;以及所述锯片的跟踪位置。

6. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以相对于所述骨骼将所述切割引导件锁定在所述初始引导位置处,使得所述用户能够在所述切割引导件位于与所述骨骼相邻处时沿着所述期望的切割平面用所述锯片进行所述初始切割。

7. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,所述机器人外科手术系统包括导航系统以跟踪以下各项中的一者或多者:所述骨骼;所述锯片;以及所述切割引导件,所述导航系统包括显示器以呈现以下各项中的一者或多者的视觉表示:所述骨骼;所述锯片;以及所述切割引导件。

8. 如权利要求7所述的机器人外科手术系统,其中所述导航系统被配置为跟踪所述切割引导件相对于所述骨骼的位置和取向,所述导航系统被配置为在所述切割引导件处于所述间隔开的引导位置时生成所述骨骼中所述锯片能够到达的区域的视觉表示。

9. 如权利要求8所述的机器人外科手术系统,其中所述导航系统被配置为跟踪对所述骨骼的切割并且生成对所述骨骼的所述切割的视觉表示。

10. 如权利要求8所述的机器人外科手术系统,其中所述导航系统被配置为跟踪所述切割引导件从相对于所述骨骼的第一引导角度到相对于所述骨骼的第二引导角度的重新定向,由此所述锯片以这两个引导角度与所述期望的切割平面保持对准,所述控制系统被配置为在所述切割引导件从所述第一引导角度重新定向到所述第二引导角度时改变所述骨骼中所述锯片能够到达的所述区域的所述视觉表示,使得所述用户能够看到所述切割引导件的重新定向如何影响所述期望的切割平面中的潜在的骨骼切割。

11. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为在切除所述骨骼的一部分之后,在所述用户手动地操纵所述端部执行器以将所述切割引导件从所述骨骼抽离时操作所述机器人机械手以约束所述切割引导件的移动。

12. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以通过向所述用户提供触觉反馈来约束所述切割引导件的移动。

13. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以自主地将所述切割引导件在与所述骨骼间隔开起始距离之处定位在所述目标取向,使得所述锯片在所述切割引导件处于所述起始距离时无法通过所述切割引导件接触所述骨骼。

14. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为以自主模式、触觉模式和自由模式中之一者操作所述机器人机械手。

15. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以自主地定位所述切割引导件,使得所述锯片与第二期望的切割平面对准。

16. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述期望的切割平面进一步被限定为第一期望的切割平面,并且所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以自主地定位所述切割引导件,使得所述锯片响应于用户输入而与第二期望的切割平面对准。

17. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以自主地定位所述切割引导件,使得所述锯片与多个期望的切割平面对准以进行多次平面切割,所述控制系统基于预定标准而确定所述切割引导件的定位序列以进行所述平面切割。

18. 如权利要求17所述的机器人外科手术系统,其中所述预定标准包括以下各项中的一者或多者:用户偏好;所述多个期望的切割平面之间的距离;所述切割引导件相对于所述多个期望的切割平面的当前对准;以及所述切割引导件到达所述多个期望的切割平面的所需移动。

19. 如权利要求18所述的机器人外科手术系统,其中所述多个期望的切割平面由虚拟对象限定。

20. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,所述机器人外科手术系统包括导航系统以跟踪以下各项中的一者或多者:所述骨骼;所述锯片;以及所述切割引导件。

21. 如权利要求20所述的机器人外科手术系统,其中所述导航系统包括:第一跟踪器,所述第一跟踪器用于跟踪所述切割引导件的位置和取向;第二跟踪器,所述第二跟踪器用于跟踪所述骨骼的位置和取向;以及第三跟踪器,所述第三跟踪器用于跟踪所述锯片的位置和取向。

22. 如权利要求21所述的机器人外科手术系统,其中所述切割引导件的所述初始引导位置和所述间隔开的引导位置基于来自所述导航系统的数据而确定。

23. 如权利要求20所述的机器人外科手术系统,其中所述导航系统被配置为确定所述骨骼的速度或加速度中的一者或多者,并且所述控制系统被配置为响应于所述骨骼的所述速度或加速度中的一者或多者超过预定限值而以自由模式操作所述机器人机械手。

24. 如权利要求23所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为自主地定位所述切割引导件,使得所述锯片响应于所述导航系统确定所述速度或加速度中的所述一者或多者处于或低于所述预定限值而与所述期望的切割平面重新对准。

25. 如权利要求20所述的机器人外科手术系统,其中所述导航系统包括用于从跟踪元件接收光的定位器,所述导航系统被配置为确定所述跟踪元件中的一者或多者是否被阻挡在所述定位器的视野之外。

26. 如权利要求25所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为响应于所述跟踪元件中的所述一者或多者被阻挡在视野之外而促进所述切割引导件从所述骨骼抽离。

27. 如权利要求26所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手,以在所述跟踪元件中的所述一者或多者被阻挡在视野之外之前所存储的沿着所述切割引导件的取向将所述切割引导件从所述骨骼抽离。

28. 如权利要求26所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以自主地定位所述切割引导件,使得所述锯片响应于所述跟踪元件中的所述一者或多者不再被阻挡在所述定位器的视野之外而与所述期望的切割平面重新对准。

29. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统包括用于测量由所述用户施加到所述端部执行器和所述机器人机械手中的一者或多者的一个或多个力和扭矩的一个或多个传感器,所述控制系统被配置为响应于所述一个或多个力和扭矩超过预定限值而以自由模式操作所述机器人机械手。

30. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统包括联接到所述切割引导件以感测由所述锯片施加在所述切割引导件上的载荷的一个或多个传感器。

31. 如权利要求30所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统包括响应于由所述锯片施加在所述切割引导件上的所述载荷超过预定限值而激活的指示器。

32. 如权利要求31所述的机器人外科手术系统,其中所述指示器包括以下各项中的至少一者:视觉指示器;触觉指示器;以及听觉指示器。

33. 如权利要求30所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统被配置为与所述徒手外科手术用锯子的马达通信,所述控制系统被配置为响应于由所述锯片施加在所述切割引导件上的所述载荷超过预定限值而停用所述马达的操作以停止用所述锯片进行切割。

34. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统包括联接到所述切割引导件以确定所述锯片相对于所述切割引导件的相对位置的一个或多个传感器。

35. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统包括用户接口,所述用户接口被配置为从所述用户接收输入以调整所述切割引导件的位置和取向中的至少一者。

36. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述切割引导件包括一个或多个刀片接纳槽。

37. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,所述机器人外科手术系统包括被动连杆机构,所述被动连杆机构将所述端部执行器的基座与所述切割引导件互连以相对于所述端部执行器的所述基座将所述切割引导件的移动约束于单一平面。

38. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,所述机器人外科手术系统包括铰接臂,所述铰接臂用于联接到所述骨骼以限制所述骨骼的移动。

39. 如权利要求1所述的机器人外科手术系统,其中所述控制系统包括一个或多个控制器。

40. 一种机器人外科手术系统,所述机器人外科手术系统包括:

机器人机械手;

端部执行器,所述端部执行器包括将联接到所述机器人机械手的引导件,所述引导件被配置为引导徒手外科手术工具,使得所述徒手外科手术工具沿着期望的平面或轴线移动以从骨骼移除物质;以及

控制系统,所述控制系统联接到所述机器人机械手以通过被配置为以下方式来控制所述引导件相对于所述骨骼的位置:

相对于所述骨骼自主地将所述引导件定位在目标取向,使得在所述徒手外科手术工具放置在所述引导件中时,所述徒手外科手术工具与所述期望的平面或轴线对准;

在用户手动地操纵所述端部执行器以使所述引导件朝向所述骨骼移动到与所述骨骼相邻的初始引导位置时,约束所述引导件的移动,使得所述引导件在所述初始引导位置处保持在所述目标取向上;以及

控制所述机器人机械手以在所述用户沿着所述期望的平面或轴线用所述徒手外科手术工具从所述骨骼移除初始量的物质之后促进所述引导件从所述初始引导位置抽离到间隔开的引导位置,

由此所述引导件在所述间隔开的引导位置处保持在所述目标取向上,并且其中所述间隔开的引导位置是基于与所述徒手外科手术工具相关联的一个或多个参数来确定的,并且所述间隔开的引导位置适合于所述徒手外科手术工具沿着所述期望的平面或轴线继续从所述骨骼移除物质。

用于操纵外科手术器械的切割引导件的机器人系统和方法

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求于2019年4月12日提交的美国临时专利申请号62/833,227的优先权和所有权益,所述专利申请的全部内容以引用的方式整体并入本文。

背景技术

[0003] 在外科手术期间普遍会使用电动外科手术器械,诸如锯子、钻机、扩孔器等。通常,这些外科手术器械可由诸如外科医生的用户操作。外科手术器械包括切割工具,所述切割工具被配置为切割患者的组织,诸如骨骼、韧带、皮肤等等。

[0004] 在进行必要的切割时经常采用一个或多个切割引导件来引导切割工具。然而,放置切割引导件(通常包括将切割引导件固定到患者的组织)会增加外科手术所需的时间。机器人外科手术的一些目标是提高切割精度并且减少切割时间。因此,为采用机器人系统来放置切割引导件已经做出了努力。然而,需要进一步改进此类机器人系统。

发明内容

[0005] 在第一方面,提供了一种用于与外科手术用锯子一起使用的机器人外科手术系统,所述外科手术用锯子具有锯片。所述机器人外科手术系统包括机器人机械手和端部执行器,所述端部执行器包括将联接到所述机器人机械手的切割引导件。所述切割引导件被配置为引导所述锯片,使得所述锯片沿着期望的切割平面切割骨骼。控制系统联接到所述机器人机械手以通过以下方式来控制所述切割引导件相对于所述骨骼的位置:相对于所述骨骼自主地将所述切割引导件定位在目标取向,使得在所述锯片与所述切割引导件配合时,所述锯片与所述期望的切割平面对准;以及在用户手动地操纵所述端部执行器以使所述切割引导件朝向所述骨骼移动到与所述骨骼相邻的初始引导位置时,约束所述切割引导件的移动,使得所述切割引导件在所述初始引导位置处保持在所述目标取向上。所述控制系统被配置为在所述用户沿着所述期望的切割平面用所述锯片在所述骨骼中进行初始切割之后促进所述切割引导件从所述初始引导位置抽离到间隔开的引导位置。所述切割引导件在所述间隔开的引导位置处保持在所述目标取向上,并且所述间隔开的引导位置适合于所述锯片沿着所述期望的切割平面继续切割所述骨骼。

[0006] 在第二方面,提供了一种控制切割引导件的放置的方法,所述切割引导件被配置为引导外科手术用锯子的锯片,使得所述锯片沿着期望的切割平面切割骨骼。所述切割引导件形成联接到机器人机械手的端部执行器的一部分。所述方法包括:相对于所述骨骼自主地将所述切割引导件定位在目标取向,使得在所述锯片与所述切割引导件配合时,所述锯片与所述期望的切割平面对准。在用户手动地操纵所述端部执行器以使所述切割引导件朝向所述骨骼移动到与所述骨骼相邻的初始引导位置时,约束所述切割引导件的移动,使得所述切割引导件在所述初始引导位置处保持在所述目标取向上。所述方法还包括:在所述用户沿着所述期望的切割平面用所述锯片在所述骨骼中进行初始切割之后促进所述切割引导件从所述初始引导位置抽离到间隔开的引导位置,使得所述切割引导件在所述间隔

开的引导位置处保持在所述目标取向上,所述间隔开的引导位置适合于所述锯片沿着所述期望的切割平面继续切割所述骨骼。

[0007] 在第三方面,提供了一种机器人外科手术系统,所述机器人外科手术系统包括机器人机械手和端部执行器,所述端部执行器包括将联接到所述机器人机械手的引导件。所述引导件被配置为引导外科手术工具,使得所述外科手术工具沿着期望的平面或轴线移动以从骨骼移除物质。控制系统联接到所述机器人机械手以通过以下方式来控制所述引导件相对于所述骨骼的位置:相对于所述骨骼自主地将所述引导件定位在目标取向,使得在所述外科手术工具放置在所述引导件中时,所述外科手术工具与所述期望的平面或轴线对准;以及在用户手动地操纵所述端部执行器以使所述引导件朝向所述骨骼移动到与所述骨骼相邻的初始引导位置时,约束所述引导件的移动,使得所述引导件在所述初始引导位置处保持在所述目标取向上。所述控制系统被配置为在所述用户沿着所述期望的平面或轴线用所述外科手术工具从所述骨骼移除初始量的物质之后促进所述引导件从所述初始引导位置抽离到间隔开的引导位置。所述引导件在所述间隔开的引导位置处保持在所述目标取向上,并且所述间隔开的引导位置适合于所述外科手术工具沿着所述期望的平面或轴线继续从所述骨骼移除物质。

[0008] 在第四方面,提供了一种用于与切割工具一起使用来对患者执行外科手术的机器人外科手术系统。所述机器人外科手术系统包括机器人机械手和端部执行器,所述端部执行器包括将联接到所述机器人机械手的切割引导件。所述切割引导件被配置为引导所述切割工具,使得所述切割工具切割所述患者的组织。控制系统联接到所述机器人机械手以控制所述切割引导件相对于所述组织的位置。导航系统包括工具跟踪器以跟踪所述切割工具相对于与所述组织相关联的定制的虚拟边界的位置和取向,其中基于与所述患者的所述组织相关联的虚拟模型而为所述患者定制所述定制的虚拟边界。所述控制系统被配置为在所述切割工具与所述切割引导件配合来切割所述组织时响应于所述切割工具与所述定制的虚拟边界之间的交互而生成反馈。反馈可包括对所述切割工具的控制,和/或生成触觉反馈、听觉反馈、视觉反馈和/或振动反馈。

[0009] 在第五方面,提供了一种用机器人机械手以及与切割工具一起使用的切割引导件治疗组织的方法。所述方法包括:以机器人方式控制所述切割引导件相对于所述组织的位置。跟踪所述切割工具相对于与所述组织相关联的定制的虚拟边界的位置和取向,其中基于与所述患者的所述组织相关联的虚拟模型而为所述患者定制所述定制的虚拟边界。所述方法还包括:在所述切割工具与所述切割引导件配合来切割所述组织时响应于所述切割工具与所述定制的虚拟边界之间的交互而生成反馈。反馈可包括对所述切割工具的控制,和/或生成触觉反馈、听觉反馈、视觉反馈和/或振动反馈。

[0010] 在第六方面,提供了一种用于与切割工具一起使用来对患者执行外科手术的机器人外科手术系统。所述机器人外科手术系统包括机器人机械手和端部执行器,所述端部执行器包括将联接到所述机器人机械手的切割引导件。所述切割引导件被配置为引导所述切割工具,使得所述切割工具切割所述患者的组织。控制系统联接到所述机器人机械手以控制所述切割引导件相对于所述组织的位置。导航系统跟踪所述切割引导件相对于与所述组织相关联的患者特定切割边界的位置和取向,其中基于所述患者的组织而为所述患者定制所述患者特定切割边界。所述控制系统被配置为响应于对所述端部执行器的手动操纵而自

主地在一个或多个自由度上移动所述切割引导件,使得所述切割引导件以阻止所述切割工具切割超出所述患者特定切割边界的组织的方式定位。

[0011] 在第七方面,提供了一种外科手术系统,所述外科手术系统包括具有切割工具的外科手术器械、被配置为引导所述切割工具的切割引导件以及控制系统。所述控制系统被配置为确定所述切割工具与所述切割引导件的当前接合状态,并且基于所述接合状态而控制所述外科手术器械的操作。

[0012] 在第八方面,提供了一种控制外科手术器械的操作的方法,所述外科手术器械具有用于与切割引导件一起使用的切割工具。所述方法包括:确定所述切割工具与所述切割引导件的当前接合状态,并且基于所述接合状态而控制所述外科手术器械的操作。

[0013] 在第九方面,提供了一种外科手术系统,所述外科手术系统包括:机器人机械手;切割引导件,所述切割引导件被配置为联接到所述机器人机械手以引导切割工具;以及控制系统。所述控制系统被配置为确定所述切割工具与所述切割引导件的当前接合状态,并且基于所述接合状态而控制所述机器人机械手的操作。

[0014] 在第十方面,提供了一种控制机器人机械手以及联接到所述机器人机械手的切割引导件的操作的方法。所述切割引导件与切割工具一起使用。所述方法包括:确定所述切割工具与所述切割引导件的当前接合状态,并且基于所述接合状态而控制所述机器人机械手的操作。

[0015] 在第十一方面,提供了一种机器人外科手术系统,所述机器人外科手术系统包括机器人机械手,所述机器人机械手包括将联接到所述机器人机械手的切割引导件。所述切割引导件被配置为引导锯片沿着切割平面切割骨骼。控制系统联接到所述机器人机械手以通过以下方式来控制所述切割引导件相对于所述骨骼的位置:相对于所述骨骼定位所述切割引导件,使得所述锯片与所述切割平面对准;以及约束所述切割引导件的移动以使所述切割引导件朝向所述骨骼移动到与所述骨骼相邻的初始引导位置,使得所述切割引导件在所述初始引导位置处保持在目标取向上。在所述切割引导件引导所述锯片时,所述控制系统被配置为促进所述切割引导件从所述初始引导位置抽离到间隔开的引导位置。

[0016] 可设想的是,任何以上方面和/或其要素可进行组合。另外,可单独地或与任何以上方面相结合地设想任何以下实施方式:

[0017] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以将所述切割引导件从所述骨骼抽离并且将所述切割引导件从所述初始引导位置移动到所述间隔开的引导位置。这种抽出可被自主地控制,半自主地控制或手动地控制。

[0018] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为对所述用户生成指令。在一些实施方式中,所述指令为在所述切割引导件处于所述初始引导位置时用所述锯片在所述骨骼中进行所述初始切割。在一些实施方式中,所述控制系统可例如在进行所述初始切割之后对所述用户生成将所述切割引导件从所述骨骼抽离的指令。

[0019] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以约束所述切割引导件的移动以将所述切割引导件从所述骨骼抽离。在一些实施方式中,这在所述用户手动地操纵所述切割引导件时执行。

[0020] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为基于与所述锯片相关联的一个或多个参数而确定所述切割引导件的所述间隔开的引导位置。例如,所述一个或多个参数包括以

下各项中的至少一者:所述锯片的长度;所述锯片的宽度;所述锯片能够通过所述切割引导件切入所述骨骼的最大深度;以及所述锯片的跟踪位置。

[0021] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以锁定所述切割引导件。例如,所述切割引导件可相对于所述骨骼锁定在所述初始引导位置处。在一些情况下,这可使得所述用户能够在所述切割引导件位于所述骨骼相邻处时沿着所述期望的切割平面用所述锯片进行所述初始切割。

[0022] 在一些实施方式中,导航系统跟踪以下各项中的一者或多者:所述骨骼;所述锯片;以及所述切割引导件。在一些情况下,所述导航系统包括显示器以呈现以下各项中的一者或多者的视觉表示:所述骨骼;所述锯片;以及所述切割引导件。

[0023] 在一些实施方式中,所述导航系统被配置为跟踪所述切割引导件相对于所述骨骼的位置和取向。在一些情况下,所述导航系统生成所述骨骼中所述锯片能够到达的区域的视觉表示。这可例如在所述切割引导件处于所述间隔开的引导位置时执行。

[0024] 在一些实施方式中,所述导航系统被配置为跟踪对所述骨骼的切割并且生成对所述骨骼的所述切割的视觉表示。

[0025] 在一些实施方式中,所述导航系统被配置为跟踪所述切割引导件从相对于所述骨骼的第一引导角度到相对于所述骨骼的第二引导角度的重新定向。在一些情况下,所述锯片以两个所述引导角度与所述期望的切割平面保持对准。在一些实施方式中,所述控制系统被配置为在所述切割引导件从所述第一引导角度重新定向到所述第二引导角度时改变所述骨骼中所述锯片能够到达的所述区域的所述视觉表示,使得所述用户能够看到所述切割引导件的重新定向如何影响所述期望的切割平面中的潜在的骨骼切割。

[0026] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以约束所述切割引导件的移动。在一些情况下,这可在切除所述骨骼的一部分之后,在所述用户手动地操纵所述端部执行器以将所述切割引导件从所述骨骼抽离时执行。

[0027] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以通过向所述用户提供触觉反馈来约束所述切割引导件的移动。这种触觉反馈可为听觉反馈、视觉反馈、振动反馈或其任何组合。

[0028] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以在与所述骨骼间隔开起始距离之处将所述切割引导件定位在所述目标取向。在一些情况下,自主地执行这种定位。在一些情况下,这使得所述锯片在切割引导件处于所述起始距离时无法通过所述切割引导件接触所述骨骼。

[0029] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为以自主模式、触觉模式和自由模式中的一者操作所述机器人机械手。

[0030] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以定位所述切割引导件,使得所述锯片与第二期望的切割平面对准。在一些实施方式中,自主地执行这种定位。

[0031] 在一些实施方式中,所述期望的切割平面进一步被限定为第一期望的切割平面,并且所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以定位所述切割引导件,使得所述锯片响应于用户输入而与第二期望的切割平面对准。在一些实施方式中,自主地执行这种定位。

[0032] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以定位所述切

割引导件,使得所述锯片与多个期望的切割平面对准以进行多次平面切割。在一些实施方式中,自主地执行这种定位。在一些实施方式中,所述控制系统基于预定标准而确定所述切割引导件的定位序列以进行所述平面切割。在一些实施方式中,所述预定标准包括以下各项中的一者或多者:用户偏好;所述期望的切割平面之间的距离;所述切割引导件相对于所述期望的切割平面的当前对准;以及所述切割引导件到达所述期望的切割平面的所需移动。在一些实施方式中,所述期望的切割平面由虚拟对象限定。

[0033] 在一些实施方式中,导航系统跟踪以下各项中的一者或多者:所述骨骼;所述锯片;以及所述切割引导件。在一些实施方式中,所述导航系统包括:第一跟踪器,所述第一跟踪器用于跟踪所述切割引导件的位置和取向;第二跟踪器,所述第二跟踪器用于跟踪所述骨骼的位置和取向;以及第三跟踪器,所述第三跟踪器用于跟踪所述锯片的位置和取向。在一些实施方式中,所述切割引导件的所述初始引导位置和所述间隔开的引导位置基于来自所述导航系统的数据而确定。在一些实施方式中,所述导航系统被配置为确定所述骨骼的速度或加速度中的一者或多者,并且所述控制系统被配置为响应于所述骨骼的所述速度或加速度中的一者或多者超过预定限值而以自由模式操作所述机器人机械手。

[0034] 在一些实施方式中,所述控制系统被配置为定位所述切割引导件,使得所述锯片响应于所述导航系统确定所述速度或加速度中的所述一者或多者处于或低于所述预定限值而与所述期望的切割平面重新对准。在一些实施方式中,自主地执行这种定位。

[0035] 在一些实施方式中,所述导航系统包括用于从跟踪元件接收光的定位器,所述导航系统被配置为确定所述跟踪元件中的一者或多者是否被阻挡在所述定位器的视野之外。在一些实施方式中,所述控制系统被配置为响应于所述跟踪元件中的所述一者或多者被阻挡在视野之外而促进所述切割引导件从所述骨骼抽离。在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手,以在所述跟踪元件中的所述一者或多者被阻挡在视野之外之前沿着所述切割引导件的所存储的取向将所述切割引导件从所述骨骼抽离。在一些实施方式中,所述控制系统被配置为操作所述机器人机械手以自主地定位所述切割引导件,使得所述锯片响应于所述跟踪元件中的所述一者或多者不再被阻挡在所述定位器的视野之外而与所述期望的切割平面重新对准。

[0036] 在一些实施方式中,所述控制系统包括用于测量由所述用户施加到所述端部执行器和所述机器人机械手中的一者或多者的一个或多个力和扭矩的一个或多个传感器。在一些实施方式中,所述控制系统被配置为响应于所述一个或多个力和扭矩超过预定限值而以自由模式操作所述机器人机械手。

[0037] 在一些实施方式中,所述控制系统包括联接到所述切割引导件以感测由所述锯片施加在所述切割引导件上的载荷的一个或多个传感器。在一些实施方式中,所述控制系统包括响应于由所述锯片施加在所述切割引导件上的所述载荷超过预定限值而激活的指示器。在一些实施方式中,所述指示器包括以下各项中的至少一者:视觉指示器;触觉指示器;以及听觉指示器。在一些实施方式中,所述控制系统被配置为与所述外科手术用锯子的马达通信,所述控制系统被配置为响应于由所述锯片施加在所述切割引导件上的所述载荷超过预定限值而停用所述马达的操作以停止用所述锯片进行切割。

[0038] 在一些实施方式中,所述控制系统包括联接到所述切割引导件以确定所述锯片相对于所述切割引导件的相对位置的一个或多个传感器。

[0039] 在一些实施方式中,所述控制系统包括用户接口,所述用户接口被配置为从所述用户接收输入以调整所述切割引导件的位置和取向中的至少一者。

[0040] 在一些实施方式中,所述切割引导件包括一个或多个刀片接纳槽。

[0041] 在一些实施方式中,被动连杆机构将所述端部执行器的基座与所述切割引导件互连以相对于所述端部执行器的所述基座将所述切割引导件的移动约束于单一平面。

[0042] 在一些实施方式中,铰接臂联接到所述骨骼以限制所述骨骼的移动。

[0043] 在一些实施方式中,所述控制系统包括一个或多个控制器。

附图说明

[0044] 将会容易地了解本公开的优点,因为通过参考以下结合附图考虑的具体实施方式将会更好地理解它们。

[0045] 图1是手术室中的机器人外科手术系统的透视图。

[0046] 图2是机器人外科手术系统的控制系统的示意图。

[0047] 图3是用于膝关节的一个示例性植入系统中的植入物部件的分解图。

[0048] 图4A是示出通过无菌屏障组装到机器人臂上的切割引导件的透视分解图。

[0049] 图4B是通过无菌屏障组装到机器人臂上的切割引导件的组装视图。

[0050] 图5A至图5F示出了由机器人外科手术系统在外科手术期间实施的一系列外科手术步骤。

[0051] 图6A和图6B示出了当切割引导件处于第一取向时切割工具能够到达的第一切割区域。

[0052] 图7A和图7B示出了当切割引导件处于第二取向时切割工具能够到达的第二切割区域,所述第二取向不同于第一取向,但是在与第一取向相同的切割平面上。

[0053] 图8A和图8B示出了显示器屏幕的屏幕截图,其示出了第一切割区域和第二切割区域。

[0054] 图8C至图8E示出了沿着具有患者特定切割边界的切割平面对骨骼进行的切割。

[0055] 图9示出了显示器屏幕的屏幕截图,其示出了供用户选择进行一系列切割的指令。

[0056] 图10示出了解剖结构的过度移动。

[0057] 图11示出了跟踪器被阻挡状况。

[0058] 图12示出了切割工具在外科手术期间的偏转以及显示器屏幕上的相关联的警告。

[0059] 图13是示出切割引导件的用于检测切割工具的载荷的传感器的部分横截面图,所述载荷可指示切割工具的偏转。

[0060] 图14是具有用于指示深度的分度标志的切割工具的透视图。

[0061] 图15是示出用于读取切割工具上的分度标志以确定切割工具在切割引导件中的深度的光学传感器的部分横截面图。

[0062] 图15A是切割工具和切割引导件的部分透视图,其示出了识别切割引导件和/或切割工具以确定切割工具是否适合与切割引导件一起使用的技术。

[0063] 图15B是示出用于识别切割工具的光学传感器的部分横截面图。

[0064] 图16是铰接平面臂的透视图,所述铰接平面臂允许切割引导件相对于端部执行器的基座板在单一平面中移动。

[0065] 图16A是柔性工具的透视图,所述柔性工具允许切割引导件在至少一个自由度上相对于端部执行器的基座板移动。

[0066] 图16B是铰接机械手的透视图,所述铰接机械手允许切割引导件在多个自由度上相对于端部执行器的基座板移动。

[0067] 图17和图18示出了可在外科手术期间实施的步骤。

[0068] 图19示出了可在一个实例中实施的步骤。

具体实施方式

[0069] 参考图1,示出了用于外科手术中的机器人外科手术系统10。此类外科手术包括例如膝手术、髌手术、肩手术、脚踝手术、脊柱手术、颅骨手术、牙科手术等等。通常,外科手术会包括切割患者12的硬组织,诸如骨骼,但是另外地或替代地可包括切割软组织,诸如韧带或皮肤。在一些型式中,机器人外科手术系统10被设计为从患者12切除组织以用外科手术植入物,诸如膝、髌、肩、脚踝、脊柱、颅骨或牙科植入物进行替换,所述外科手术植入物包括单髌、双髌或全膝关节植入物、髌臼杯、股骨植入物、肱骨植入物、关节盂植入物、胫骨植入物、距骨植入物、椎弓根螺钉、组织锚、电极、牙科植入物等等。应当了解,尽管以下描述集中于全膝关节植入系统在股骨F和胫骨T上的放置,但这仅仅是示例性的而不意图是限制性的。

[0070] 机器人外科手术系统10包括导航系统14,所述导航系统包括定位器16、跟踪装置18以及一个或多个显示器20。如下文进一步所描述,导航系统14被设置为跟踪手术室中各种对象的移动。导航系统14跟踪这些对象以达到向用户显示所述对象的相对位置和取向的目的,并且在一些情况下,达到控制机器人外科手术系统10中所使用的器械或工具中的一者或多者的放置的目的。

[0071] 机器人外科手术系统10还包括机器人机械手22,所述机器人机械手包括机器人臂24和基座26。机器人臂24包括可旋转地联接到基座26的基础连杆28,以及从基础连杆28连续地延伸到远侧端部32的多个臂连杆30。臂连杆30经由关节马达(未示出)围绕机器人臂24中的多个关节枢转/旋转。可采用串联、并联或其他机器人臂配置。机器人机械手22可设置并支撑在地板表面上,附接到手术室工作台,和/或附接到患者12,或者可以其他方式设置来实施外科手术。在一个实施方案中,机器人机械手22包括由美国佛罗里达州的劳德代尔堡的MAKO Surgical Corp.制造的RIO™机器人臂交互式骨科系统。

[0072] 机械手控制器34联接到机器人机械手22以提供对机器人机械手22的控制。机械手控制器34可包括一个或多个计算机,或任何其他合适形式的控制器。机械手控制器34可具有中央处理单元(CPU)和/或其他处理器、存储器(未示出)以及存储装置(未示出)。机械手控制器34加载有如下文所描述的软件。处理器可包括用于控制机器人机械手22的操作的一个或多个处理器。处理器可为任何类型的微处理器、多处理器和/或多核处理系统。机械手控制器34另外地或替代地可包括:一个或多个微控制器、现场可编程门阵列、片上系统、分立电路和/或能够实施本文描述的功能的其他合适的硬件、软件或固件。术语处理器不意图将任何实施方案限制于单个处理器。

[0073] 端部执行器36可移除地联接到机器人臂24的远侧端部32。端部执行器36包括切割引导件38。切割引导件38被成形和配置为引导徒手(free-hand)外科手术器械42的切割工

具40,使得切割工具40以期望的方式切割患者12的组织(例如,沿着期望的切割平面,沿着期望的轨迹等等)。更具体地,切割工具40与切割引导件38配合来相对于患者12的组织引导到期望的位置和/或取向。切割引导件38具有用于接纳切割工具40的一个或多个引导部分44。在所示的型式中,引导部分44包括用于接纳切割工具40的刀片接纳槽,所述切割工具是呈锯片的形式。正如常规的切割引导件,这些槽的大小仅可被设定为略大于锯片,使得即使用户在锯片上施加了轻微的横向载荷,锯片也大体保持在与槽相同的取向。也设想其他形式的切割引导件38以及相关联的引导部分,诸如用于接纳细长的大体圆柱形的切割工具(诸如钻机、钻头和扩孔器,用于切割带轮廓的表面的弯曲槽等等)的那些。参见例如图1所示的具有圆柱形引导部分44a的替代切割引导件38a。机器人机械手22可能能够支撑切割引导件38在多个自由度(例如,两个、三个、四个、五个或六个自由度)上移动。

[0074] 徒手外科手术器械42能够独立于机器人臂24和切割引导件38操作。在一种型式中,徒手外科手术器械42是具有用于在诸如骨骼的组织中产生平面切割的摆动锯片的外科手术用锯子。徒手外科手术器械42包括用于使切割工具40摆动或以其他方式驱动所述切割工具的马达MT。马达MT可为用于操作切割工具40的任何合适的类型,包括但不限于:气动或电动马达。马达MT例如被配置为在外科手术期间向切割工具40(例如,锯片)提供摆动运动。这种徒手外科手术器械42的实例被公开于名为“Surgical Sagittal Saw with Indexing Head and Toolless Blade Coupling Assembly for Actuating an Oscillating Tip Saw Blade”的美国专利号7,704,254,所述专利特此以引用的方式整体并入本文。

[0075] 在切割工具40包括锯片的型式中,锯片可为任何尺寸、形状或类型(即,直刀片、月牙形刀片等)。锯片可包括被配置为可移除地联接到徒手外科手术器械42的榫部的附接部分。与附接部分相对,锯片包括具有多个锯齿的切割部分或工作部分W。在一些实施方案中,锯片由诸如金属的单块材料通过冲压和/或机械加工而形成。锯片可被配置为产生具有大体平坦的面的切口,或可被配置为提供具有圆形轮廓的切口。锯片可包括卡座型锯片。所述锯片可类似于名为“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”的美国专利号8,444,647中所示的锯片,所述专利特此以引用的方式并入本文。已经设想了锯片或其他切割工具的各种配置。

[0076] 导航系统14被设置为跟踪切割引导件38、切割工具40、患者的感兴趣的解剖结构(例如,股骨F和胫骨T)和/或其他对象的移动。导航系统14跟踪这些对象以达到向用户显示所述对象的相对位置和取向的目的,并且在一些情况下,达到控制切割引导件38相对于与患者的解剖结构相关联的虚拟边界的放置,从而也控制切割工具40相对于此类虚拟边界的放置的目的。为了了解切割引导件38的姿态,导航系统14可利用导航和/或机器人系统的各种部件之间的任何组合或变换或关系。例如,可跟踪切割引导件38自身和/或机器人(以及其任何部件,诸如基座、连杆、臂)来了解切割引导件38(以及切割引导件的相应的槽)的姿态。可使用导航数据和/或从关节的位置得到的运动学数据来跟踪机器人。切割引导件38姿态可仅根据导航数据,仅根据运动学数据,或根据导航数据和运动学数据的任何组合来确定。变换可能会涉及导航系统的任何部件,包括本文描述的任何跟踪器,以及患者和外科手术台。

[0077] 在本文描述的任何实施方式中,机器人机械手22可被控制来以对应于患者移动的

方式移动,使得切割引导件38在患者移动之前和之后维持与患者的相对姿态。导航系统可测量由机器人机械手保持的切割引导件38的姿态以及患者的骨骼的姿态。例如,所述系统控制机器人机械手以将切割引导件38刚性地保持在适当位置,以确保切割引导件38与所识别的位置、目标或平面对准。所述系统可确定骨骼的姿态的变化,并且至少部分地基于骨骼的姿态的变化而自动地调整切割引导件38的姿态。骨骼位置的变化可能是由不同的状况引起的,诸如在操作者移动患者肢体或工作台时引起。因此,切割引导件38与骨骼之间的空间关系在执行操作时保持基本不变,从而确保切割引导件38在患者移动之前像预期那样保持。

[0078] 导航系统14包括容纳导航控制器48的推车组件46。用户接口UI与导航控制器48进行操作性通信。用户接口UI包括显示器20,所述显示器可调整地安装到推车组件46和输入装置,诸如键盘和鼠标,所述输入装置可用于将信息输入到导航控制器48中,或另外选择/控制导航控制器48的某些方面。例如,用户接口UI可被配置为从用户接收输入以调整切割引导件38相对于被治疗的患者的组织的位置和取向中的至少一者。设想了其他输入装置,包括触摸屏或语音激活。

[0079] 定位器16与导航控制器48通信。在所示的实施方案中,定位器16是光学定位器并且包括相机单元。相机单元具有容纳一个或多个光学位置传感器S的外壳。在一些实施方案中,采用了至少两个光学传感器S,有时是三个或更多个。光学传感器S可为单独的电荷耦合装置(CCD)。相机单元安装在可调整臂上来以相对于下文论述的跟踪装置18的在理想情况下没有障碍物的视场定位光学传感器S。在一些实施方案中,相机单元在至少一个自由度上可通过围绕旋转关节旋转来调整。在其他实施方案中,相机单元能够围绕两个或更多个自由度调整。相机单元还可包括中心摄像机45以生成外科手术或其某些步骤的视频图像。

[0080] 定位器16包括与光学传感器S通信的定位器控制器50以从光学传感器S接收信号。定位器控制器50通过有线或无线连接(未示出)与导航控制器48通信。一种这样的连接可为IEEE 1394接口,所述接口是用于高速通信和同步实时数据传送的串行总线接口标准。连接还可使用公司专用协议。在其他实施方案中,光学传感器S直接与导航控制器48通信。出于跟踪对象的目的,位置和取向信号和/或数据被传输到导航控制器48。推车组件46、显示器20和定位器16可类似于授予Malackowski等人的2010年5月25日发布的名为“Surgery System”的美国专利号7,725,162(所述专利特此以引用的方式并入本文)中描述的那些。

[0081] 导航控制器48可包括一个或多个计算机,或任何其他合适形式的控制器。导航控制器48具有显示器20、中央处理单元(CPU)和/或其他处理器、存储器(未示出)以及存储装置(未示出)。处理器可为任何类型的处理器、微处理器或多处理器系统。导航控制器48加载有软件。例如,软件将从定位器16接收的信号转换为表示被跟踪的对象的位置和取向的数据。导航控制器48另外地或替代地可包括:一个或多个微控制器、现场可编程门阵列、片上系统、分立电路和/或能够实施本文描述的功能的其他合适的硬件、软件或固件。术语处理器不意图将任何实施方案限制于单个处理器。

[0082] 导航控制器48、机械手控制器34和下文描述的工具控制器62是图2所示的机器人外科手术系统10的控制系统的一部分。控制系统可包括单个处理器或多个处理器以实施导航控制器48、机械手控制器34和工具控制器62的功能。控制系统可包括适合于实施本文描述的功能和方法的输入、输出和处理装置的任何合适的配置。控制系统可包括一个或多个

微控制器、现场可编程门阵列、片上系统、分立电路、传感器、显示器、用户接口、指示器和/或能够实施本文描述的功能的其他合适的硬件、软件或固件。

[0083] 导航系统14包括多个跟踪装置18,在本文也被称为跟踪器。在所示的实施方案中,跟踪器18包括:解剖结构跟踪器,所述解剖结构跟踪器联接到患者,例如股骨F和胫骨T;以及工具跟踪器,所述工具跟踪器联接到端部执行器36和徒手外科手术器械42以分别跟踪切割引导件38和切割工具40。解剖结构跟踪器可经由骨骼螺钉、骨骼销等等牢固地附连到骨骼的区段。在其他情况下,在骨骼上的夹具可用于附接解剖结构跟踪器。例如,具有夹具51的可锁定的铰接臂49(参见图1)可联接到骨骼(例如,通过夹持在患者的外腿周围)以限制骨骼的移动,并且跟踪器18可附接到夹具51。在另外的实施方案中,解剖结构跟踪器可安装到解剖结构的其他组织类型或部分。解剖结构跟踪器相对于它们所附接的解剖结构的位置可通过配准技术,诸如基于点的配准来确定,在所述基于点的配准中,使用其自身具有跟踪器18的数字化探针P(例如,导航指针)对骨骼上的骨骼标志进行勾勒,或触及骨骼上的若干个点以进行基于表面的配准。可采用常规的配准技术来使解剖结构跟踪器的姿态与患者的解剖结构(例如被治疗的骨骼)相关联。

[0084] 工具跟踪器可与端部执行器36、切割引导件38、切割工具40和/或徒手外科手术器械42成一整体,固定到或可移除地联接到它们。对工具跟踪器进行校准,使得工具跟踪器相对于切割引导件38(或其引导部分44)以及相对于切割工具40(或其工作端部)的位置通过导航系统14加以了解以达到跟踪切割引导件38和切割工具40的位置和取向的目的。更具体地,切割引导件38的引导部分44的位置和取向以及切割工具40的工作端部的位置和取向能够借助于跟踪器18来跟踪。切割工具40的工作端部可为例如切割工具40的远侧端部,诸如锯片的锯齿、钻机的尖端、钻头的外表面、扩孔器的底部、刀具的尖端、RF工具尖端、超声波工具尖端等等。另外地或替代地,基座跟踪器52和/或臂跟踪器54也可联接到基座26和/或臂连杆30中的一者以跟踪切割引导件38的位置和取向,例如,在与从机器人臂24的部分地限定从基座26或臂连杆30到机器人臂24的远侧端部32的空间变换的关节中的关节编码器得到的数据组合时,以及在与描述切割引导件38(或其引导部分44)相对于远侧端部32的位置的数据组合时进行跟踪。

[0085] 在一些实施方案中,跟踪器18可为无源跟踪器。在这些实施方案中,每个跟踪器18具有至少三个无源跟踪元件或标记以将光从定位器16反射回到光学传感器S。在其他实施方案,诸如所示的实施方案中,跟踪器18是有源跟踪器,并且可具有三个、四个或更多个标记M,诸如将诸如红外光的光发射到光学传感器S的发光二极管(LED)。基于所接收的光学信号并通过采用已知的三角测量技术,导航控制器48生成指示跟踪器18相对于定位器16的相对位置和取向的数据。应当了解,定位器16和跟踪器18尽管在上文被描述为利用光学跟踪技术,但是替代地或另外地可利用其他跟踪模态来跟踪对象,诸如电磁跟踪、射频跟踪、超声波跟踪、惯性跟踪、其组合等等。另外地或替代地,导航系统14可采用光纤、机器视觉、摄像机等等以达到识别对象、确定位置、跟踪移动、其组合等等的目的。

[0086] 导航控制器48生成指示切割引导件38的引导部分44和/或切割工具40的工作端部相对于要被移除的组织的相对位置的图像信号。这些图像信号被应用于显示器20。基于这些信号,显示器20生成允许用户和工作人员查看切割引导件38和/或切割工具40相对于外科手术部位的相对位置的图像。

[0087] 在本文描述的系统和方法中,可使用虚拟对象来以期望的方式控制(例如,限制、约束、防止等)切割引导件38和/或切割工具40的移动、放置或操作。这些对象可由点、线、面、量体等等限定,并且可为1-D、2-D或3-D。此类对象可被限定为模型,并且可为实体模型(例如,用构造性实体几何结构、体素等等构建)、表面模型(例如,表面网格等)、或任何合适形式的1-D、2-D或3-D模型。虚拟对象可被限定在患者12的解剖结构的虚拟模型内,或者可与解剖结构的虚拟模型分开地限定。虚拟对象可使用熟知的配准技术在术前或术中配准到患者的解剖结构的图像/模型(例如,CT扫描、X射线图像、MRI图像、3-D模型等),所述图像/模型被映射到患者的实际解剖结构。这些虚拟对象存储在机器人外科手术系统10的控制系统(例如,导航控制器48和/或机械手控制器34)中的存储器中。在一些实施方案中,本文描述的虚拟对象的位置被映射到患者的解剖结构以控制切割引导件38相对于虚拟对象的移动或放置,和/或以使得机器人外科手术系统10能够从患者12移除期望的物质的方式控制切割工具40的移动、放置和/或操作。例如,如下文进一步所描述,控制切割引导件38的放置,使得切割工具40停留在由用户设定的一个或多个虚拟边界内,这限定了将由切割工具40移除的患者12的组织。对虚拟对象或边界的响应另外地或替代地可为任何种类的触觉响应,诸如但不限于:机器人受限运动、声音反馈、振动反馈、视觉反馈、其他类型的反馈以及其任何组合。

[0088] 机器人机械手22具有以下各项中的一种或多种的操作能力:(1)自由模式,其中用户抓握端部执行器36以便引起切割引导件38的移动(例如,直接;通过力/扭矩传感器60上的引起机器人机械手22的有源驱动的力/扭矩传感器测量;被动;或其他方式);(2)触觉模式,其中用户抓握机器人机械手22的端部执行器36以像在自由模式中那样引起移动,但是移动受到由存储在机器人外科手术系统10中的一个或多个虚拟对象限定的一个或多个虚拟边界的限制;(3)半自主模式,其中切割引导件38通过机器人机械手22自主地移动到期望的位置和/或取向和/或自主地沿着期望的路径移动(例如,操作机器人臂24的活动关节以移动切割引导件38,而不需要端部执行器36上来自用户的力/扭矩);(4)检修模式,其中机器人机械手22执行预编程的自动化移动以实现检修;或者(5)有助于准备机器人机械手22以用于例如盖布的其他模式。触觉模式和半自主模式的操作的实例描述于2011年8月30日发布的名为“Haptic Guidance System and Method”的美国专利号8,010,180以及2015年9月1日发布的名为“Surgical Manipulator Capable of Controlling a Surgical Instrument in Multiple Modes”的美国专利号9,119,655中,这两者的全部公开内容以引用的方式并入本文。

[0089] 在触觉模式中的操作期间,用户手动地操纵(例如,手动地移动或手动地引起移动)机器人机械手22以移动切割引导件38,以便最终将切割工具40放置在期望的位置和/或取向来对患者执行外科手术,诸如进行锯切、钻孔、扩孔、消融等等。例如,用户可手动地抓握端部执行器36以经由来自力/扭矩传感器60的反馈以美国专利号9,119,655(特此以引用的方式并入本文)中描述的方式操纵外科手术机械手22。

[0090] 在用户操纵机器人机械手22而引起切割引导件38的移动时,导航系统14跟踪切割引导件38相对于感兴趣的解剖结构的位置并且向用户提供触觉反馈(例如,力反馈)以限制用户手动地操纵(例如,移动或引起移动)切割引导件38超出配准(映射)到患者的解剖结构的一个或多个预定义虚拟边界的能力,这为锯切、钻孔、扩孔、消融等带来了高度准确且可

重复的定位。这种触觉反馈有助于约束或阻止用户手动地操纵切割引导件38超出与外科手术相关联的一个或多个预定义虚拟边界。限定此类虚拟边界(其也可被称为触觉边界)的虚拟对象描述于例如美国专利号8,010,180中,所述专利特此以引用的方式整体并入本文。对虚拟对象或边界的响应另外地或替代地可为任何种类的触觉响应,诸如但不限于:机器人受限运动、声音反馈、振动反馈、视觉反馈、其他类型的反馈以及其任何组合。

[0091] 在一种型式中,在触觉模式下,机械手控制器34基于由用户施加在端部执行器36上并由力/扭矩传感器60测量的力和扭矩而确定切割引导件38应当移动到达的期望的位置。在这种型式中,大多数用户在物理上无法实际地将机器人机械手22移动任何可感知的量而到达期望的位置,但是机器人机械手22通过以下方式来模仿用户的期望的定位:经由力/扭矩传感器60感测所施加的力和扭矩,并且以如下方式作出反应:即使是关节上的有源马达在执行移动也向用户给出实际上是用户在移动切割引导件38的印象。例如,基于用户希望移动到达的期望的位置的确定,以及与切割引导件38的当前位置(例如,姿态)相关的信息,机械手控制器34确定为了将切割引导件38从当前位置重新定位到期望的位置需要移动多个连杆30中的每一者的程度。关于多个连杆30将在何处定位的数据被转发给关节马达控制器(未示出)(例如,一个关节马达控制器用于控制一个马达),所述关节马达控制器控制机器人臂24的活动关节以移动多个连杆30并且由此使切割引导件38从当前位置移动到期望的位置。

[0092] 触觉模式还可以其他方式实施,包括基于对机器人机械手22的手动定位而向用户提供反作用力,例如响应于机器人机械手22的连杆30中的一者或多者的被动移动而激活一个或多个关节马达以定位切割引导件38。另外地或替代地,可采用其他无源装置来通过提供触觉反馈而帮助控制对切割引导件38的定位,其中此类无源装置的位置由机械手控制器34或导航控制器48控制。此类无源装置可包括弹簧、磁体等。

[0093] 控制系统还可被配置为响应于由力/扭矩传感器60测量的超过预定限值的一个或多个力和扭矩而将机器人机械手22的操作从触觉模式切换为自由模式。参见例如美国专利号9,119,655,所述专利特此以引用的方式并入本文。

[0094] 在一些实施方案中,在半自主模式下,机器人机械手22基于预定义路径、预定义位置/取向、和/或移动切割引导件38的预定义移动而自主地行动。此类路径/位置/取向/移动可在外科手术期间和/或在外科手术之前限定。在一些实施方案中,用户在半自主模式下,诸如通过悬吊台提供输入来控制机器人机械手22,以将切割引导件38自主地移动到期望的位置和/或取向,或者遵循如美国专利号9,566,122中所描述的期望的路径/移动,所述专利特此以引用的方式整体并入本文。

[0095] 用户接口UI可用于在半自主模式下与机械手控制器34对接和/或在自由模式、触觉模式、半自主模式、检修模式和/或其他模式之间进行切换。用户接口UI可包括单独的控制器和/或可向机械手控制器34、导航控制器48和/或工具控制器62提供输入。用户接口UI可包括各种形式的输入装置(例如,开关、传感器、触摸屏等)以向控制器34、48、62中的一者或多者传输因致动用户接口UI上的输入端所致的信号。当用户准备好例如在半自主模式下开始切割引导件38的自主推进时,用户可致动用户接口UI的相关联的输入端(例如,压下按钮)(并且可能需要按住按钮来继续自主操作)。在一些型式中,基于一个或多个输入端的致动,可控制切割引导件38在从一个位置/取向移动到下一个位置/取向时的进给速率(例如,

速度)。

[0096] 参考图3,可采用术前成像和/或术中成像来使需要治疗的患者的解剖结构(诸如患者的膝关节、或患者的需要治疗的其他解剖结构)可视化。例如,用户相对于图像和/或相对于由所述图像创建的一个或多个3-D模型,诸如由CT扫描数据、MRI数据等等创建的股骨F和胫骨T的3-D模型计划在何处放置包括股骨部件66和胫骨部件68的膝植入物64。此类模型也可以是基于被改变为类似于患者特定解剖结构的一般骨骼模型。计划包括例如通过在图像和/或适当的3-D模型中标识植入物部件的期望的姿态来确定膝植入物64的每个植入物部件相对于它们将放置于其中的特定骨骼的姿态。这可包括相对于患者的解剖结构的3-D模型创建或定位植入物部件的单独的3-D模型。一旦设定了计划,所述计划就会被传送到机器人外科手术系统10以供执行。3-D模型可包括网格表面、构造性实体几何结构(CSG)、体素,或者可使用其他3-D建模技术来表示。

[0097] 可创建虚拟对象来控制机器人机械手22的移动、放置或操作,并且由此控制切割引导件38的移动或放置,使得切割工具40(例如,锯子、钻机、钻头、扩孔器、刀具、RF工具、超声波工具等)的工作端部被放置在期望的位置和/或取向。这可包括在外科手术期间确保切割引导件38和/或切割工具40相对于预定义虚拟边界停留在期望的位置和/或取向,所述预定义虚拟边界勾画出将被移除来接纳植入物的物质的边界。这可包括,例如在外科手术期间确保切割工具40(例如,钻头或钻机)的轨迹与由虚拟轨迹限定的栓钉孔的期望的姿态一致,切割工具40(例如,钻头或钻机)的轨迹与由虚拟轨迹限定的用于锚固螺钉的导向孔的期望的姿态一致等等。这还可包括确保切割引导件38和切割工具40(例如,矢状锯片)保持与由虚拟切割平面限定的期望的切除/切割平面对准,和/或切割引导件38和/或切割工具40停留在由虚拟引导体积或虚拟工具体积限定的期望的体积内。这另外可包括确保切割引导件38与组织适当地间隔开,使得切割工具40仅能够穿透组织直至由虚拟深度止挡件限定的期望的深度。

[0098] 机器人外科手术系统10和/或用户可在术前限定与期望的切割体积、轨迹、平面切割、切割深度等相关联的虚拟对象。期望的切割体积可简单地对应于所使用的植入物的几何结构。另外,这些切割体积可借助于以下方式而虚拟地限定并且配准到解剖结构:用户相对于解剖结构(例如,股骨F和胫骨T)的3-D模型计划植入物的位置,并且在手术期间将植入物的3-D模型连同解剖结构的3-D模型一起配准到实际解剖结构。定制的虚拟边界也可基于患者特定解剖结构而创建。换句话说,代替基于所使用的植入物的几何结构而限定切割体积,基于所使用的植入物的几何结构以及患者12的组织相关联的虚拟模型而为患者定制切割体积。导航系统14之后经由与切割引导件38和/或切割工具40相关联的跟踪器18来跟踪切割引导件38和/或切割工具40相对于定制的虚拟边界的位置和/或取向。在此情况下,控制系统(例如,机械手控制器34、导航控制器48和/或工具控制器62)可响应于切割工具40与切割引导件38配合来切割组织时在切割工具40与定制的虚拟边界之间的交互而控制切割工具40的操作。这种定制的患者特定的虚拟对象的创建和使用详细地描述于美国专利号8,977,021和9,588,587中,这两者特此以引用的方式并入本文。对虚拟对象或边界的响应另外地或替代地可为任何种类的触觉响应,诸如但不限于:机器人受限运动、声音反馈、振动反馈、视觉反馈、其他类型的反馈以及其任何组合。

[0099] 机器人外科手术系统10和/或用户也可在术中限定与期望的切割体积、轨迹、平面

切割、切割深度等相关联的虚拟对象,或者可在术中调整术前限定的虚拟对象。例如,在自由模式下,用户可相对于感兴趣的解剖结构(例如,股骨F)将切割引导件38定位在期望的进入点处,并且对切割引导件38进行定向,直到显示器20显示切割引导件38的轨迹(例如,其中心轴线)处于期望的取向为止。一旦用户对轨迹感到满意,用户就能向机器人外科手术系统10提供输入以将此轨迹设定为将在手术期间维持的期望的轨迹。输入可经由联接到导航控制器48或机械手控制器34的诸如鼠标、键盘、触摸屏、下压按钮、脚踏开关等的输入装置来提供。用户可遵循这个相同的程序来设定期望的平面切割等。限定切割体积、期望的轨迹、期望的平面切割等的虚拟对象的虚拟1-D、2-D或3-D模型存储在存储器中以供外科手术期间检索。

[0100] 由机器人外科手术系统10使用的一个或多个虚拟对象可经由导航指针P通过以下方式来限定:用导航指针P触碰感兴趣的解剖结构并且由导航系统14捕获解剖结构上的相关联的点。例如,可使用导航指针P(图1)来勾勒虚拟边界。另外地或替代地,导航指针P可用于勾画软组织或切割工具40将要避开其他敏感的解剖结构。这些点例如可加载到机器人外科手术系统10中以调整切割引导件38的位置/取向,使得切割工具40避开这些地方。可使用其他方法来勾画和/或限定感兴趣的解剖结构,例如作为将移除的解剖结构、将要避开的解剖结构等。

[0101] 图3示出了可由机器人外科手术系统10采用,使得切割工具40中的一者或多者以期望的方式移除/治疗组织的多个虚拟对象。这些虚拟对象例如使得机器人外科手术系统10能够进行以下操作:(1)提供对切割引导件38和/或切割工具40相对于期望的位置和/或取向的位置和/或取向的视觉指示;(2)向用户提供触觉反馈以提供对切割引导件38相对于期望的位置和/或取向的位置和/或取向的触觉指示;和/或(3)引导切割引导件38的自主移动。例如,线触觉对象LH可被创建并存储在机器人外科手术系统10中以将切割引导件38a的移动约束为保持沿着期望的轨迹。平面触觉对象PH可被创建来将切割引导件38的移动约束为保持沿着期望的切割平面。尽管平面触觉对象PH被示出为不具有任何厚度,但是它们也可有体积的,具有大体对应于切割工具40和/或引导部分44的厚度的厚度。也设想其他虚拟对象形状、尺寸等。还应当了解,除了触觉对象之外的其他形式的虚拟对象也可被采用来为切割引导件38和/或切割工具40建立边界,其中此类边界可呈现在显示器20中的一者或多者上以向用户显示切割引导件38的一个或多个引导部分和/或切割工具40的工作端部何时逼近、到达和/或超过此类边界。

[0102] 在操作中,参考图4A和图4B,首先将切割引导件38联接到机器人机械手22。在一些情况下,为了在机器人臂24上在不同的端部执行器之间切换时维持无菌,可将无菌屏障72定位在端部执行器36与机器人臂24之间。可使用操纵杆70来以如下专利中描述的方式将端部执行器36夹持到机器人臂24上:2016年2月19日提交的名为“Sterile Barrier Assembly, Mounting System, and Method for Coupling Surgical Components”的美国专利申请公布号2016/0242861,所述专利申请特此以引用的方式整体并入本文。一旦切割引导件38被紧固到机器人机械手22,就可使用切割引导件38来接纳切割工具40并且引导其移动。

[0103] 图5A至图5F示出了切割引导件38相对于期望的切割平面74的一系列移动和放置,所述期望的切割平面在控制系统中被限定为虚拟切割平面。在一些手术中,诸如在全膝手

术期间,在组织中进行若干切割,并且这些切割中的任一者都可采用本文描述的方法。在一些实施方案中,切割可完全穿过组织或仅部分地穿过组织,使得在达到预定最终深度时完成切割。切割平面74可由用户在术前限定,诸如通过在使用组织的所拍摄的术前图像创建的组织的虚拟3-D模型上限定期望的平面切割来进行。期望的平面切割也可通过植入物部件的形状和植入物部件的3-D模型来限定。切割平面74可由用户在术中限定,或者由控制系统自动地限定。当组织在外科手术期间移动时,可由导航系统14借助于附接到组织的跟踪器18以及跟踪器18与组织的配准而跟踪切割平面74的位置和取向。切割平面74的位置可借助于映射到包括切割平面74的3-D模型而进行跟踪。机器人机械手22可适应切割平面74的移动并且根据需要自主地调整其自身的定位以维持与组织的任何期望的关系,诸如在需要时相对于组织保持在切割平面74上。这种控制可使用例如以下各项中描述的机器人控制来实现:美国专利号8,010,180、美国专利号9,119,655或美国专利申请公布号2014/0180290,所有这些专利特此以引用的方式并入本文。

[0104] 控制系统被配置为经由机器人机械手22控制切割引导件38的移动和放置。当切割引导件38联接到机器人机械手22,并且用户准备好移动/放置切割引导件38,使得引导部分44被定位成在期望的切割平面74上接纳切割工具40时,控制系统将向机器人臂24发送命令来控制其关节马达以移动切割引导件38,使得切割工具40在被放置成与切割引导件38配合(例如,放置到切割引导件38的引导槽中)时位于切割平面74上(例如,与所述切割平面对准)。用户可能能够操作机器人外科手术系统10以自主地定位切割引导件38,使得切割工具40以美国专利申请公布号2014/0180290中描述的方式自动地与处于期望的位置和/或取向的切割平面74对准,所述专利以引用的方式并入本文。切割工具40通过处于与切割平面74相同的大体取向而与切割平面74对准,其中切割平面74穿过切割工具40或与所述切割工具相邻。在一些步骤中,用户可借助于如本文所描述的触觉引导而将切割引导件38定位在期望的位置和/或取向。

[0105] 借助于导航系统14以及相关联的跟踪器18、52、54和/或借助于机器人臂24的关节中的编码器,机器人外科手术系统10能够确定切割引导件38相对于切割平面74的位置和取向以根据需要定位切割工具40。切割引导件38和/或切割工具40的当前位置/取向和/或切割引导件38和/或切割工具40相对于患者的解剖结构的期望的位置/取向可呈现在显示器20上并且实时地更新,使得在切割引导件38和/或切割工具40处于期望的位置/取向(例如,处于切割平面74上)时,用户能够看到这点。

[0106] 在图5A中,切割平面74被示出为横向于诸如骨骼的组织的外表面设置。在此处,控制系统已经相对于组织自主地将切割引导件38定位在初始目标位置和/或取向,使得在切割工具40被定位成与切割引导件38的引导部分44配合时,切割工具40与期望的切割平面74对准。控制系统可操作机器人机械手22以自主地将切割引导件38在与组织间隔开起始距离D1之处定位在初始目标位置和/或取向,使得切割工具40无法通过切割引导件38来接触组织。起始距离D1可被限定为从引导部分44的中心(例如,在切割引导件38的下侧的槽的中心)到切割平面74中的组织的最近表面的距离。起始距离D1也可以其他方式进行限定。

[0107] 由于组织的外表面是弧形或弯曲的并且切割平面74通常从外表面非垂直地延伸,因此仅仅将切割引导件38移动为较靠近组织,而不与组织相邻和/或邻接所述组织可能会导致切割工具40沿着弯曲外表面刮削。为此,参考图5B,切割引导件38首先位于与组织相邻

的初始引导位置GL1以限制这种刮削。在初始引导位置GL1中,切割引导件38被放置成与组织相邻,并且可邻接组织。初始引导位置GL1可由导航控制器48基于来自导航系统14的数据而确定。初始引导位置GL1可为定位器16的定位器坐标系LCLZ中的切割引导件38的引导件坐标系GCS的位置和取向,所述定位器坐标系可充当共用坐标系以达到在外科手术期间跟踪各种对象的相对位置和取向的目的(其他坐标系可用作共用坐标系,所述对象使用常规的坐标变换技术变换到所述共用坐标系)。初始引导位置GL1因此可被确定为是在切割引导件38处于目标取向时切割引导件38的表面与组织相邻的位置-也在定位器坐标系LCLZ中跟踪所述组织。

[0108] 控制系统可自主地操作机器人机械手22以将切割引导件38移动到初始引导位置GL1,或者诸如在触觉模式下,可控制对机器人机械手22的手动操纵以移动切割引导件38。在触觉模式下,控制系统防止用户将切割引导件38移离目标取向(例如,移离期望的平面74),同时允许用户经由诸如虚拟平面边界的一个或多个虚拟对象而将切割引导件38以目标取向移动到任何期望的位置中。更具体地,控制系统在用户手动地操纵端部执行器36时约束切割引导件38的移动以使切割引导件38朝向骨骼移动到与组织相邻的初始引导位置GL1,使得切割引导件38在初始引导位置GL1处保持在目标取向上。为此,控制系统可在显示器20(参见图5A)上生成指示用户移动切割引导件38的指令INS1。虽然本文描述的指令指代由控制系统在显示器20上生成的视觉指令,但是此类指令以及本文描述的任何其他指令也可为听觉指令或触觉指令。

[0109] 在一些情况下,控制系统可约束切割引导件38的移动,使得切割引导件38仅能够从初始目标位置/取向沿着期望的轨迹76平移到初始引导位置GL1,同时保持在相同的目标取向上(比较图5A与图5B)。在此情况下,可激活诸如虚拟线的另一个虚拟边界来限定期望的轨迹76。因此,用户可能无法对切割引导件38进行重新定向,并且仅能够例如沿着期望的轨迹76在单个方向上朝向股骨F移动切割引导件38。在一些型式中,切割引导件38的初始引导位置可与组织相邻,但是不一定与期望的轨迹76或目标取向对准。相反,初始引导位置可被限定在导致切割工具40设置在与组织垂直之处以进一步限制潜在的刮削效应(例如,偏转)的取向。一旦启动切割,导航系统14就可监测切割工具40的深度,并且在此之后,一旦在组织中已经实现指定的穿透深度,就自动地将切割引导件38对准到期望的轨迹/取向。

[0110] 参考图5B至图5E,控制系统操作机器人机械手22以相对于组织将切割引导件38有效地锁定在初始引导位置GL1处,使得用户能够在切割引导件38位于与组织相邻处时沿着期望的切割平面74用切割工具40进行初始切割。这有助于防止切割工具40的刮削。一旦相对于组织处于期望的位置/取向并且被锁定,用户就可使用切割工具40在组织中进行初始切割。这可包括将切割工具40插入到切割引导件38的引导部分44中,并且经由单独的用户接口UI(参见图2)启动外科手术器械42的操作。替代地,控制系统可自动地操作外科手术器械42的马达MT以开始使切割工具40摆动而开始对组织的外表面的初始切割。切割也可响应于用户输入(例如,触发)而进行。控制系统可控制马达MT的操作以有助于切割和/或停用切割,诸如在切割工具40碰到或超过虚拟边界时停用切割。

[0111] 一旦马达MT在操作,参考图5D和图5E,切割工具40就沿着切割平面74朝向组织移动以在组织中形成初始切割,诸如凹口80(参见图5E)。可激活一个或多个虚拟边界(例如,虚拟止挡件)以防止用户切割超出所需的初始凹口80(例如,虚拟边界可为沿着切割平面74

的深度限制)。例如,横向宽度仅略大于切割工具40(为了适应摆动)且深度处于初始凹口80的期望的深度的虚拟边界(例如,虚拟平面)可被编程到控制系统中,使得用户以徒手的方式将切割工具40移动到比初始凹口80更深处的任何尝试都会导致工具控制器62停用马达MT或以其他方式控制切割工具40,使得切割工具40无法更深入地穿透到组织中。

[0112] 一旦达到预定深度并且形成了初始凹口80,就将切割工具40从切割引导件38抽出并且将切割引导件移动到间隔开的引导位置GL2(图5E)。在用户沿着期望的切割平面74用切割工具40在组织中进行初始切割之后,控制系统促进切割引导件38从初始引导位置GL1抽离到间隔开的引导位置GL2。切割引导件38在间隔开的引导位置GL2处保持在目标取向上,并且间隔开的引导位置GL2适合于切割工具40沿着期望的切割平面74继续切割组织。在一种型式中,控制系统通过以下方式促进抽出:操作机器人机械手22以自主地将切割引导件38从组织抽离并且将切割引导件38从初始引导位置GL1移动到间隔开的引导位置GL2。另外地或替代地,控制系统在切割引导件38处于初始引导位置GL1时在显示器20上对用户生成用切割工具40在组织中进行初始切割的指令INS2(图5B),并且在进行初始切割之后对用户生成将切割引导件38从组织抽离的指令INS3。在此情况下,当用户在进行初始切割之后手动地操纵端部执行器36以将切割引导件38从组织抽离时,控制系统操作机器人机械手22以诸如经由触觉模式下的触觉反馈来约束切割引导件38的移动。

[0113] 间隔开的引导位置GL2可由虚拟对象(诸如在期望的切割平面74中限定并沿着期望的轨迹76的另一个虚拟止挡件)限定。间隔开的引导位置GL2还可基于与切割工具40相关联的一个或多个参数而确定,使得间隔开的引导位置GL2对于不同的切割工具40而言是不同的。一个或多个参数包括以下各项中的至少一者:切割工具40的长度;切割工具40的宽度;切割工具40可通过切割引导件38在组织中切割的最大深度;以及切割工具40的跟踪位置。如图5E中的显示器20上所示,导航系统14生成切割工具40在切割引导件38处于间隔开的引导位置GL2时能够到达的地方中的区域R1的视觉表示。这可有助于理解切割工具40的可及范围并且可视化切割工具40可能能够与不打算切割的脆弱结构进行接触的位置。间隔开的引导位置GL2也可为定位器坐标系LCLZ中的切割引导件38的引导件坐标系GCS的位置和取向。

[0114] 一旦切割引导件38已经移动到间隔开的引导位置GL2,用户就能够完成沿着期望的切割平面74对组织进行的平面切割。另外参见图5E中的指令INS4。图5F示出了在已经使用切割工具40完成切除之后的组织的完成后的平面表面FPS。

[0115] 参考图6A至图8B,可能期望相对于期望的轨迹76将切割引导件38放置在不同的取向,同时保持在与期望的切割平面74对准的目标取向上。切割引导件38的这种重新定向改变了切割工具40的可及范围。因此,可由切割工具40切割的组织区域发生了变化。例如,如图6A所示,当切割引导件38的中心轴线CA与期望的轨迹76相一致地定向(代表相对于组织的第一引导角度)时,切割工具40(受到切割引导件38和徒手外科手术器械42的物理约束/干扰)则能够到达期望的切割平面74中的第一地方/区域R1(参见图6B)。因此,位于第一区域R1中的脆弱的解剖结构DAS(例如,韧带、肌腱、神经等)可能会无意中被切割工具40切割到。然而,如果切割引导件38被重新定向为使得其中心轴线CA相对于期望的轨迹76形成锐角(代表相对于组织的第二引导角度),如图7A所示,切割工具40则可触及第二地方/区域R2,其中脆弱的解剖结构DAS处于第二区域R2外部并且切割工具40无法到达所述脆弱的解

剖结构(比较图6B与图7B)。控制机器人机械手22,使得切割引导件38以切割工具40与期望的切割平面74保持对准的方式进行重新定向。如图8A和图8B所示,控制系统被配置为在切割引导件38被重新定向时改变切割工具40能够到达的区域R1、R2的视觉表示,使得用户能够看到切割引导件38的重新定向如何影响期望的切割平面74中的潜在的组织。

[0116] 参考图8C至图8E,期望的切割平面74被示出为具有以美国专利号8,977,021和9,588,587中描述的方式创建的患者特定切割边界PSCB,这两个专利特此以引用的方式并入本文。如先前所提及,定制的虚拟边界可基于患者特定解剖结构而创建。在此情况下,患者特定切割边界PSCB指示基于患者的解剖结构而在期望的切割平面74中切割患者的股骨F的期望的限制,如例如由术前成像、术中成像和/或外科手术导航等等所确定。通过患者特定切割边界PSCB施加切割限制可能是为了避免切割骨骼的某些部分,避免切割超出骨骼,避免切割韧带,避开其他软组织等。患者特定切割边界PSCB可相对于患者的解剖结构的图像和/或模型进行限定,并且因此可在共用的坐标系中经由解剖结构跟踪器18,或经由其他跟踪方法来进行跟踪。

[0117] 在一种型式中,导航系统14跟踪切割引导件38和/或切割工具40相对于患者特定切割边界PSCB的位置和/或取向。在一些情况下,控制系统(例如,机械手控制器34、导航控制器48和/或工具控制器62)可响应于切割工具40与切割引导件38配合来切割组织时在切割工具40与患者特定切割边界PSCB之间的交互而控制切割工具40的操作。例如,控制系统可基于切割工具40的工作端部相对于患者特定切割边界PSCB或相对于其他预定义边界的位置和/或取向而控制通向切割工具40的电力。

[0118] 导航控制器48可确定切割引导件38和/或切割工具40的一个或多个当前状况,诸如:(1)切割工具40是否处于患者特定切割边界PSCB内(例如,是否已经违反患者特定切割边界PSCB);(2)切割引导件38和/或切割工具40是否处于外科手术的特定步骤的正确的区(例如,体积)内;(3)切割工具40是否已经到达患者的解剖结构中的期望的深度;和/或(4)切割引导件38和/或切割工具40是否在期望的平面或轴线上/外操作。此类状况指示是否/何时可将电力施加到操作地联接到切割工具40的马达MT。导航控制器48可基于当前状况而向机械手控制器34和/或工具控制器62传输一个或多个控制信号。在一些型式中,如果由工具控制器62接收的一个或多个控制信号指示当前状况适合于对马达MT供电,则工具控制器62可将电力施加到马达MT。当然,在将电力施加到马达MT来开始切割之前可能需要满足多个条件。控制系统可在没有满足条件中的一者或多者,例如到达或超过患者特定切割边界PSCB,切割引导件38和/或切割工具40处于正确的区外部,切割工具40处于期望的深度,和/或切割工具40在期望的平面/轴线外切割时调节或停止切割工具40的操作。

[0119] 控制系统可以除了调节和/或停止切割工具40的操作之外的其他方式控制切割引导件38和/或切割工具40的操作,和/或基于它们的状况而提供反馈。例如,导航控制器48可向机械手控制器34和/或工具控制器62传输一个或多个控制信号以引起机械手22、切割引导件38和/或切割工具40的振动,以指示切割引导件38和/或切割工具40的任何状况。例如,偏心马达(未示出)、压电元件(未示出)等等可设置在外科手术器械42中并且联接到工具控制器62以引起此类振动。在一些型式中,导航控制器48可在满足条件中的一者或多者时向工具控制器62传输信号来操作偏心马达/压电元件以引起外科手术器械42的手持部分的振动。此类条件可包括本文公开的条件中的任一者,包括但不限于:(1)切割工具40处于患者

特定切割边界PSCB的一部分的预定义距离内；(2) 切割工具40处于患者特定切割边界PSCB外部；(3) 切割引导件38相对于骨骼处于期望的位置处；(4) 切割引导件38和/或切割工具40处于期望的平面/轴线外；和/或(5) 切割引导件38和/或切割工具40处于期望的平面/轴线上；等等。类似的反馈可另外地或替代地传输到由用户和/或其他人员佩戴的腕带(未示出)。这种腕带可包括其自身的偏心马达、压电元件等等以引起振动。腕带还可包括经由蓝牙、Zigbee或其他通信协议与导航控制器48进行无线通信的控制器。振动也可在切割引导件38上生成和/或通过操作地联接到机械手控制器34、导航控制器48和/或工具控制器62的机械手22(例如,经由单独的偏心马达/压电元件)来生成。同样可操纵机械手22的关节马达以经由其换向等而生成振动。

[0120] 另外地或替代地,控制系统可动态地控制切割引导件38的定位,使得切割工具40无法切割超出患者特定切割边界PSCB的组织。例如,参考图8C,控制系统可在一个或多个自由度上自主地控制切割引导件38的定位。参见例如切割引导件38的由图8C中的箭头所示的三个可能的移动自由度,所述切割引导件可由控制系统调整来控制切割工具40相对于患者特定切割边界PSCB的放置,而又将切割工具40保持在期望的切割平面74上。除了此类调整之外,控制系统还可操作机械手22以在股骨F移动时自动地移动切割引导件38来维持切割引导件38与股骨F之间的期望的关系,例如将切割工具40保持在期望的切割平面74上并相对于患者特定切割边界PSCB保持在期望的放置。

[0121] 对切割引导件38的位置和/或取向的自主控制可与对机械手22的手动操纵配合,在所述手动操纵中,用户在一个或多个自由度上手动地移动(或手动地引起移动)切割引导件38。例如,在用户手动地操纵切割引导件38以在一个自由度上(比如说竖直地)移动时,控制系统可自主地横向地移动切割引导件38,使得在所有时间,切割引导件38被放置成使得切割工具40无法穿透到超出患者特定切割边界PSCB。在一个实施方案中,当采用力/扭矩传感器60时,用户可大致在竖直方向上施加输入力,从而指示向下朝向股骨F移动切割引导件38的愿望。然而,代替仅仅模仿用户的期望的运动并且相应地仅在竖直方向上移动切割引导件38,控制系统可将横向力添加到用户的施加的竖直力,使得控制系统通过横向地且竖直地移动切割引导件38来对用户的操纵作出反应,以避免切割超出患者特定切割边界PSCB的组织(例如,比较图8C与图8D)。

[0122] 在一些型式中,引导部分44的大小被设定为使得切割工具40基本上受到限制而无法相对于引导部分44进行横向或倾斜运动。关于切割工具40的长度、切割工具40的宽度、引导部分44的长度和引导部分44的宽度的数据可输入到控制系统中(例如,导航控制器48中)的存储器中以在完全插入到切割引导件38中时将切割引导件38的位置和/取向与切割工具40的位置和/或取向关联起来。切割工具40的位置和/或取向也可使用本文描述的技术来测量以确定切割工具40的工作端部相对于患者特定切割边界PSCB的位置和/或取向。图8C至图8E示出了切割引导件38的一系列手动和/或自主移动,所述移动允许用户沿着期望的切割平面74切割股骨F,同时防止切割工具40穿透超出患者特定切割边界PSCB。

[0123] 如先前所论述,在一些外科手术中,可能需要对组织进行许多不同的切割,诸如多次平面切割、多个栓钉/导向孔等等。因此,通常以此类切割的期望的序列来实施外科手术。所述序列可存储在控制系统中的存储器中以供控制系统稍后检索,以控制机器人机械手22的操作来以期望的序列执行切割。例如,控制系统可操作机器人机械手22以自主地定位切

割引导件38,使得切割工具40与多个期望的切割平面/轴线对准以便以期望的序列进行多次切割。另外地或替代地,控制系统可参考存储在控制器中的期望的序列以控制在显示器20上向用户显示的步骤的工作流,使得用户以期望的序列进行切割。切割引导件38(或多个不同的切割引导件)的期望定位序列可基于手术的类型通过默认设定来建立,或者可以是基于预定标准,诸如:用户偏好;期望的切割平面/轴线之间的距离;切割引导件38相对于期望的切割平面/轴线的当前对准;以及切割引导件38到达期望的切割平面/轴线的所需移动。图9示出了指令INS5的一个实例,其中提示用户经由输入装置中的一者在显示器20上切换“1”和“2”来选择期望的平面切割序列。一旦选择好,控制系统就准备将切割引导件38移动到适当的位置,使得切割工具40与第一平面切割的第一期望的切割平面对准(例如,经由半自主模式、触觉模式等模式下的操作)。一旦完成第一平面切割,控制系统就准备将切割引导件38定位成使得切割工具40与第二平面切割的第二期望的切割平面对准(例如,经由半自主模式、触觉模式等模式下的操作),以此类推,直到已经进行所有必要的切割为止。在其他型式,基于用户输入,例如经由按钮、触摸屏、手势等而指示机器人机械手22移动到下一个位置(例如,第二期望的切割平面)。另外地或替代地,用户输入可包括由用户施加在切割引导件38、机器人机械手22或其他位置上的具有这种方向和/或大小的力以指示期望移动到下一个位置。

[0124] 在一些型式,将对骨骼进行的期望的切割可通过以下方式来指示:将切割工具40物理地定位在期望的切割位置处或附近并且一旦处于期望的切割位置就向导航控制器48提供对应的输入(例如,经由下压按钮、触摸屏、脚踏开关、姿势等),而不用接合切割引导件38。在这种放置期间,导航系统14跟踪切割工具40相对于骨骼的姿态以确定正在识别切割序列中的哪一次切割(例如,在接收到输入时最靠近用户的放置的那一个)。导航控制器48可自动地识别显示器20上的切割并且提示用户进行输入,从而确认所述切割。一旦已经确认期望的切割,导航控制器48就向机械手控制器34传输对应的输入信号,并且机械手控制器34之后可自动地将切割引导件38放置在与期望的切割相关联的初始引导位置处。导航指针P可以类似的方式使用来指向骨骼上用户希望进行下一次切割的位置,并且导航控制器48可如上文所描述作出响应。

[0125] 参考图10,导航系统14被配置为确定被治疗的组织的速度或加速度中的一者或多者。例如,由于其经由跟踪器18跟踪组织,因此导航系统14能够监测组织的位置/速度随时间的变化,包括围绕以及沿着定位器坐标系LCLZ的轴线的位置和速度的变化。因此,可设定速度和/或加速度限值,并且可将所监测的速度和/或加速度与其限值进行比较以查看何时超过其限值。如图10所示,还可在显示器20上显示相关联的警告。

[0126] 在一些情况下,可比机器人机械手22能够有效地作出响应,并仍然维持切割引导件38与期望的切割平面或期望的切割轨迹/轴线对准的情况更快地和/或以更大的加速度移动组织。可设定限值来防止此类情形以及可能的对组织的不期望的切割。在一个实施方案中,控制系统响应于组织的速度和加速度中的一者或多者超过预定限值中的一者而将机器人机械手22(例如,从半自主模式或触觉模式)切换到自由模式。因此,切割引导件38和/或切割工具40将从期望的切割平面或期望的切割轨迹/轴线解锁并且能相对于组织自由地移动。另外地,控制系统诸如通过工具控制器62可停止驱动切割工具40的马达MT的操作。导航系统14在切换到自由模式之后连续地监测组织的速度/加速度,并且控制系统可经由半

自主模式、触觉模式等模式来重新定位切割引导件38(或允许重新定位切割引导件38),使得响应于导航系统14确定速度和加速度中的一者或多者已经恢复为处于或低于一个或多个预定限值,切割工具40与期望的切割平面或期望的切割轨迹/轴线重新对准。

[0127] 参考图11,如先前所描述,定位器16的传感器S依赖于能够从跟踪元件或标记M(有源或无源)接收光的跟踪器18的视线。有时,标记M中的一者或多者可能会被阻挡在定位器16的传感器S中的一者或多者的视野之外。因此,对跟踪器18以及跟踪器18所附接的相关联的对象的位置和取向的可靠跟踪停止。导航系统14可基于来自传感器S的反馈而确定标记M中的一者或多者是否被阻挡在定位器16的视野之外。例如,导航控制器48可能无法对标记M的位置进行三角测量,因为只有一个传感器S从标记M接收光,而其他传感器S并未从标记M接收光。响应于确定标记M中的一者被阻挡在视野之外,控制系统促进切割引导件38从组织的抽离,如图11所示。这种抽出可能是自主的,或者可能是诸如在自由模式或触觉模式下在显示器20上向用户呈现来抽出切割引导件38的指令INS6的形式。如本文所描述,控制系统可在被阻挡状况下自动地将机器人机械手22的操作切换为自由模式或触觉模式,并且对切割引导件38解锁以进行移动,和/或可停止切割工具40的马达MT的操作。由于对组织的跟踪例如因为被阻挡的跟踪器18而不再可靠,因此控制系统可被配置为操作机器人机械手22,以在标记M中的一者或多者被阻挡在视野之外之前沿着存储在导航控制器48和/或机械手控制器34中的切割引导件38的取向/轴线将切割引导件38从组织抽离。导航系统14连续地监测被阻挡状况,并且响应于标记M不再被阻挡在定位器16的视野之外,控制系统可经由半自主模式、触觉模式等模式来重新定位切割引导件38(或允许重新定位切割引导件38),使得切割工具40与期望的切割平面或期望的切割轨迹/轴线重新对准。

[0128] 参考图12和图13,控制系统包括一个或多个工具载荷传感器82(参见图13),所述工具载荷传感器联接到切割引导件38以感测由切割工具40施加在切割引导件38上的载荷和/或感测切割工具40的偏转。工具载荷传感器82可包括一个或多个负荷传感器、压力传感器、光学传感器、霍尔效应传感器、超声波传感器等等,和/或用于测量/检测由切割工具40施加在切割引导件38上的载荷和/或切割工具40的相关联的偏转的任何其他合适的传感器。在图13所示的型式中,工具载荷传感器82包括固定在切割引导件38的暴露于引导部分44(例如,槽)的主体中的压力传感器,使得在工作端部W处置于切割工具40上的任何偏转载荷(参见隐藏线)都将被压力传感器感测到并且将生成相关联的输入信号。

[0129] 工具载荷传感器82联接到机械手控制器34、导航控制器48和工具控制器62(参见图2)以根据需要向这些控制器34、48、62中的任一者提供输入信号。来自工具载荷传感器82的测量值可例如在测量值超过预定限值时提供切割工具40在以不期望的方式偏转的指示。因此,控制系统(例如,工具控制器62)可响应于由切割工具40施加在切割引导件38上的载荷超过预定限值中的一者而停用切割工具40的马达MT的操作以停止用切割工具40进行切割。另外地或替代地,控制系统可通过指示机器人机械手22移动切割引导件38来对此类载荷/偏转进行补偿而应对此类载荷/偏转。一些用户可能会自然而然地倾向于施加微小的偏转载荷,而本意并非如此,但是控制系统可考虑到此类趋势。例如,如果检测到的载荷与5度偏转相当,则控制系统可指示机器人机械手22在相反的方向上将切割引导件38旋转约5度。因此,偏转的净效应会导致切割工具40沿着期望的轨迹/平面等操作。在一些型式中,可在所测量的载荷大于第一阈值载荷,但是小于第二阈值载荷时采用这种补偿。在一些型式中,

当用户在切割工具40上施加力导致所测量的载荷高于第二阈值时,这可能是用户希望针对下一个位置(例如下一个期望的切割平面)重新定向切割引导件38的指示。因此,控制系统可响应于检测到这种载荷的施加而自动地将切割引导件38与下一个期望的切割平面对准。这可与检测到以下情况相结合:切割工具40也正从组织抽出指定距离以允许这种重新定向,而没有沿途接合其他组织。

[0130] 如图12所示,控制系统还可包括工具载荷指示器84,诸如位于切割引导件38上的一个或多个视觉指示器。工具载荷指示器84可响应于由切割工具40施加在切割引导件38上的载荷超过预定限值而由控制系统(例如,机械手控制器34、导航控制器48和/或工具控制器62)激活。图12所示的工具载荷指示器84包括由机械手控制器34控制来连续地发出有色光的一个或多个灯,诸如发光二极管(LED),但是可以期望的频率操作来闪光/闪烁,和/或可发出多种颜色的光。工具载荷指示器84可包括一个或多个视觉指示器、触觉指示器和听觉指示器。如图12所示,单独的视觉指示器可为显示器20上的相关消息。

[0131] 参考图14和图15,控制系统包括一个或多个工具位置传感器86(参见图15),所述工具位置传感器联接到切割引导件38以感测切割工具40相对于切割引导件38的位置。更具体地,位置传感器86协助定位切割工具40的工作端部W(例如,尖端、远侧端部等),使得控制系统能够经由以下各项的组合来确定切割工具40的工作端部W相对于患者12的组织的位置:导航系统14监测切割引导件38以及其相关联的引导部分44的位置和取向以及工具位置传感器86检测切割工具40在切割引导件38中的位置。因此,工具位置传感器86可具有其自身的坐标系,或者位于引导件坐标系GCS中的已知位置处,使得从位置传感器86取得的测量同样是相对于引导件坐标系GCS进行的,所述引导件坐标系可被变换为共用的坐标系,例如定位器坐标系LCLZ。位置传感器86可用作将跟踪器18放置在切割工具40和/或所述切割工具所附接的徒手外科手术器械42上的替代方案或补充。

[0132] 工具位置传感器86可包括一个或多个光学传感器、霍尔效应传感器、超声波传感器等等,或者用于测量/检测切割工具40在切割引导件38中的位置的任何其他合适的传感器。在图13所示的型式中,工具位置传感器86包括一个或多个光学传感器,诸如CCD或CMOS,所述光学传感器固定在切割引导件38的暴露于引导部分44(例如,槽)的主体中,使得切割工具40上的标志88对于光学传感器而言是可见的。光学传感器可以间隔开的关系定位在引导部分44的相对侧上,和/或两个或更多个光学传感器可在引导部分44的同一侧上间隔开,使得切割工具40在引导部分44中的任何倾斜都可被检测到,或者可采用单个光学传感器。在任何情况下,光学传感器读取切割工具40上的标志88以确定切割工具40相对于切割引导件38的深度。为此,在每个深度处的标志88可为不同的,或者标志M之间的间距可使得深度可由生成标志88的图像的光学传感器确定。在一种型式中,光学传感器可类似于光学线性编码器进行操作。

[0133] 工具位置传感器86联接到机械手控制器34、导航控制器48和工具控制器62以根据需要向这些控制器34、48、62中的任一者提供输入信号。来自工具位置传感器86的测量可与关于切割引导件38在定位器坐标系LCLZ中的位置和取向的导航数据相组合,以确定定位器坐标系LCLZ中的切割工具40(例如,工作端部)相对于被切割的组织的位置和取向的位置和/或取向。因此,控制系统之后能够在显示器20上,或在其他位置生成切割引导件38、切割工具40和/或组织的图像,并且实时地更新图像,使得用户可在显示器20上看到切割引导件

38、切割工具40和/或组织之间的相对移动。另外地,通过了解切割工具40的位置和/或取向,控制系统可跟踪所述切割工具相对于任何虚拟对象(诸如虚拟切割边界)的移动,并且相应地作出反应,诸如,如果控制系统检测到切割工具40的工作端部W已经超出边界则通过关闭通向马达MT的电力来作出反应。类似地,一旦控制系统检测到切割工具40处于切割引导件38内,控制系统就可允许对马达MT供电以引起切割工具40的移动(例如,旋转、平移、振动等)。因此,在一些情况下,切割工具40无法在切割引导件38外部操作,并且必须至少部分地位于切割引导件38内以便将电力分配到马达MT。

[0134] 另外地或替代地,导航系统14也可跟踪切割工具40相对于切割引导件38的位置以确定切割工具40是位于切割引导件38中还是以其他方式接合切割引导件38,即确定切割工具40相对于切割引导件38的接合状态。机械手控制器34之后利用此信息来确定是否/何时适宜操作机械手22来移动切割引导件38。例如,导航控制器48可向机械手控制器34传输指示切割工具40位于切割引导件38的引导部分44(例如,槽)中的一者中的积极接合状态信号。作为响应,机械手控制器34可禁用/防止移动切割引导件38的操作,直到用户将切割工具40从切割引导件38中移除为止。相反地,在一些情况下,机械手控制器34可能仅在切割工具40存在于切割引导件38中的情况下才允许某些操作。

[0135] 在一些型式中,向导航控制器48提供与切割引导件38相关联的几何数据(例如,存储在存储器中),诸如切割引导件38的3-D模型,所述几何数据最初可在引导件坐标系GCS中限定,然后(例如,经由坐标变换等)变换为任何合适的坐标系,包括定位器坐标系LCLZ。切割引导件模型可包括实体模型、三角化网格和/或表面或体积模型的其他形式等等。这种几何数据为导航控制器48限定了引导部分44(例如,槽)的坐标/位置。另外地,向导航控制器48提供与切割工具40相关联的几何数据(例如,存储在存储器中),诸如切割工具40的3-D模型,所述几何数据最初可在工具坐标系中限定,然后变换为任何合适的坐标系,包括定位器坐标系LCLZ。切割工具模型可包括实体模型、三角化网格和/或表面或体积模型的其他形式等等。借助于上文描述的跟踪器和/或其他跟踪模态,导航控制器48能够跟踪切割工具40相对于切割引导件38的引导部分44的姿态。此外,导航控制器48由此能够检测切割工具40是否存在于引导部分44中的一者中(例如,通过在同一坐标系中比较其当前坐标)。在一些型式中,当切割工具40被导航控制器48检测为处于引导部分44中的一者中(例如积极接合状态信号)时,工具控制器62可向切割工具40的马达MT供应电力。例如,导航控制器48可向工具控制器62传输对应的信号。相反地,当导航控制器48检测到切割工具40不存在于任何引导部分44中并且向工具控制器62传输对应的消极接合状态信号时,工具控制器62可停用或禁用通向马达MT的电力。

[0136] 另外地或替代地,切割引导件38可具有联接到切割引导件38的检测引导部分44中切割工具40的存在/不存在的传感器。这些传感器可为接近传感器、限位开关、超声波传感器、运动传感器、光学传感器、其组合等等,所述传感器可由工具控制器62采用来基于任何引导部分44中切割工具40的存在/不存在而控制通向马达MT的电力。在一些实施方案中,传感器诸如有线或无线地(例如,蓝牙、Zigbee、IR等)直接与工具控制器62通信,以基于引导部分44中切割工具40的存在/不存在而控制通向马达MT的电力。可使用任何适当的通信手段,使用有线或无线通信方案来控制切割工具40。

[0137] 参考图15A和图15B,也可采用一个或多个识别装置87来识别切割引导件38和/或

切割工具40。识别装置87可包括一个或多个传感器,诸如光学传感器、RF传感器等等,或用于识别切割引导件38和/或切割工具40的任何其他合适的传感器。在图15A所示的型式中,识别装置87可包括扫描仪/读取器89以读取切割工具40上的一个或多个标志/标签91。例如,扫描仪/读取器89可为条形码扫描仪、QR码扫描仪、RFID读取器等等,并且标志/标签91可为条形码、QR码、RFID标签或任何其他合适形式的标识符。扫描仪/读取器89可为单独的便携式电子装置,可附接到机械手22,可附接到切割引导件38等等。

[0138] 如下文所描述,识别装置87可另外地或替代地包括采用机器视觉技术的一个或多个相机93(例如,具有一个或多个CCD或CMOS传感器)以及相关联的机器视觉控制器以通过以下方式来检测切割引导件38和/或切割工具40的形状、尺寸和/或构型:获得切割引导件38和/或切割工具40的图像并且将切割引导件和/或切割工具40的所拍摄的图像匹配到存储的图像库,以使用图案辨别或其他用于识别的图像处理算法来识别切割引导件38和/或切割工具40。机器视觉控制器可包括使用模拟或数字接口来获得切割引导件38和/或切割工具40的图像的帧捕获器。另外地或替代地,相机93可包括能够直接连接到机器视觉控制器的数字相机。可采用2-D/3-D成像、多光谱成像、飞行时间相机成像、基于网格阵列的成像和/或立体视觉/成像等等。

[0139] 在由相机93获取图像之后,对所述图像进行处理。可使用多个处理阶段来从图像中提取切割引导件38和/或切割工具40(例如,通过将与图像相关联的图像数据与存储在机器视觉控制器或导航控制器48中的对象数据进行比较,所述导航控制器联接到机器视觉控制器)。可采用的机器视觉图像处理的方法包括诸如以下的方法:拼接/配准;滤波;阈值化;像素计数;分割;边缘检测;色彩分析;斑点检测和提取;图案辨别/模板匹配;2-D条形码读取;和/或光学字符辨别;和/或用于处理图像以达到识别的目的的任何其他合适的方法。

[0140] 在图15B所示的型式中,识别装置87包括一个或多个光学传感器95,诸如CCD或CMOS,所述光学传感器固定到切割引导件38的暴露于引导部分44(例如,槽)的主体,使得切割工具40上的标签对于光学传感器95而言是可见的。在一些情况下,切割引导件38的标识可能已经存储在导航控制器48中的存储器中,作为用户在用户接口上选择的结果,或者通过在将切割引导件38附接到机械手22时例如经由RFID标签/读取器等单独地识别切割引导件38。

[0141] 识别装置87可联接到导航控制器48以向导航控制器48传输数据,诸如图像数据、码数据等,使得导航控制器48可识别切割引导件38和/或切割工具40。例如,特定的切割引导件38和/或切割工具40可通过将扫描的条形码、QR码、RFID数据等与标识符的查找表中所列的标识符进行比较和匹配来识别,所述标识符的查找表与各种已知的切割引导件和/或切割工具相关联并存储在导航控制器48上的存储器中。查找表还可使每个切割工具与一个或多个可接受的适合与特定的切割工具一起使用的切割引导件相关联。因此,导航控制器48能够确定正在使用哪个切割引导件38,正在使用哪个切割工具40,以及所述特定的切割工具是否适合与所述特定的切割引导件38一起使用。如果切割工具40不适合与切割引导件38一起使用,则工具控制器62可禁用/阻止马达MT的操作,机械手控制器34可禁用/阻止切割引导件38的移动,控制系统可经由显示器20通知用户并且提示用户确认继续操作,和/或控制系统可触发其他合适的响应。相反地,如果切割工具40由导航控制器48确定为适合与切割引导件38一起使用,则可正常地继续进行操作。参考图16,铰接连杆机构90将端部执行

器36的基座92与切割引导件38互连以相对于端部执行器36的基座92将切割引导件38的移动约束于单一平面SP1。铰接连杆机构90可为主动的、被动的或其组合。如所示,铰接连杆机构90包括多个连杆94、96、98、100。在其他型式中,更多或更少的连杆也是可能的。在此处,第一连杆94在一个端部处固定到端部执行器36的基座92并且从基座92延伸到第一旋转关节102。第二连杆96在第一旋转关节102处枢转地连接到第一连杆94并且从第一旋转关节102延伸到第二旋转关节104。第三连杆98在第二旋转关节104处枢转地连接到第二连杆96并且从第二旋转关节104延伸到第三旋转关节106。第四连杆100在第三旋转关节106处枢转地连接到第三连杆98并且从第三旋转关节106延伸到切割引导件38,即切割引导件38固定到第四连杆100的一个端部。

[0142] 由于连杆94、96、98、100以及关节102、104、106的配置,切割引导件38能够如图16中的箭头所示在三个自由度上移动。其他配置也是可能的。另外地或替代地,也可采用平移关节或其他关节类型。关节102、104、106可能能够诸如通过一个或多个锁定装置108(例如夹具、紧固件(例如,拧紧螺栓/螺母)、制动器等)进行锁定以将切割引导件38保持在期望的位置。也可采用关节止挡件(未示出)来限制围绕关节的旋转。关节止挡件可手动地设定,或者可被自动化并且由控制系统设定。臂位置传感器110(诸如旋转编码器、电位差计、或其他类型的传感器)可定位在关节102、104、106中的每一者处以确定连杆96、98、100的当前旋转位置,以确定切割引导件38相对于端部执行器36的基座92的位置和取向。另外地或替代地,可将单独的跟踪器18放置在切割引导件38上并且对所述跟踪器进行校准/将其配准到切割引导件38,以便能够跟踪切割引导件38在共用的坐标系(例如,定位器坐标系LCLZ)中的位置和取向,使得切割引导件38相对于组织的位置可被确定并且由控制系统使用来实施本文描述的功能和方法。

[0143] 图16A示出了另一个铰接连杆机构120,所述铰接连杆机构将端部执行器36的基座122与切割引导件38互连以有促进切割引导件38相对于基座122的移动。在此实例中,铰接连杆机构120包括将基座122与切割引导件38互连的柔性工具124。柔性工具124可包括从基座122延伸到切割引导件38的导管125。导管125具有近侧区域以及能够相对于近侧区域挠曲的远侧区域DR。导管125可由塑料、金属、其组合形成,并且在一些情况下可为弹性或半弹性的。导管125在近侧区域中可为相对刚性的并且在远侧区域DR中是柔性的,使得远侧区域DR能够相对于近侧区域挠曲。

[0144] 在所示的实例中,柔性工具124包括一根或多根控制线128以控制远侧区域的移动。仅示出了两根控制线128,但是可采用一根、两根、三根、四根或更多根控制线,并且可在导管125的壁内部沿着柔性工具124的长度延伸,或者可在导管125的管腔中延伸。如果采用了两根、三根、四根或更多根控制线128,所述控制线可围绕导管125的中心沿着其长度沿周向相等地间隔开。控制线128可在导管125的远侧端部处固定到导管125。

[0145] 控制装置126附接到柔性工具124以控制控制线128的张紧。控制线的张紧引起远侧区域DR大体上在张紧的控制线的方向上偏转。控制装置126包括手柄130和致动器132,所述致动器操作地联接到控制线128以控制控制线128的张紧。在所示的型式中,致动器132包括转筒134,所述转筒响应于操纵杆136的移动而旋转。控制线128从导管125的远侧端部延伸到转筒134并且固定到转筒134,使得当转筒134在第一方向上旋转时,第一控制线128a进入张紧状态,而第二控制线128b是松弛的,并且当转筒134在相反的方向上旋转时,第二控

制线128b进入张紧状态,而第一控制线128a是松弛的。致动器132的操作引起导管125的远侧区域DR的期望的偏转以及切割引导件38的对应的移动,所述切割引导件固定到导管125的远侧端部。在采用三根或更多根控制线的实施方案中,可使用额外的手柄/致动器来操作额外的控制线。其他形式的致动器(例如,旋钮、拨盘、马达等)可用于使控制线张紧。也可采用其他铰接连杆机构,诸如在名为“Surgical Instrument with Articulating Region”的美国专利申请公布号2018/0242962中示出的那些,所述专利申请特此以引用的方式并入本文。

[0146] 图16B示出了铰接连杆机构140的另一个实例,所述铰接连杆机构可被用于基座142与切割引导件38之间以相对于组织定位切割引导件38。在此型式中,铰接连杆机构140包括蛇形机器人机械手以控制切割引导件38的位置。

[0147] 在一些实施方案中,除了将切割引导件38沿着期望的轨迹/平面移动为与组织对准,也可移动患者的组织来提供与切割引导件38的期望的对准。这可手动地完成,或者用联接到患者的一个或多个机械手完成。可使用来移动患者的组织的这种布置被示出于例如名为“Motorized Joint Positioner”的美国专利申请公布号2014/0188129中,所述专利申请特此以引用的方式并入本文。

[0148] 参考图17,示出了由控制系统实施来相对于组织定位切割引导件38的步骤的一个实例。在步骤200中,如图5A所示且如上文所描述,首先相对于待切割的组织自主地将切割引导件38定位在初始目标位置和/或取向。在步骤202中,一旦切割引导件38定位在初始目标位置和/或取向,控制系统就做好准备以供用户将切割引导件38移动到图5B所示的初始引导位置GL1,或引起所述移动。在用户手动地操纵端部执行器36以使切割引导件38朝向组织移动到与组织相邻的初始引导位置GL1时,控制系统约束切割引导件38的移动,使得切割引导件38在初始引导位置GL1处保持在目标取向上。在步骤204中,在初始引导位置GL1处将切割工具40插入到切割引导件38中以进行初始切割之后,控制系统以先前所描述的方式促进切割引导件38从初始引导位置GL1抽离到间隔开的引导位置GL2。

[0149] 参考图18,在一些型式中,除了跟踪切割引导件38之外,当由导航系统14或单独的导航系统跟踪切割工具40时,还可采用各种控制方法,使得控制系统(例如,工具控制器62)能够基于切割工具40相对于患者的组织的位置而控制切割工具40的操作。这种控制可包括停止马达MT的操作、改变马达MT的速度等等。

[0150] 类似地,对于其他类型的切割工具,诸如RF工具、超声波工具、激光器等,控制系统可能能够控制施加到组织的相关联的RF能量(例如,关闭、改变等),控制超声波尖端的振动(例如,关闭、改变等),控制电力(例如,关闭、改变等)等等。图18示出了可在一种方法中采取的步骤。在步骤300中,首先相对于组织将切割引导件38以机器人方式放置在期望的位置处。这种机器人控制可包括以自由模式、触觉模式、半自主模式等等控制机器人机械手22。在步骤302中,如上文所描述,相对于诸如与组织相关联的定制的虚拟边界的虚拟对象跟踪切割工具40的位置和/或取向。在步骤304中,如先前所描述,响应于切割工具40与定制的虚拟边界之间的交互而控制切割工具40的操作,例如以防止切割工具40切割并未意图切割的组织。

[0151] 图19示出了由控制系统实施来执行外科手术的步骤400的详细实例。应当了解,图19中阐述的步骤仅是示例性的并且设想了这些步骤的变型。此外,下文描述了各种形式的

用户输入以将输入提供到控制系统中。然而,也设想其他形式的用户输入。可被利用来实施本文描述的输入功能的合适的用户输入装置包括但不限于:外科手术器械42、切割引导件38、机械手22和/或其他位置上的下压按钮;姿势控制装置;触摸屏(例如,与显示器20相关联);传感器;开关;脚踏开关;导航指针P、切割工具40、机械手22或其他装置的指定移动/操纵;来自力/扭矩传感器60的输入;等等。

[0152] 最初,通过控制系统锁定机械手并且将所述机械手保持在其当前位置和取向上。这可通过以下方式来完成:由机械手控制器34主动地启动关节马达以保持当前位置和取向,诸如通过抵抗重力的影响,通过不对切割引导件38上任何用户施加的力/扭矩作出反应等来进行。在步骤402中,用户致动操作地联接到机械手控制器34和/或导航控制器48的第一用户输入端以提供对应的输入(例如,位于切割引导件38上的按钮)。这可包括按压用户输入端并且将用户输入端保持在致动状态(例如,连续地压下按钮)。因此,控制系统在步骤404中将机械手22置于自由模式,并且允许用户将力和扭矩施加在切割引导件38上以移动切割引导件38,并且在步骤406中将切割引导件38与期望的切割平面对准。这种输入可同样通过切换用户输入,或通过某一其他形式的用户输入来完成。

[0153] 显示器20可显示切割引导件38相对于期望的切割平面的当前位置和取向的当前位置和取向的实时更新。因此,用户可在步骤406中通过监测显示器20直到显示器20显示切割引导件38处于或接近期望的姿态而执行切割引导件38的手动对准。切割引导件38和/或期望的切割平面在显示器20上的虚拟表示可为切割引导件38的2-D或3-D表示和/或切割工具40的表示(尽管尚未插入切割引导件38中,但是好像已经存在于切割引导件中),使得用户能够将切割引导件38视觉地对准到期望的切割平面上。还可使用听觉、触觉、或其他反馈来帮助用户手动地将切割引导件38对准到期望的切割平面上,或者相对于与期望的切割平面相关联的虚拟边界对准所述切割引导件。

[0154] 在步骤408中,用户释放第一用户输入端,将第一用户输入端切换为不同的状态,或以其他方式提供指示用户已经完成手动对准的输入。作为响应,控制系统锁定切割引导件38并且相对于患者12的骨骼将切割引导件38保持在其当前位置和取向上。这可通过以下方式来完成:由机械手控制器34主动地启动关节马达以保持当前相对位置和取向,诸如通过抵抗重力的影响,通过不对切割引导件38上任何用户施加的力/扭矩作出反应等来进行。另外地,导航控制器48主动地监测骨骼以检测任何移动,并且向机械手控制器34连续地传输更新的导航数据,使得机械手控制器34可相应地移动机械手22,以维持切割引导件38与骨骼之间的关系。

[0155] 在一些情况下,由用户执行的手动对准足以相对于骨骼将切割引导件38放置成期望的姿态。在一些情况下,可能需要在自由模式下难以完成的额外的更精确的移动。在步骤410中,例如,用户可致动第二用户输入端(例如,操作地连接到机械手控制器34和/或导航控制器48的脚踏开关)以向控制系统提供输入来指示期望将切割引导件38从其当前姿态移动为与期望的切割平面精确对准(例如,相对于虚拟边界将切割引导件放置成期望的姿态)。响应于这种输入,机械手控制器34在步骤412中以上文描述的自主对准模式操作,并且将切割引导件38在远离骨骼的预定义距离(例如远离骨骼100mm)处对准到期望的切割平面上。一旦完成自主对准,用户就在步骤414中释放第二用户输入端,并且相对于骨骼将切割引导件38锁定在其当前姿态。

[0156] 在步骤416中,致动第一用户输入端(或另一个用户输入端)以进入触觉模式,使得机械手22从保持在6-DOF(自由度)上(其中相对于骨骼维持/保持切割引导件38的姿态)切换为能够在3-DOF上移动,即,用户能够以任何方式移动切割引导件38,只要切割引导件38保持在期望的切割平面上即可。换句话说,机械手控制器34在触觉模式下对用户施加的力和扭矩作出响应以在期望的切割平面内移动,但是不偏离切割平面。因此,由用户施加的原本会导致离开平面的任何倾斜或移离平面的任何力和扭矩都将被忽略。这可通过以下方式来完成:对由力/扭矩传感器60测量的原本会导致这种不期望的运动的任何用户施加的力和扭矩进行归零并且仅对这些力和扭矩中处于期望的切割平面的分量(即在平面方向上的力以及在平面中的旋转)作出响应。借助于以触觉模式操作,用户能够将切割引导件38移动到初始引导位置或更靠近骨骼的其他类似的位置。当用户释放第一用户输入端(或其他输入端)时,在步骤418中再次相对于骨骼保持机械手22。在步骤420中,用户之后可通过例如如图5C和图5D所示相对于切割引导件38放置切割工具40来用切割工具40在骨骼中进行初始切割。

[0157] 在一些型式中,可在初始引导位置处进行整个切割。在其他型式中,远离骨骼重新定位切割引导件38来继续进行平面切割。例如,在步骤422中,用户可致动第一用户输入端以再次进入触觉模式以及相关联的3-DOF移动,以将切割引导件38移动到间隔开的引导位置,诸如图5E所示。当释放第一用户输入端时,在步骤424中,机械手22再次相对于骨骼将切割引导件38保持在6-DOF上。在步骤426中,用户之后可完成对骨骼进行必要的切割。

[0158] 在一些型式中,切割引导件38可具有以下这样的尺寸(例如,相对小的尺寸),用户可能需要这种尺寸来从外侧以及内侧切割引导位置开始在期望的切割平面内横向地移动切割引导件38(例如,比较图8D、图8E),使得切割工具40能够到达待移除的骨骼的整个体积。这可通过经由第一用户输入端转变为触觉模式以允许切割引导件38在期望的切割平面上横向移动(例如,从图8D所示的位置到图8E的位置)来完成。如上文所描述,虚拟边界的大小可被设定为使得切割引导件38可在期望的切割平面内横向地移动,但是在预定义限制内(例如,使得切割工具40不会伸出患者特定切割边界PSCB)。

[0159] 一旦完成切割,可在步骤428中再次致动第一用户输入端以转变为触觉模式,使得用户可将切割引导件38远离骨骼退回,直到切割引导件38到达出口点为止,在所述出口点处,切割引导件38退出与期望的切割平面相关联的虚拟边界。另外地或替代地,一旦用户将切割引导件38从骨骼退回至少预定义距离,例如150mm,就可禁用虚拟边界并且诸如在步骤430中,机械手控制器34可自动地进入自由模式,并且用户之后可在步骤432中手动地将切割引导件38与下一个期望的切割平面对准。

[0160] 在前文描述中已经论述了若干实施方案。然而,本文论述的实施方案不意图是穷尽的,或将本发明限制于任何特定形式。已经使用的术语意图在本质上是描述性而非限制性的字词。鉴于以上教导,许多修改和变化是可能的,并且本发明可以不同于具体描述的其他方式来实践。

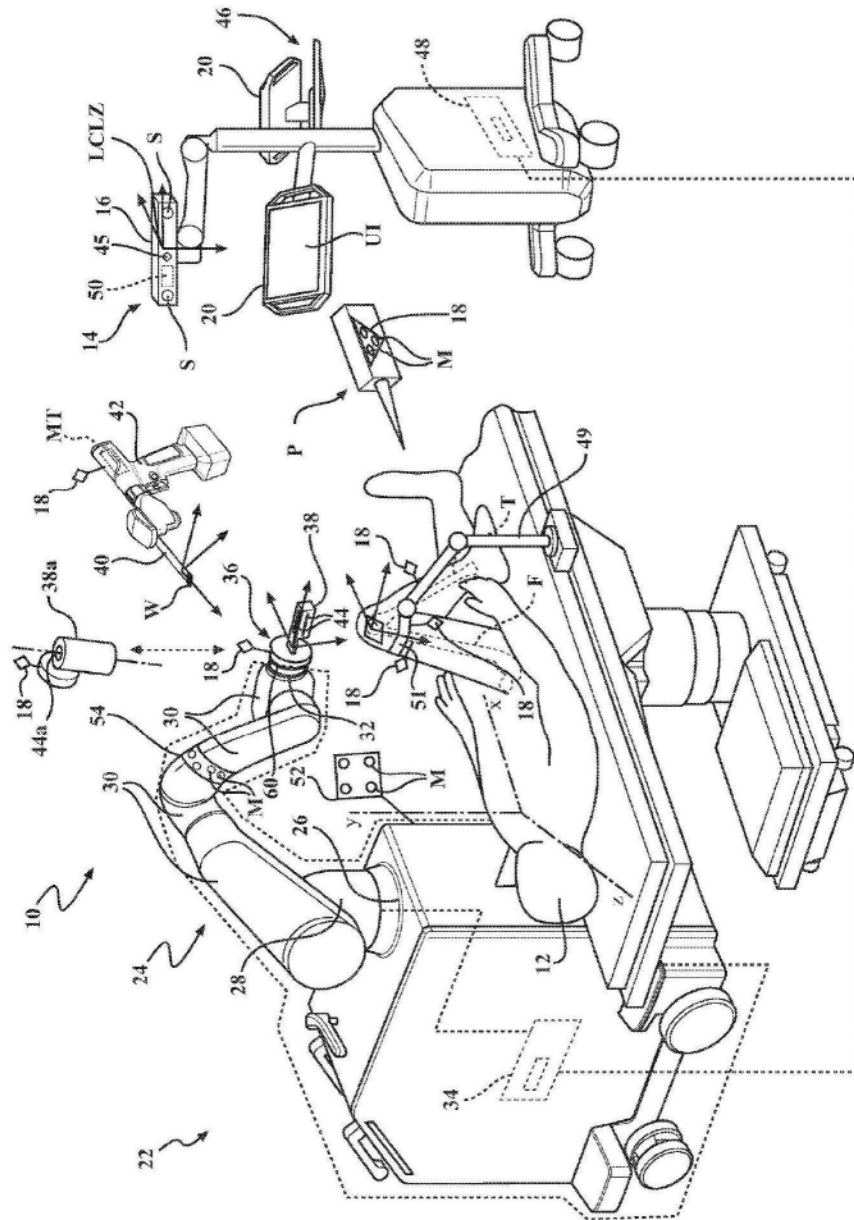


图1

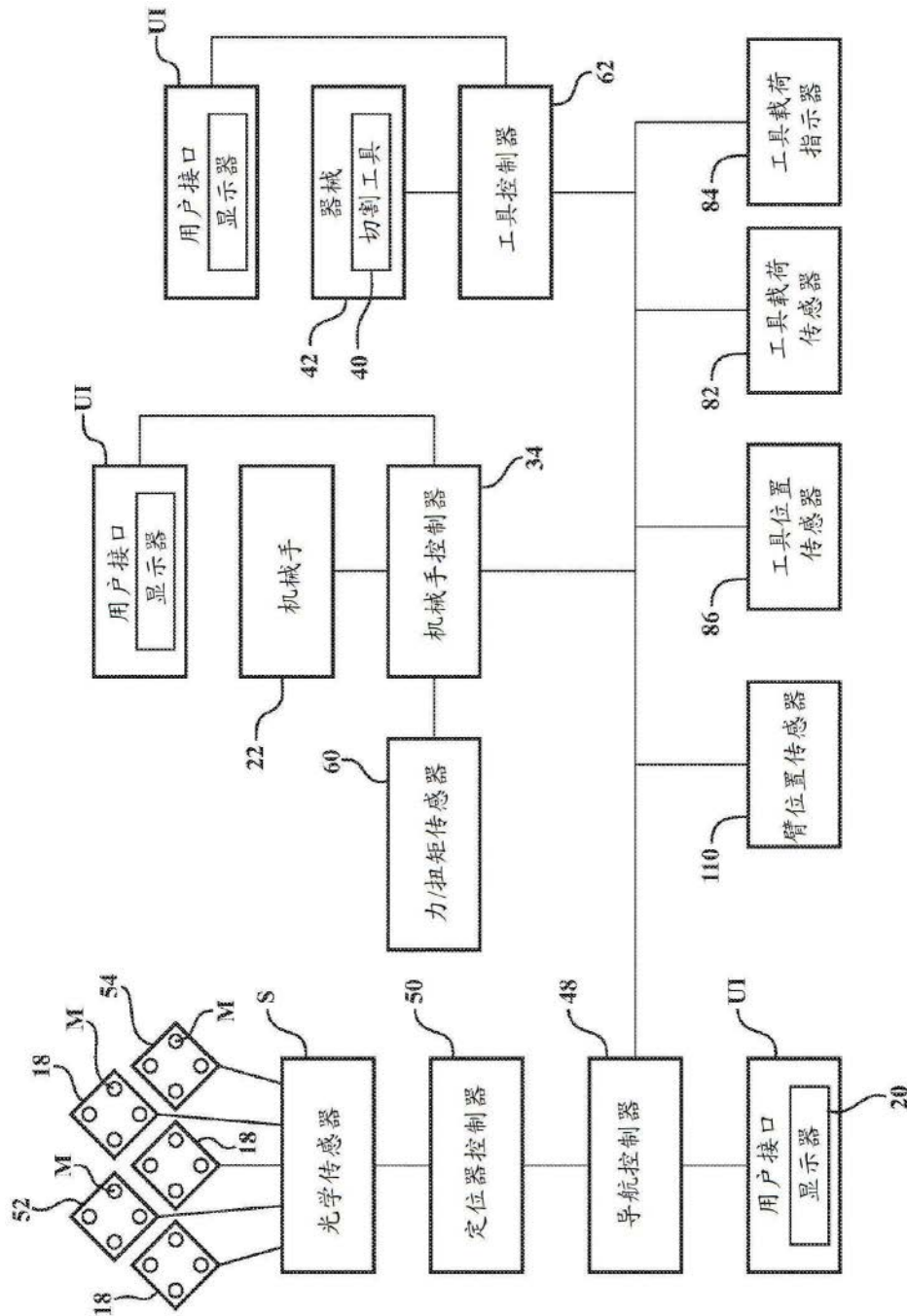


图2

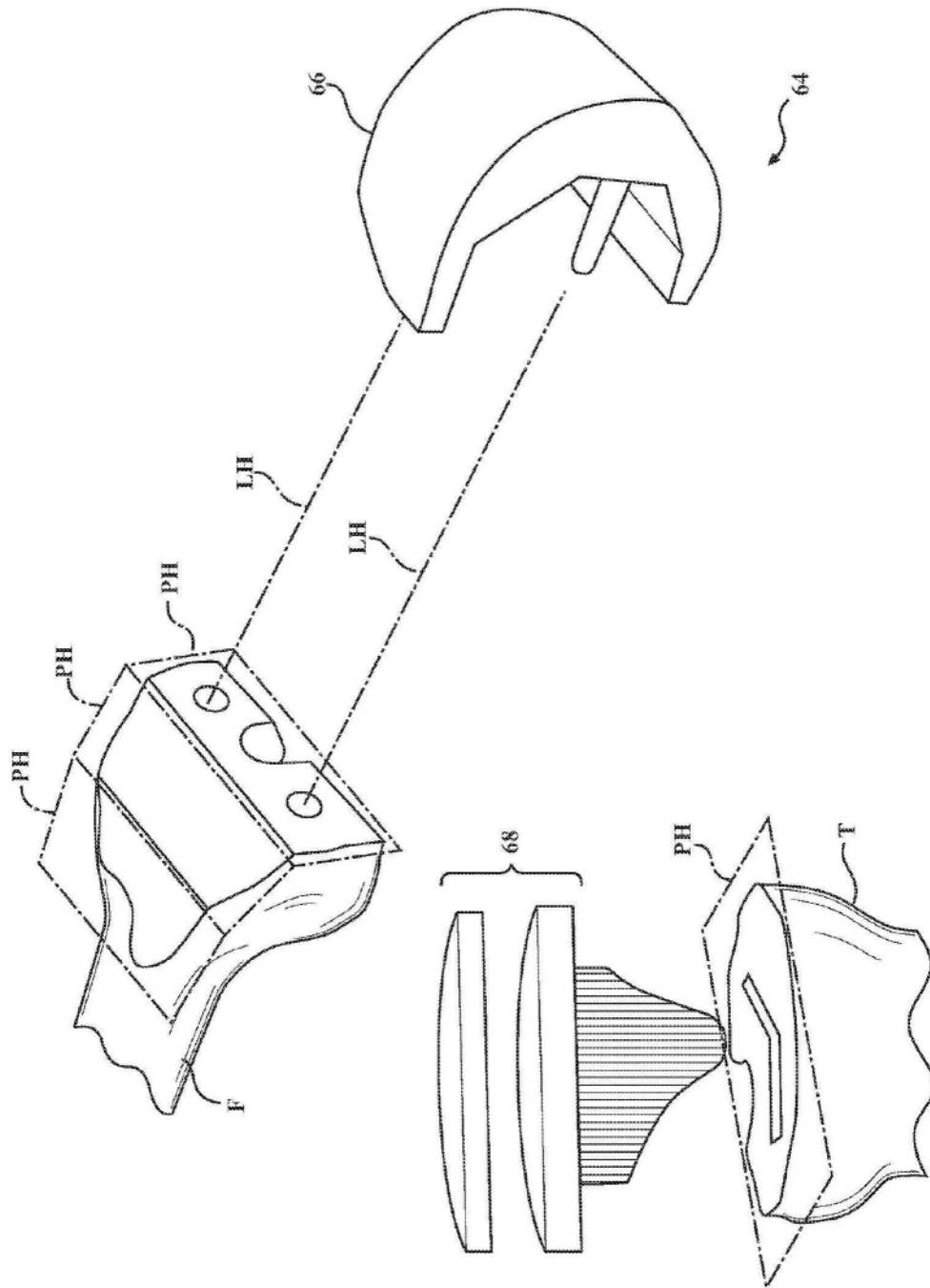


图3

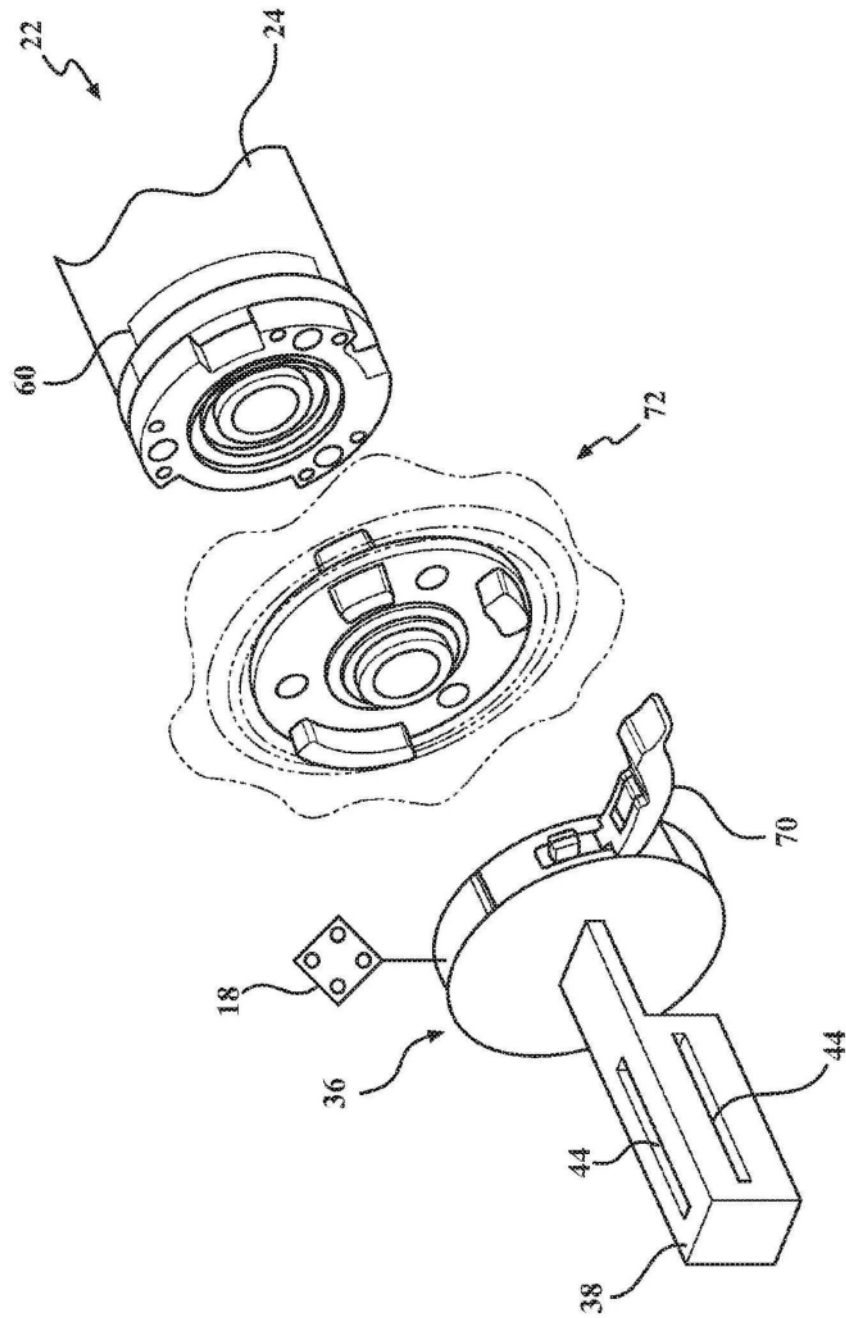


图4A

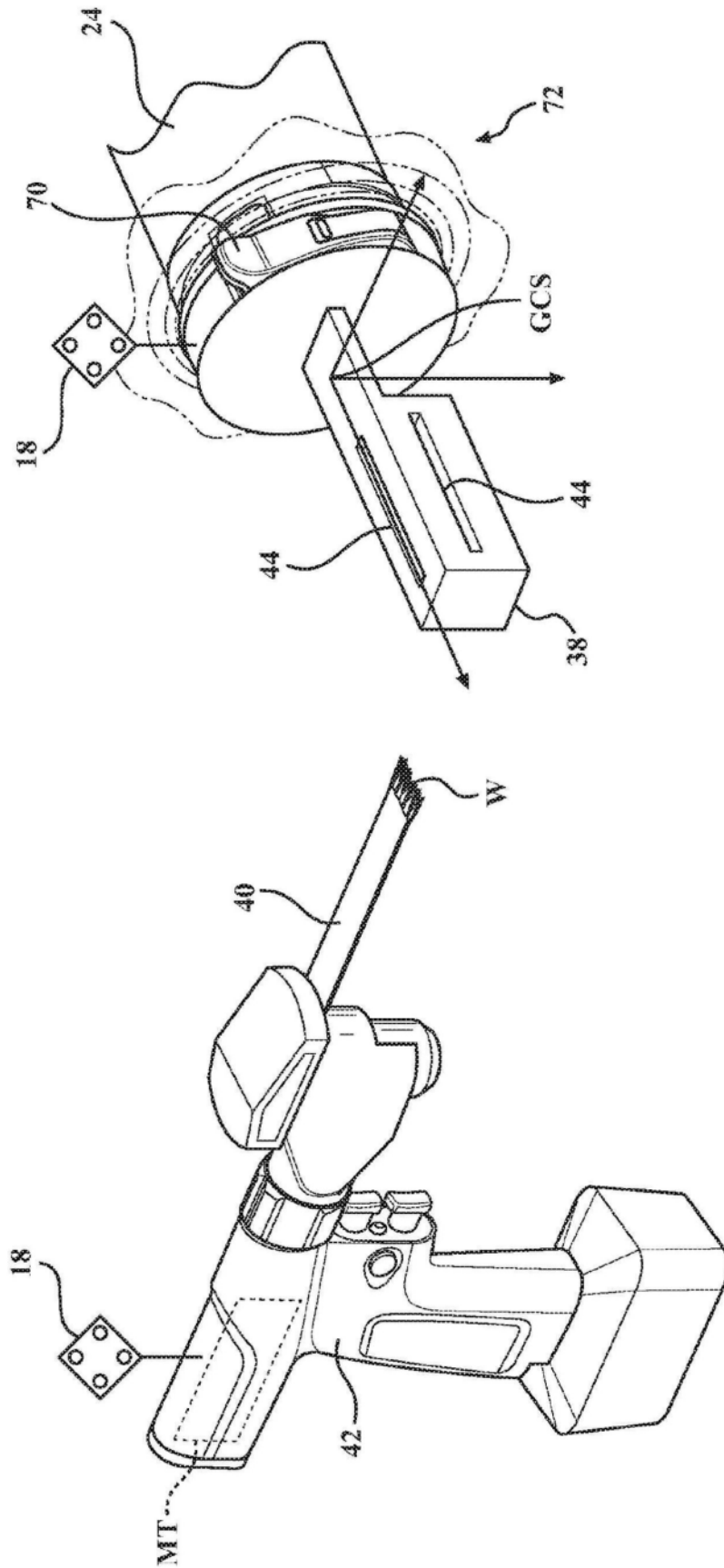


图4B

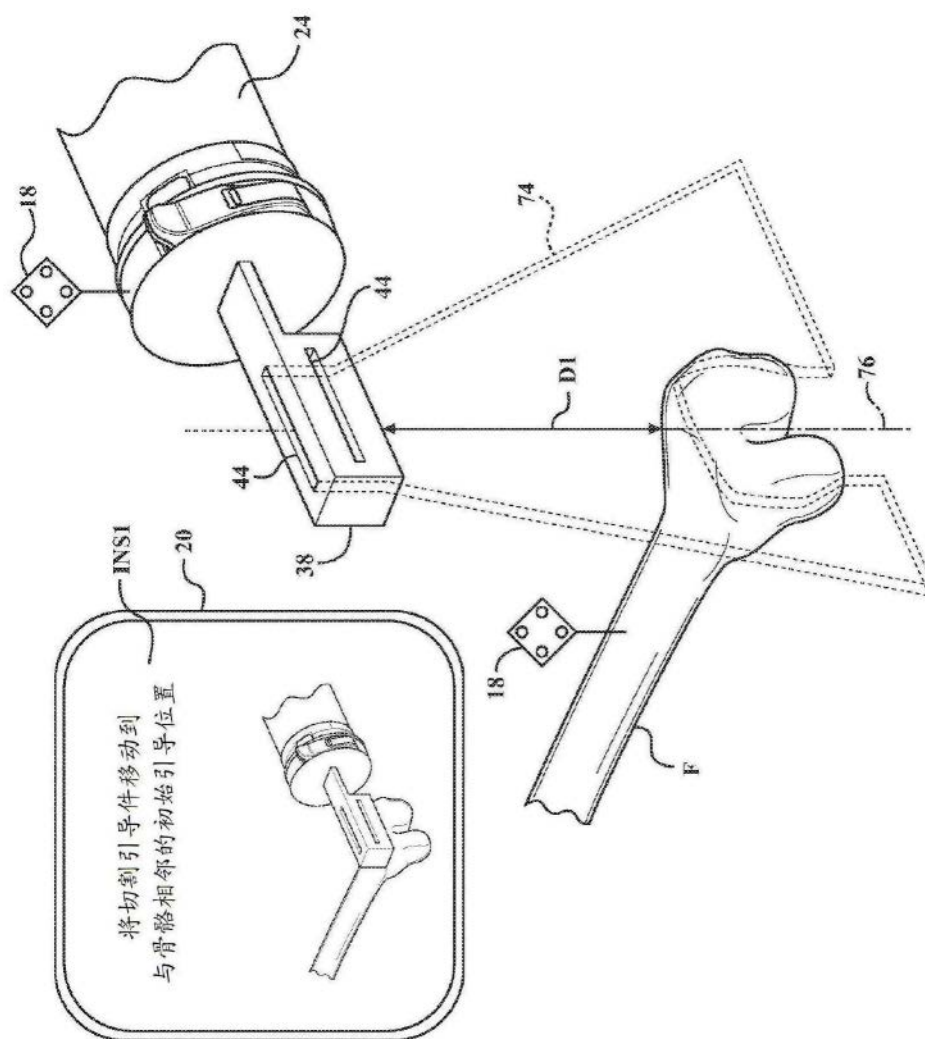


图5A

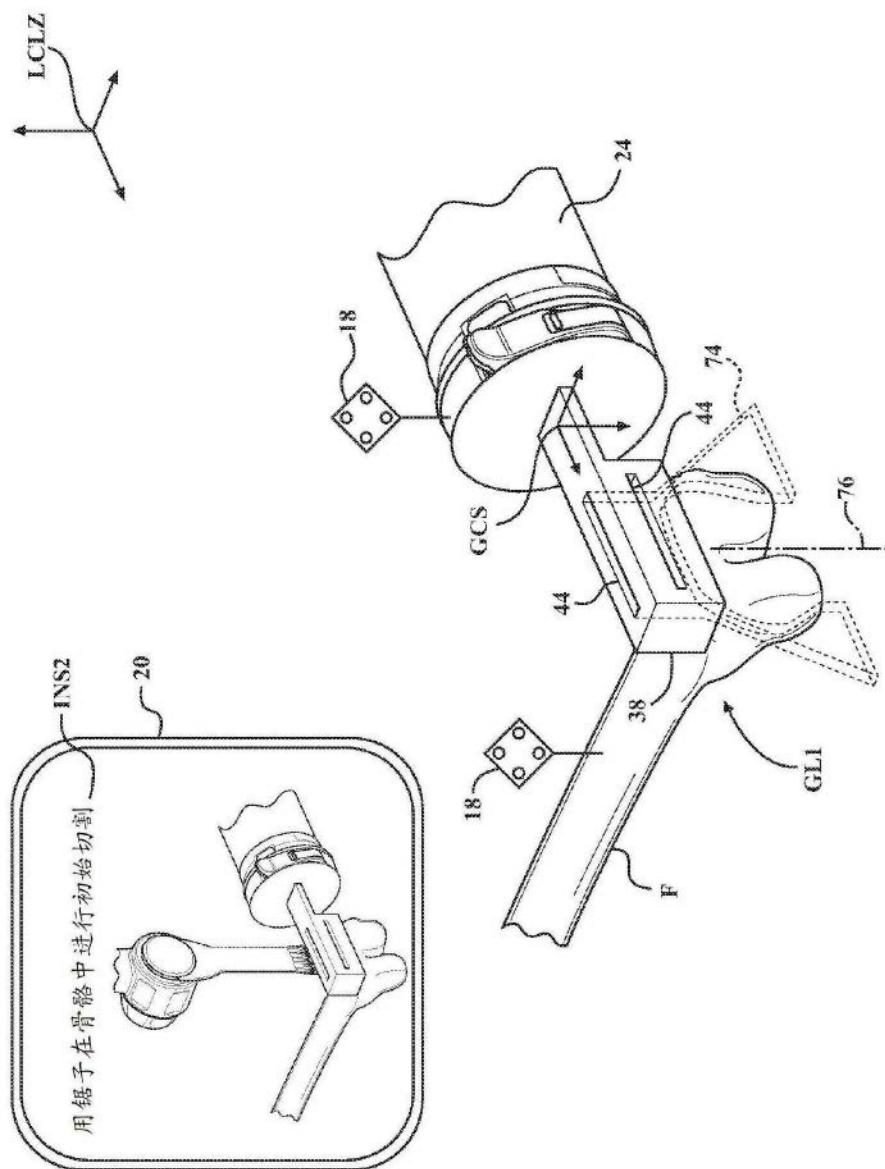


图5B

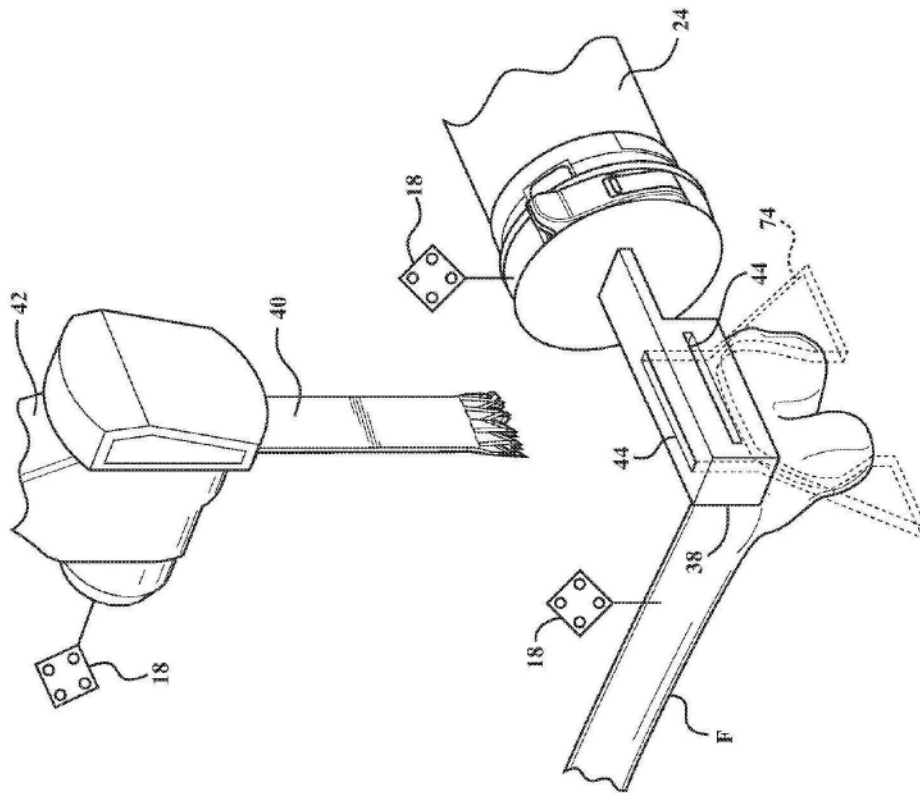


图5C

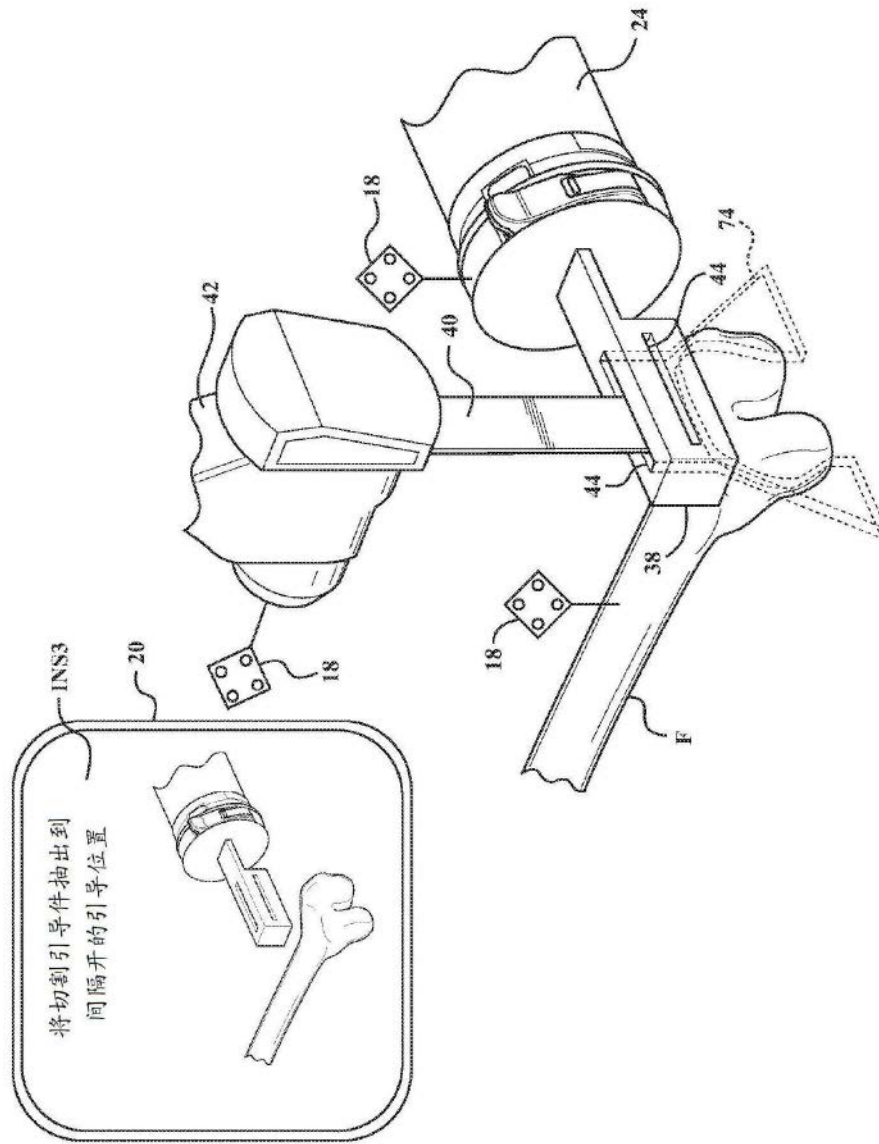


图5D

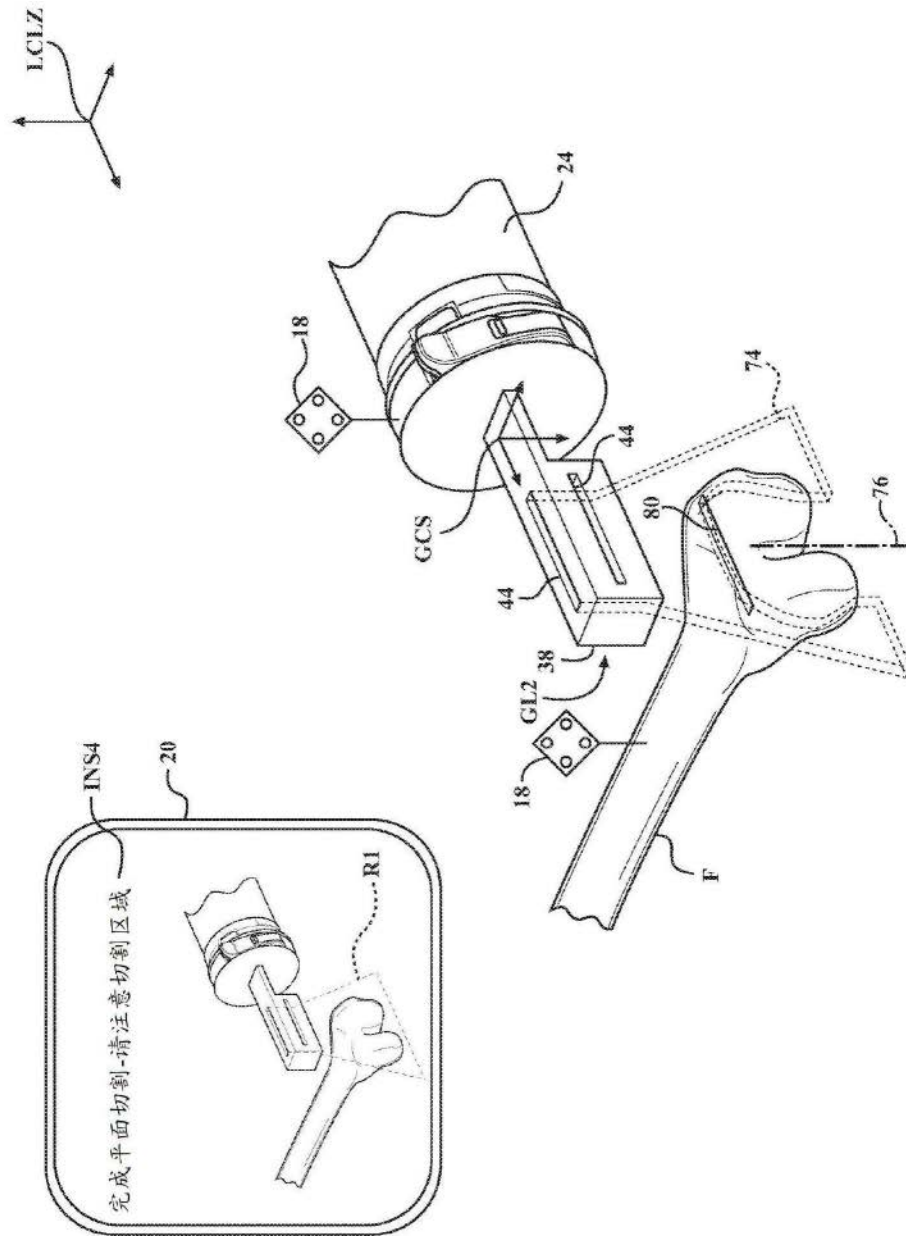


图5E

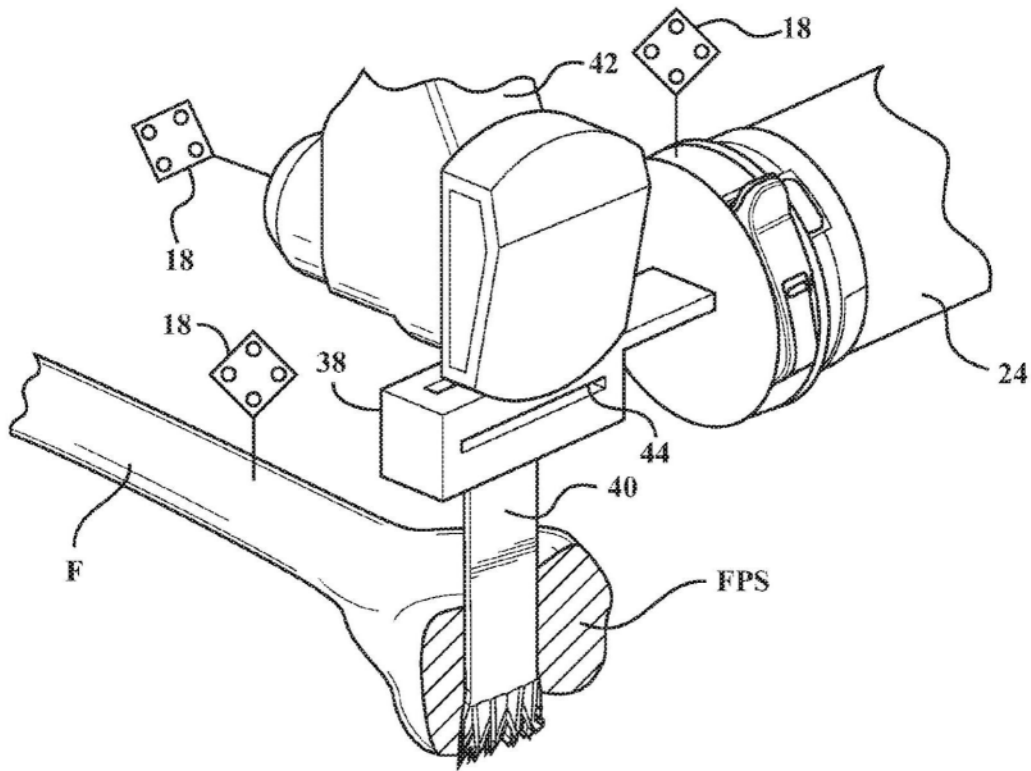


图5F

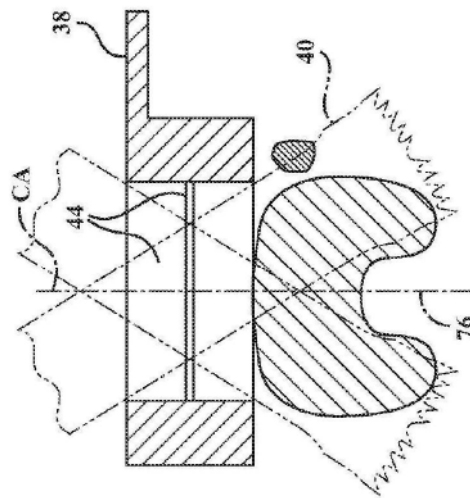


图6A

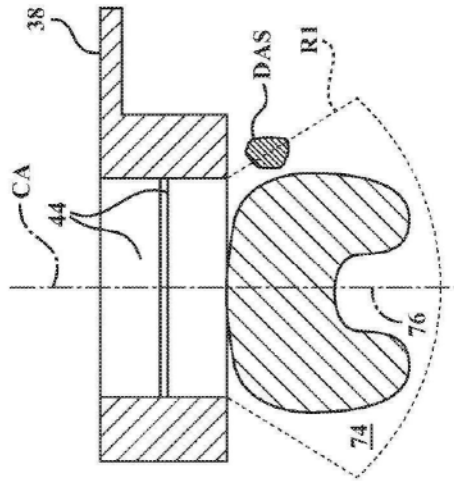


图6B

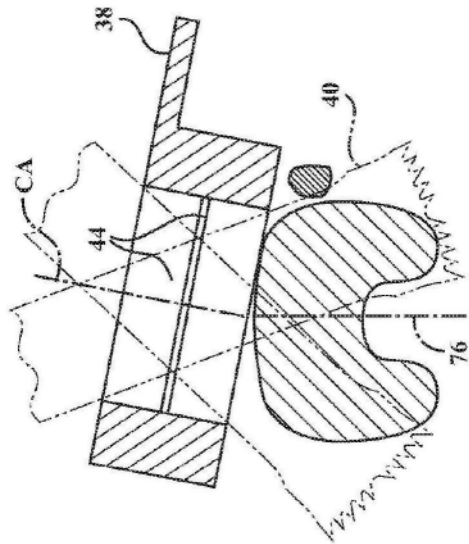


图7A

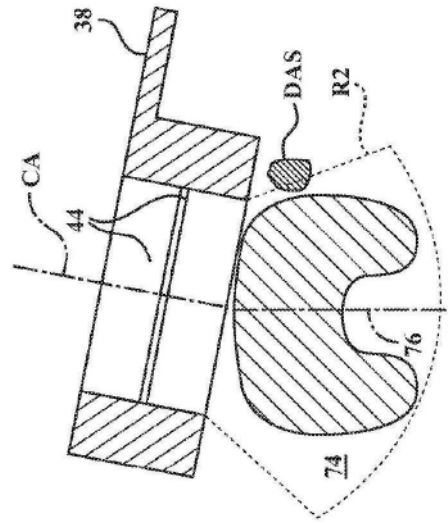


图7B

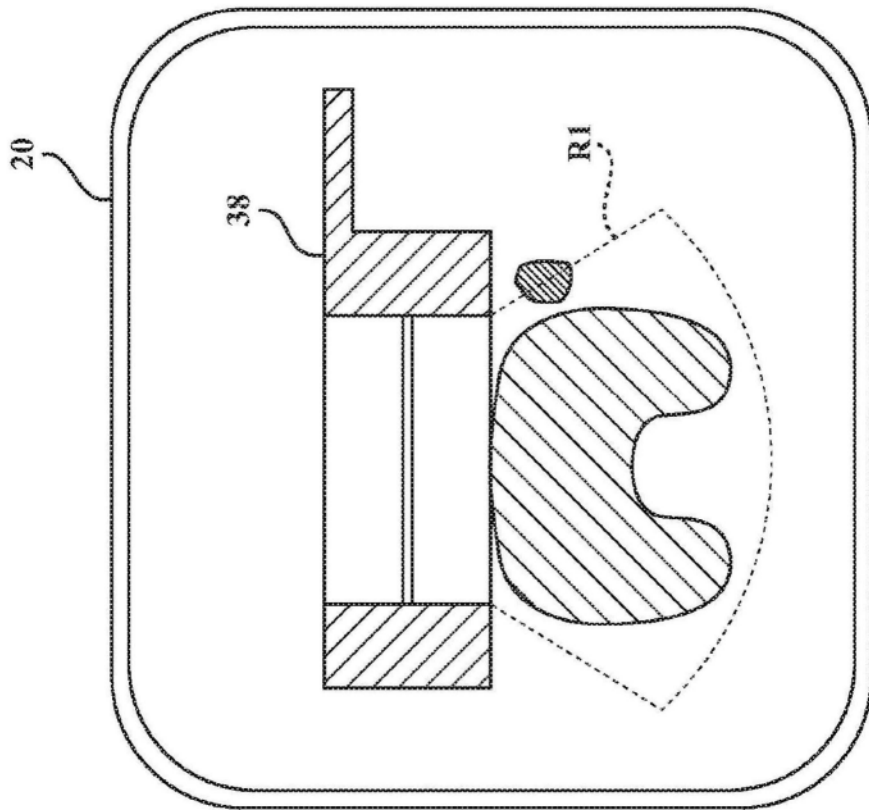


图8A

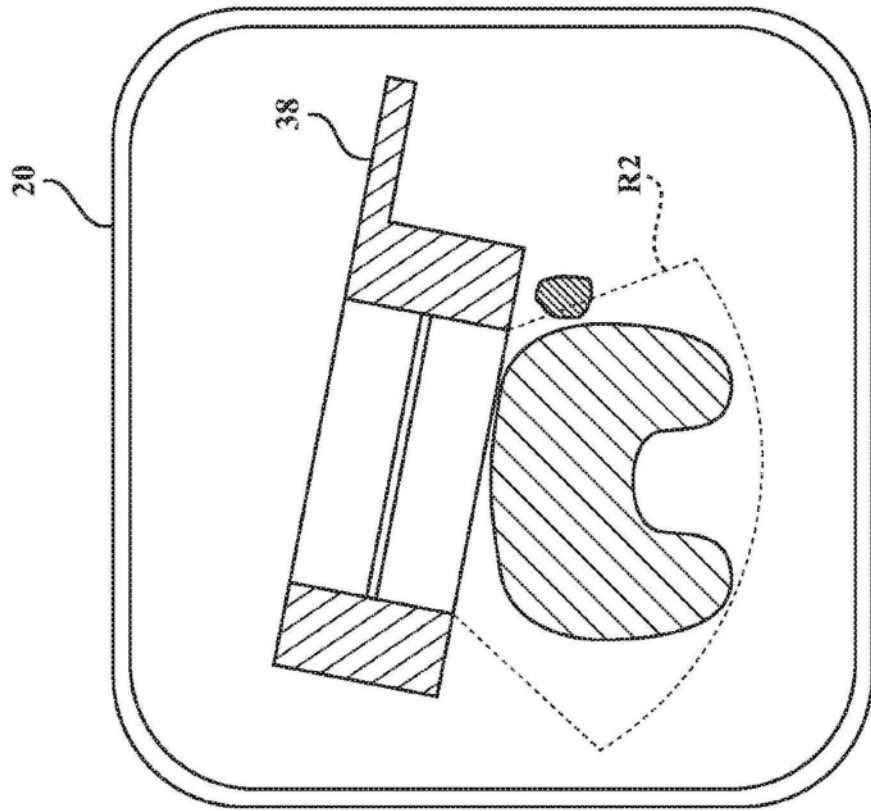


图8B

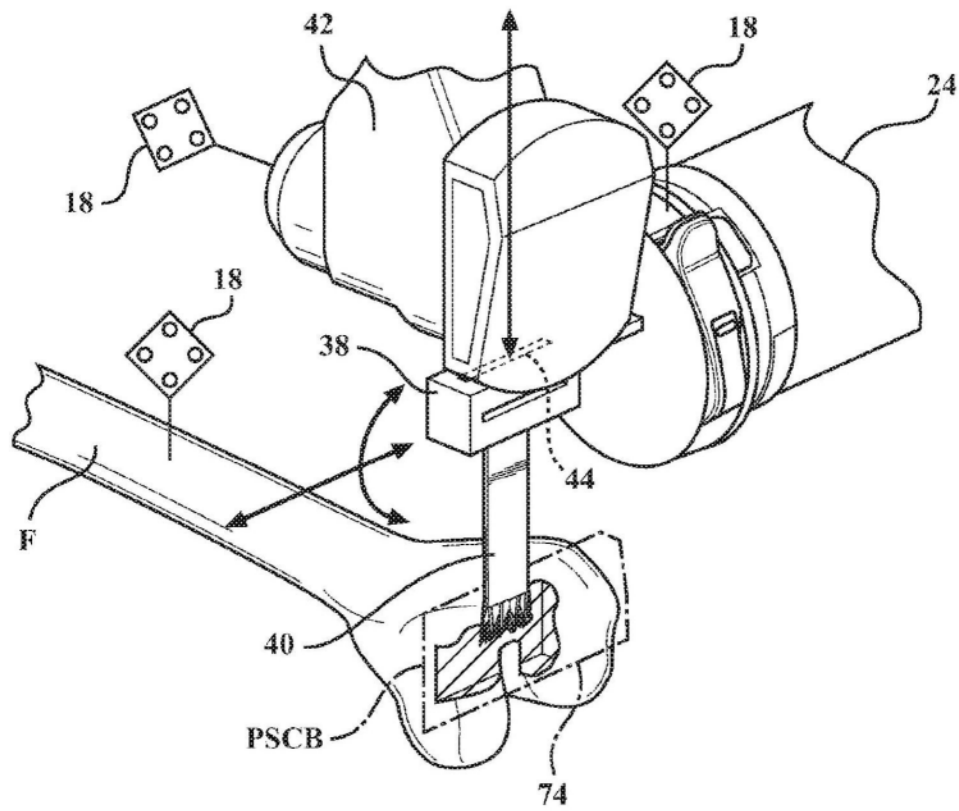


图8C

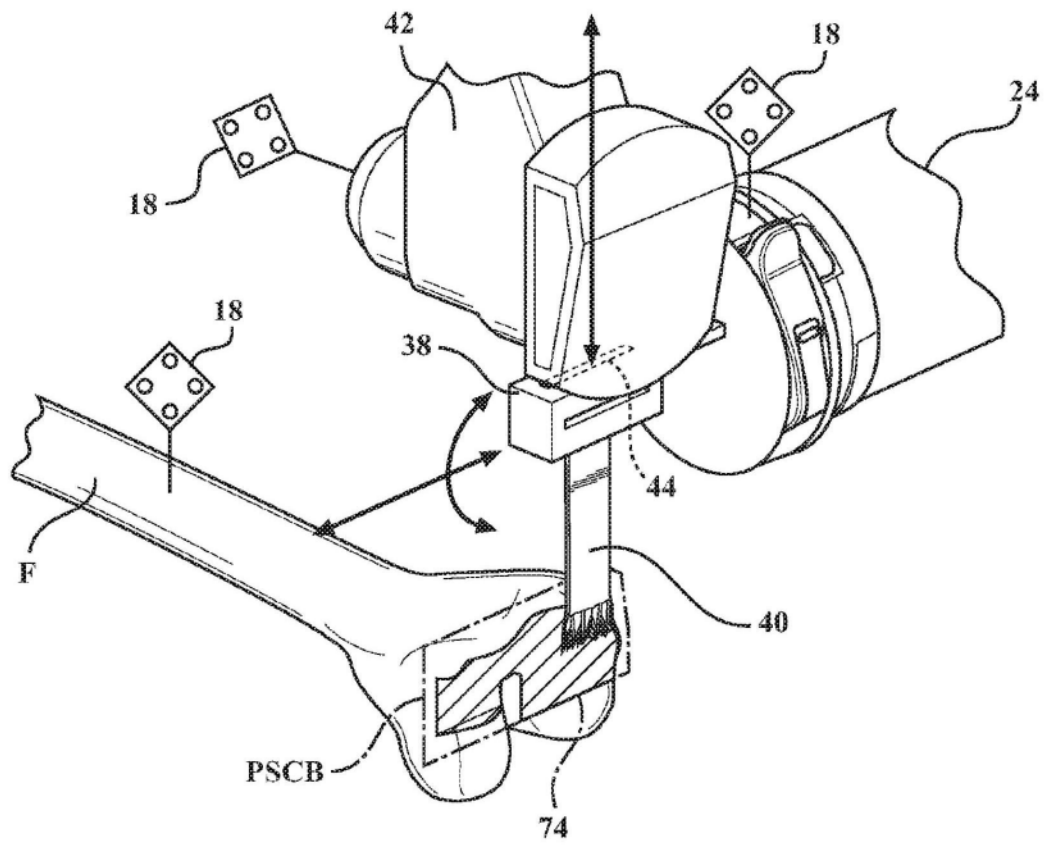


图8D

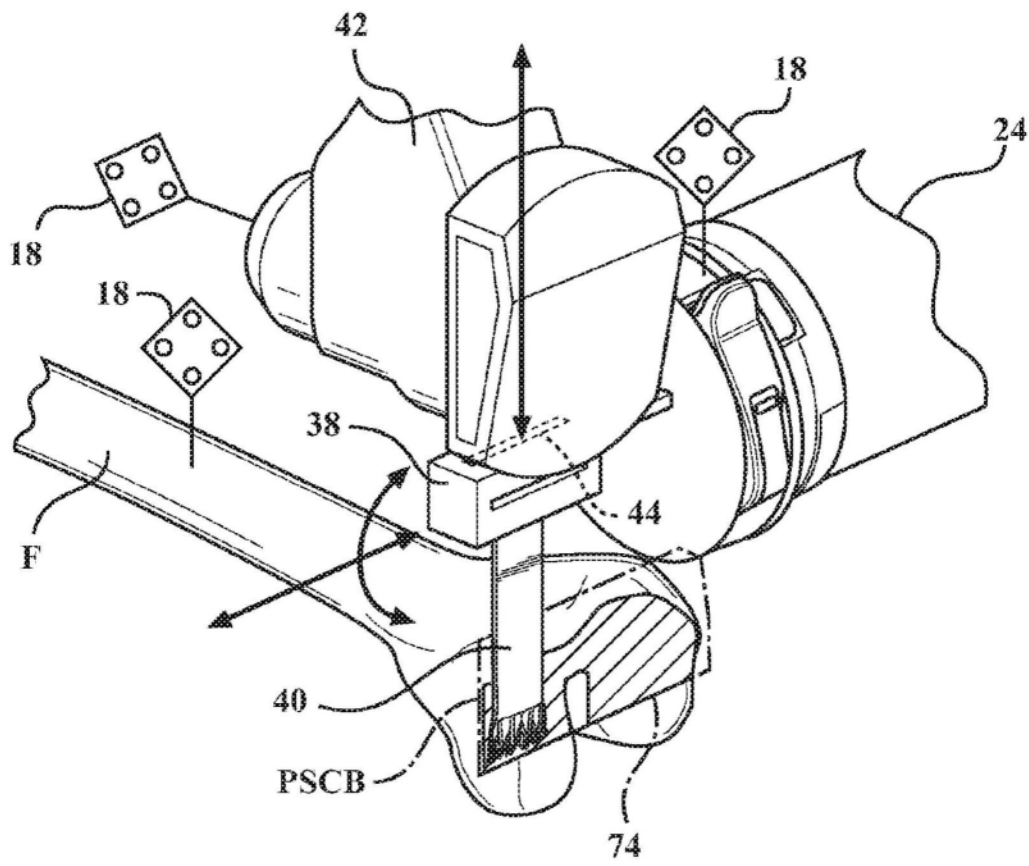


图8E

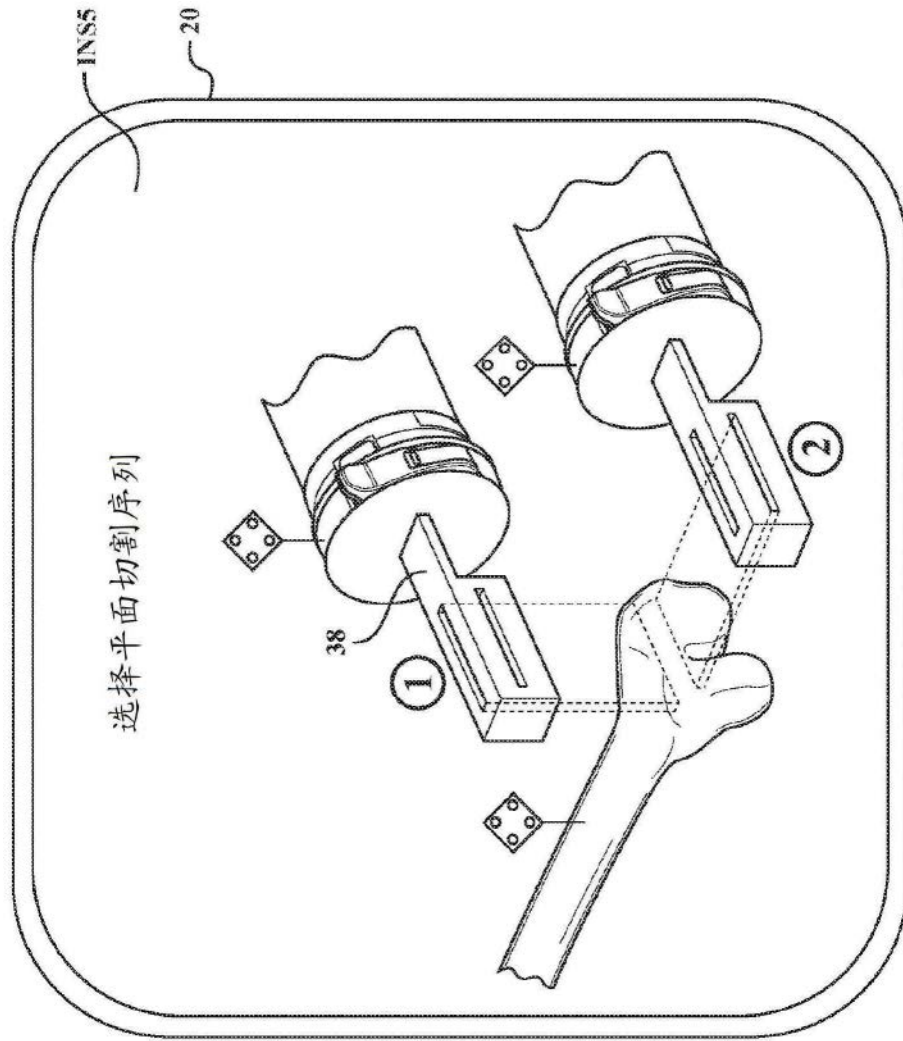


图9

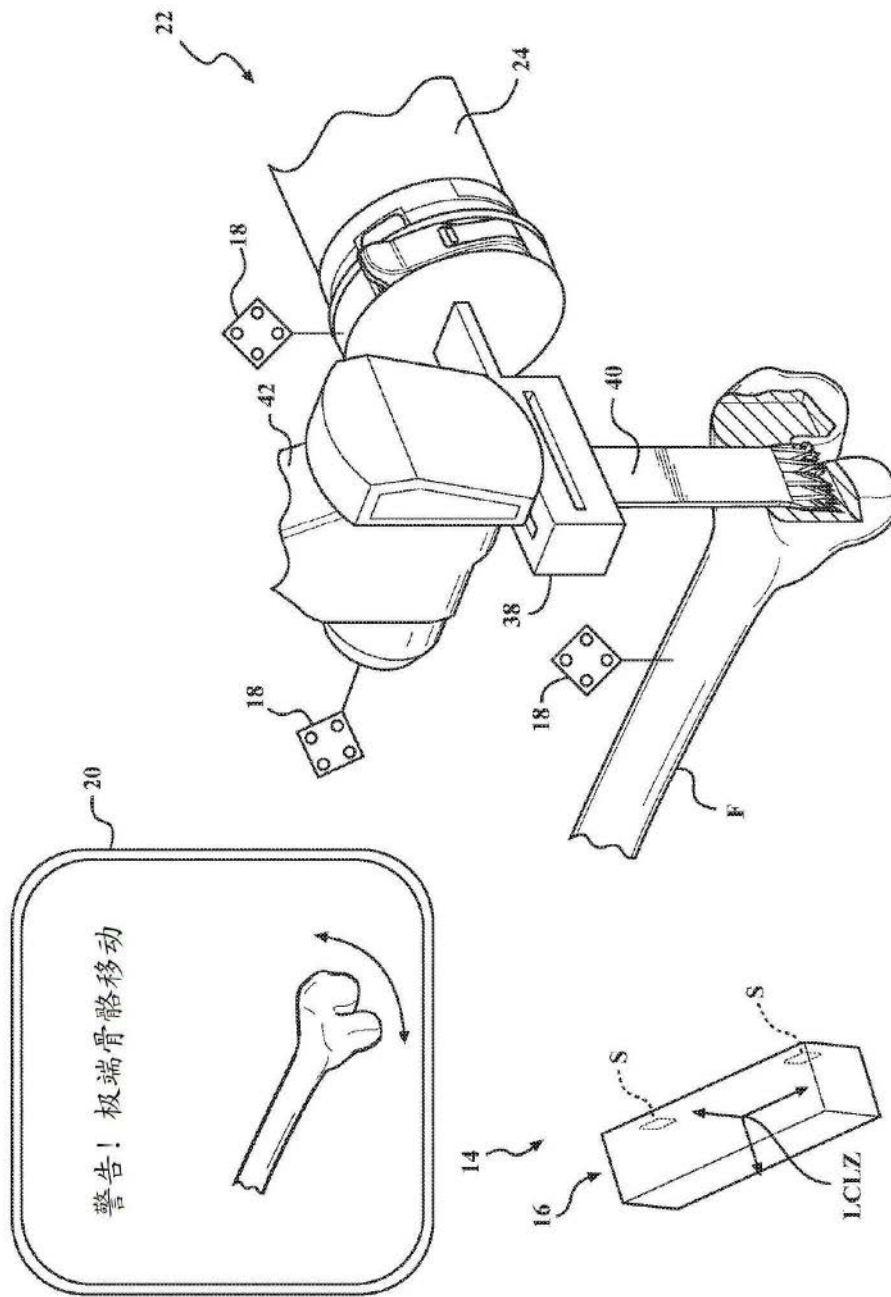


图10

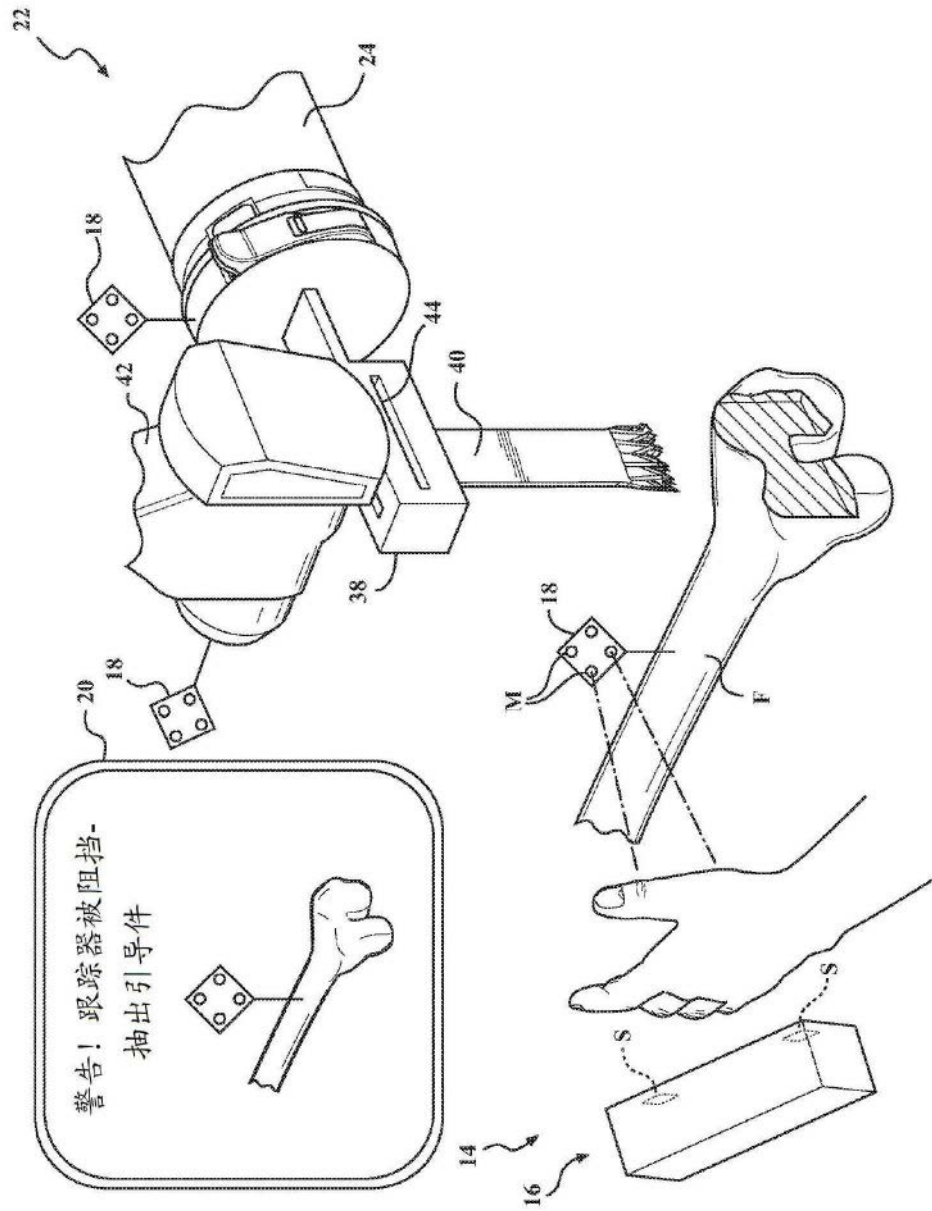


图11

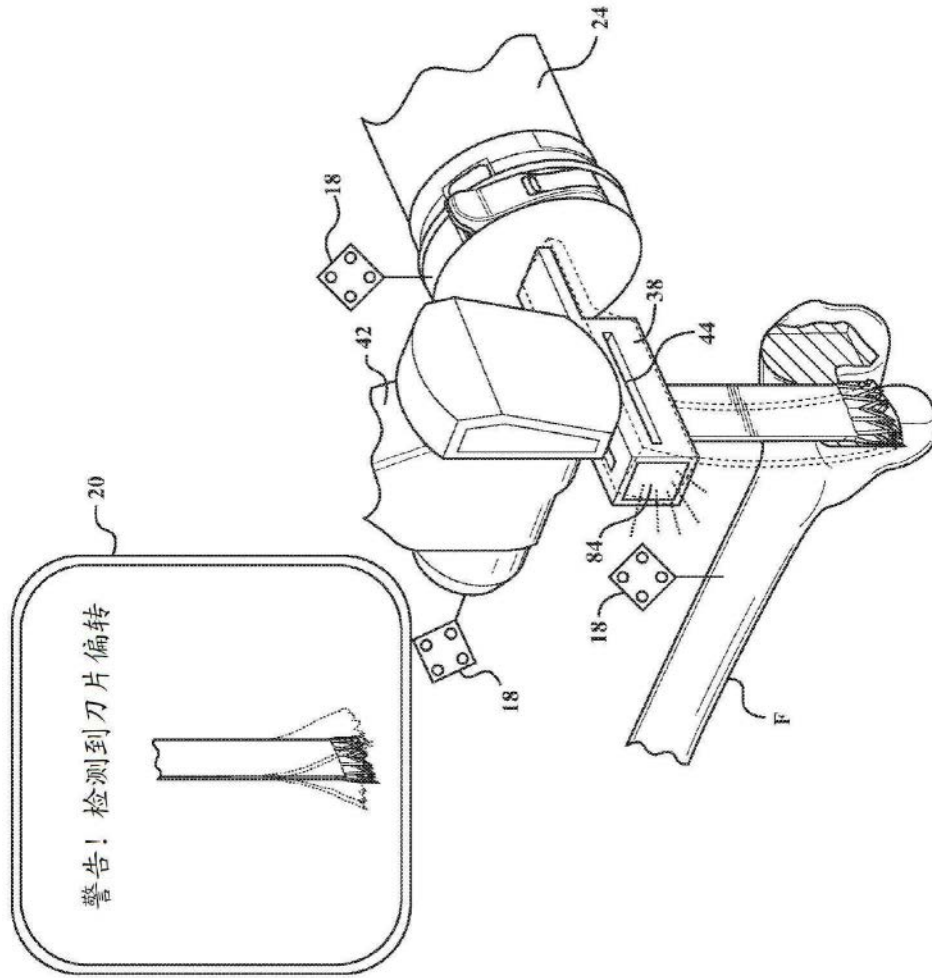


图12

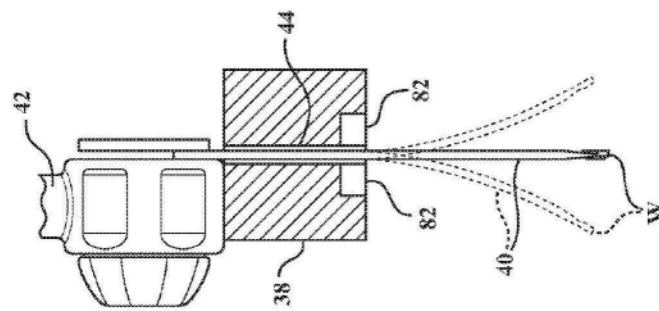


图13

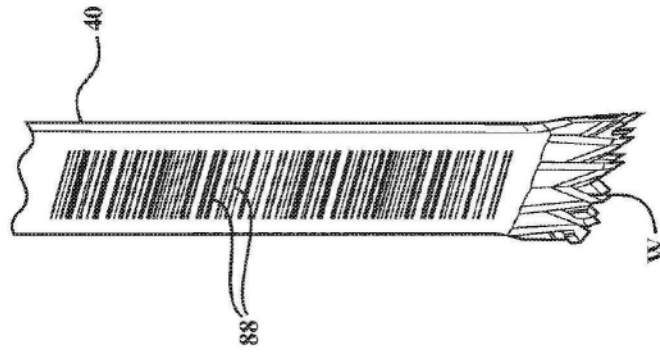


图14

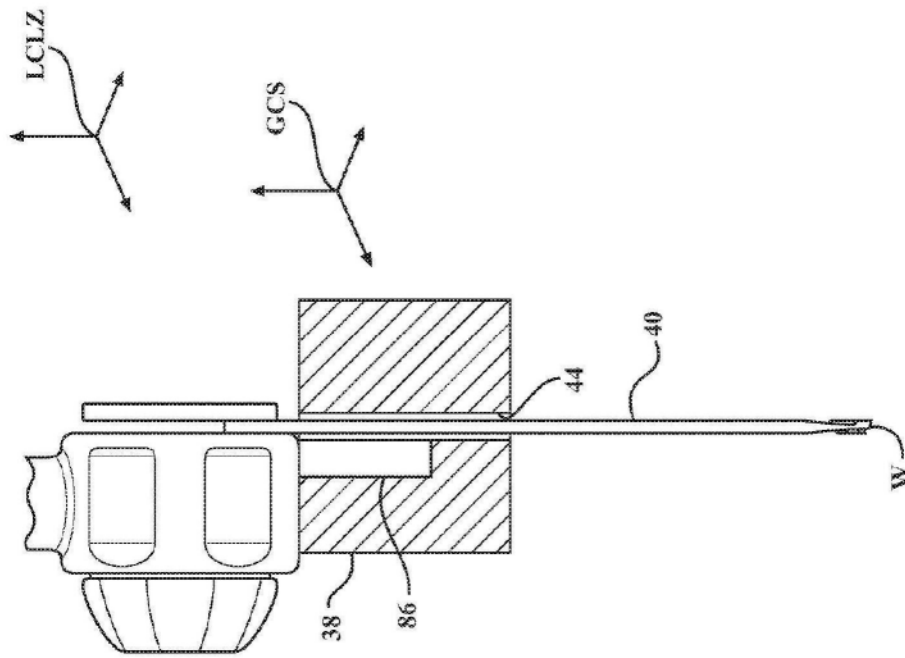


图15

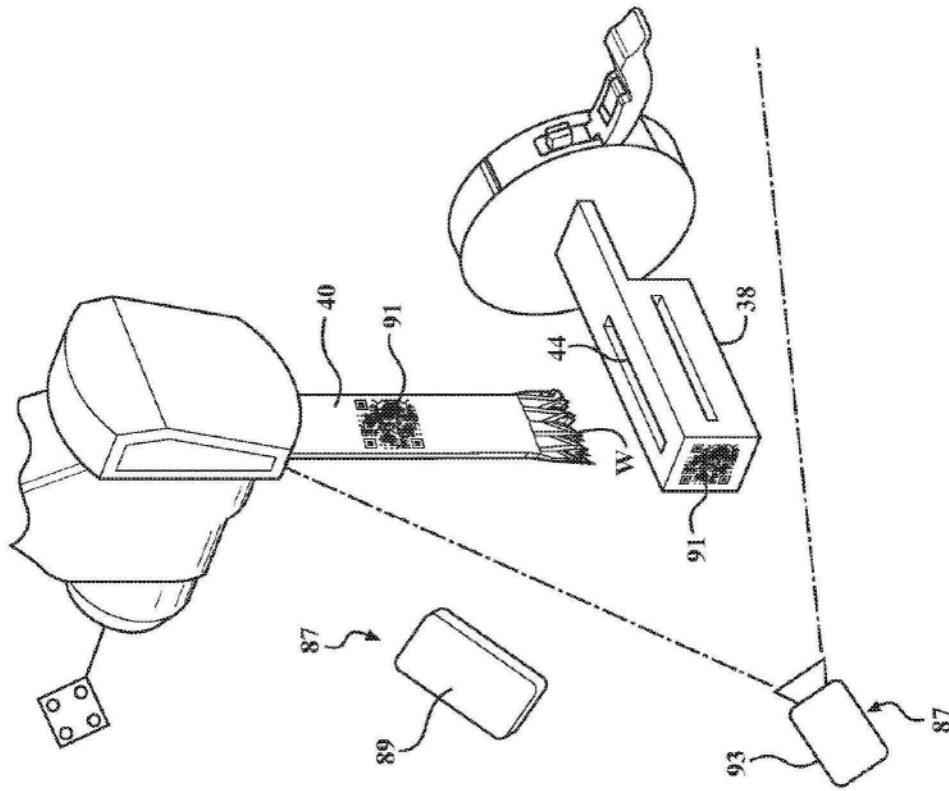


图15A

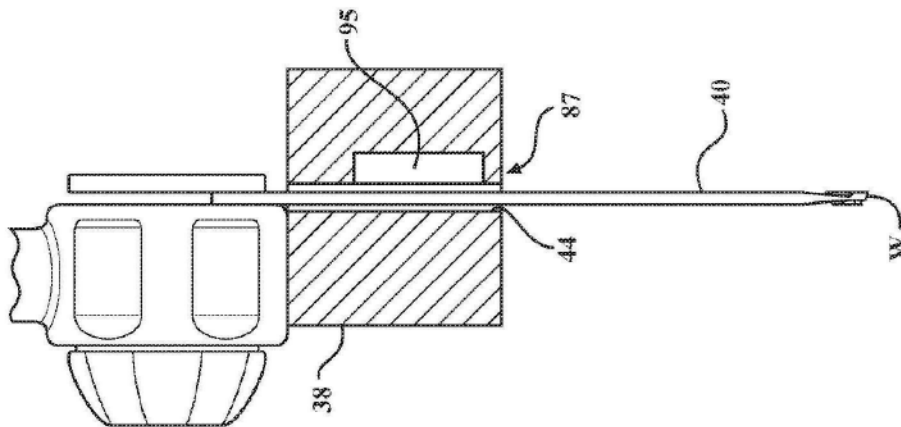


图15B

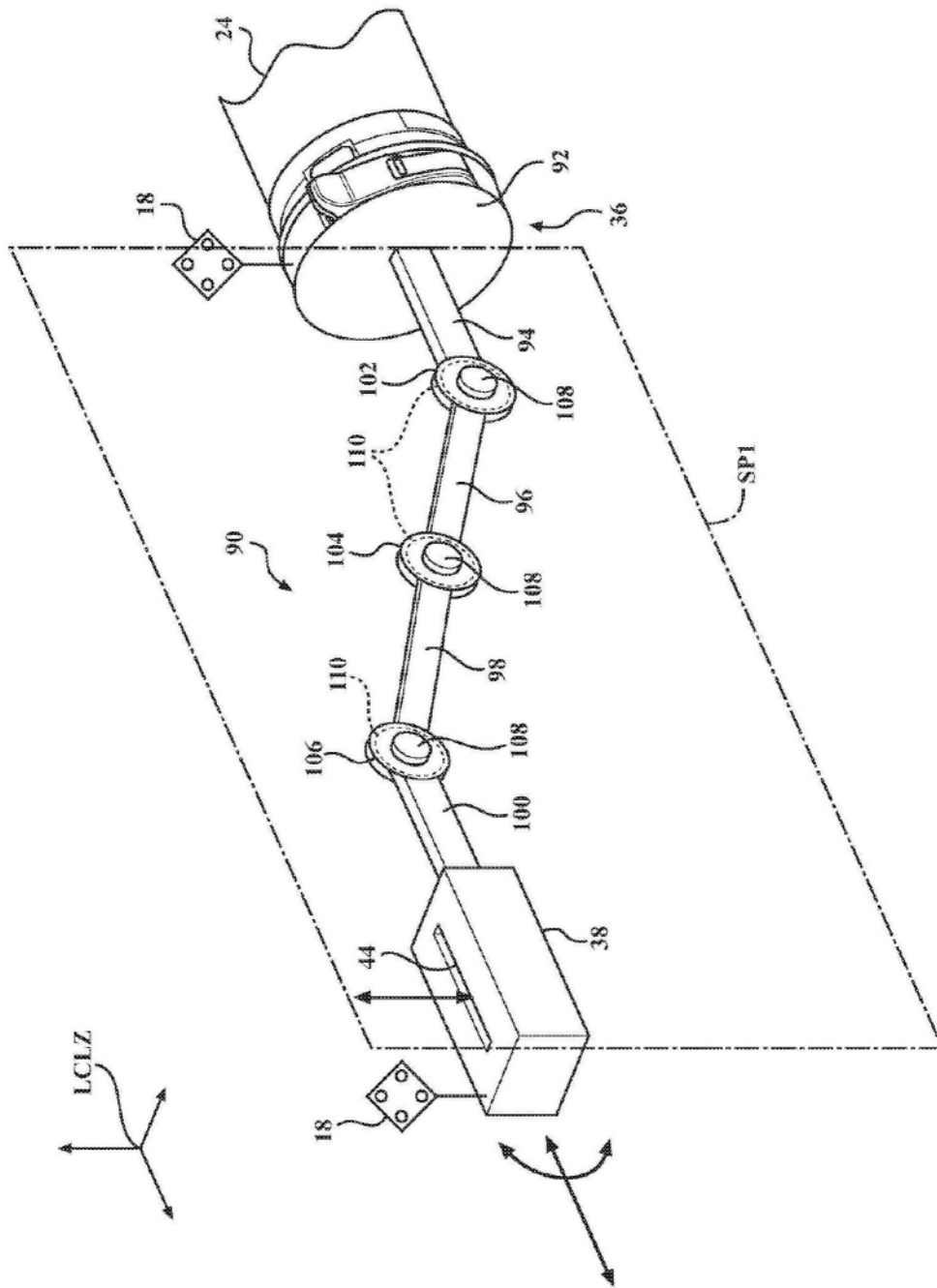


图16

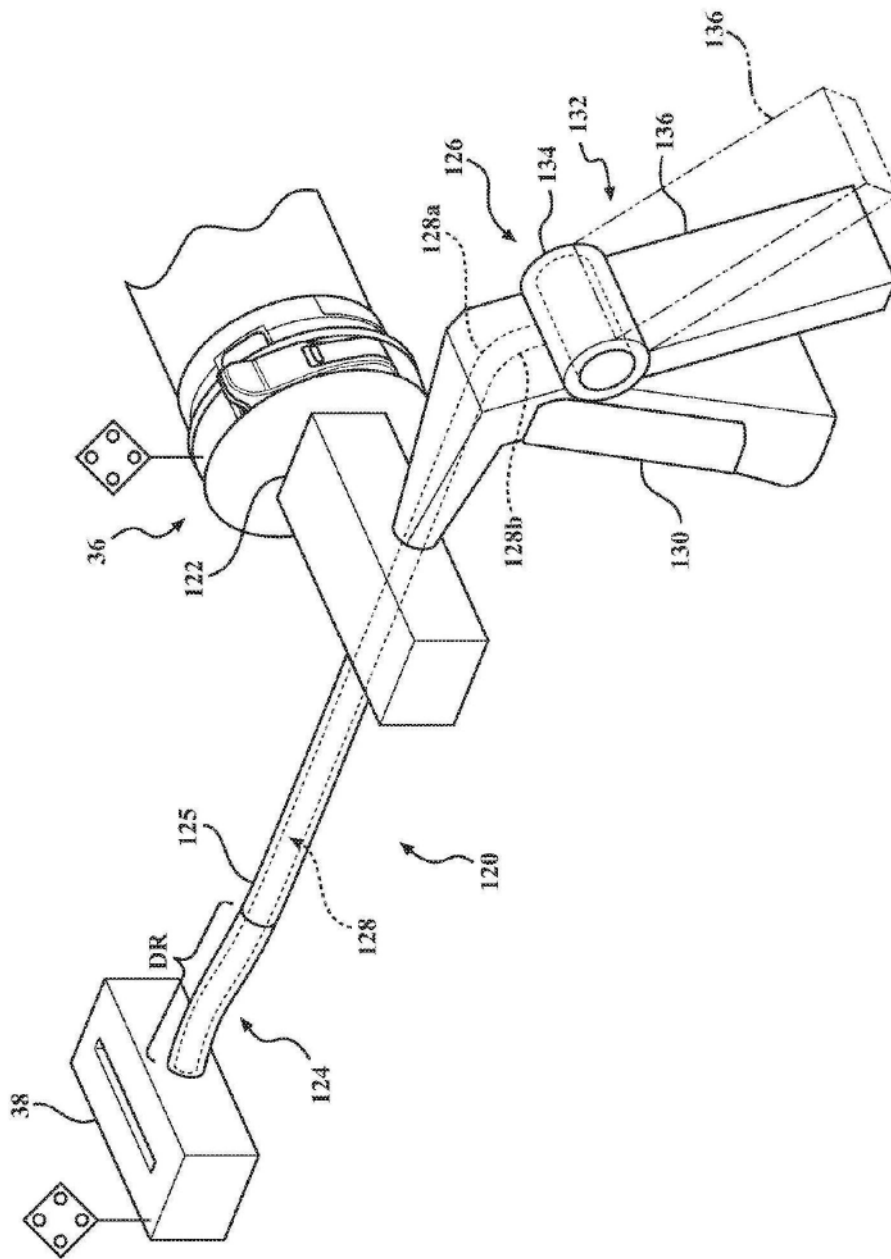


图16A

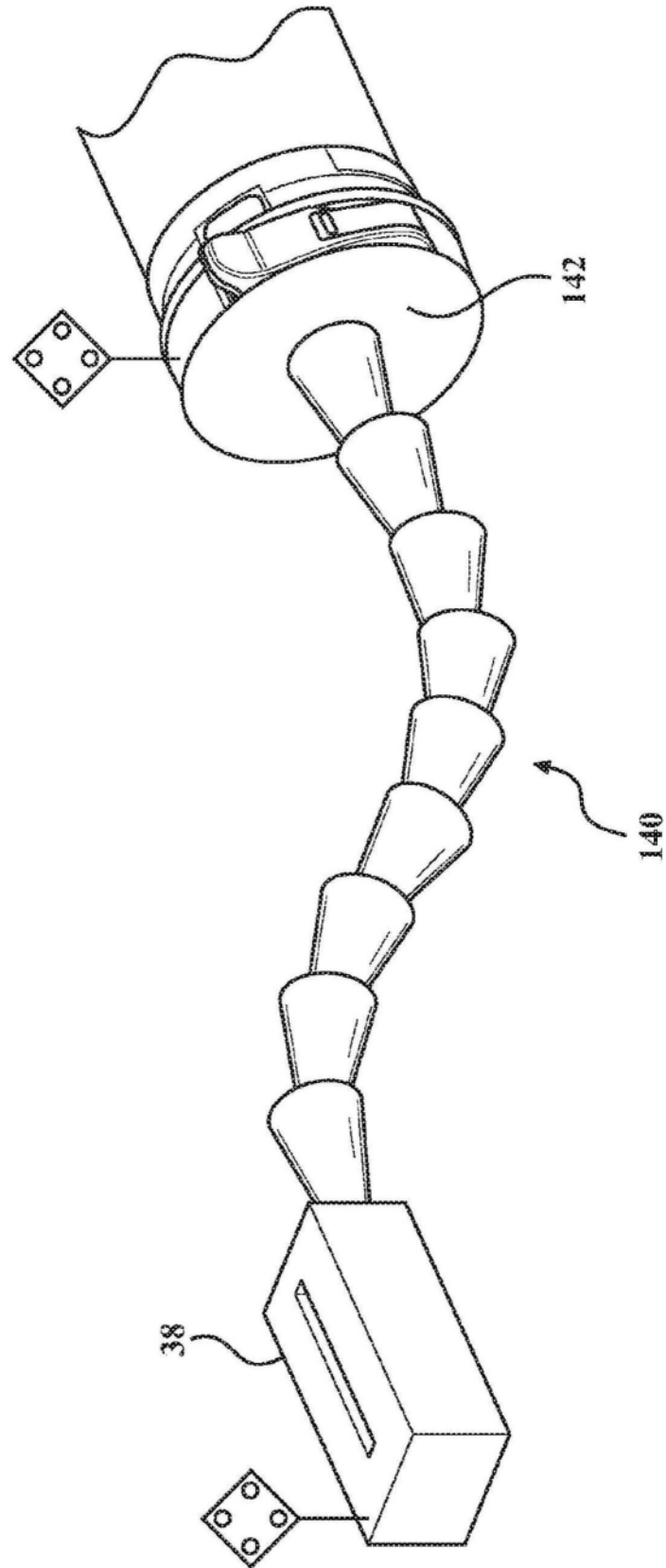


图16B

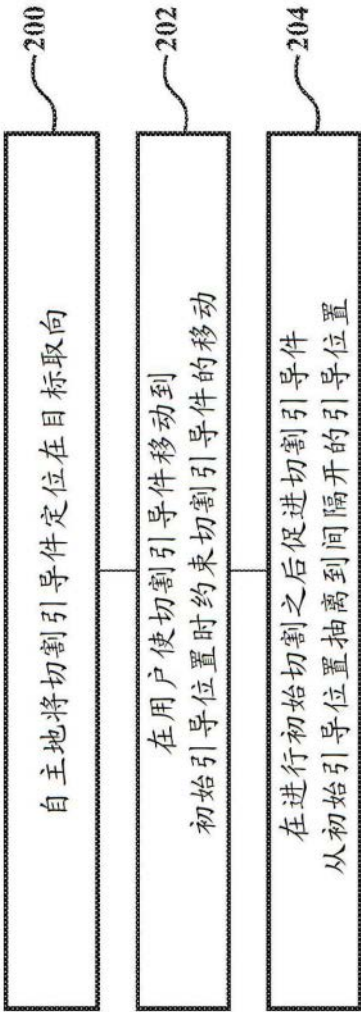


图17

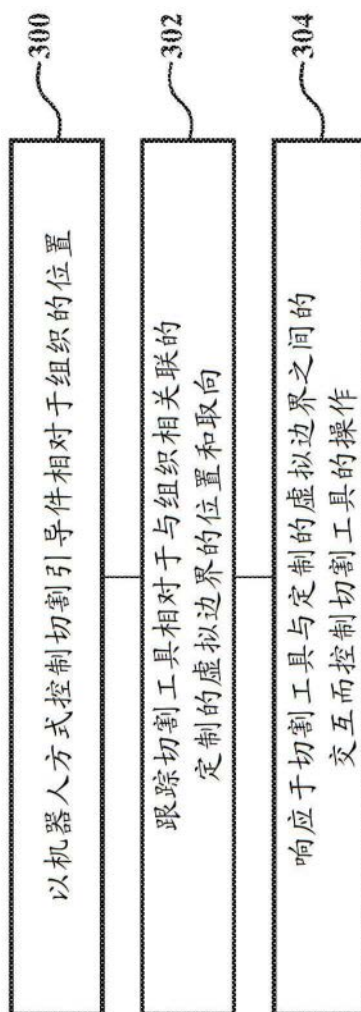


图18

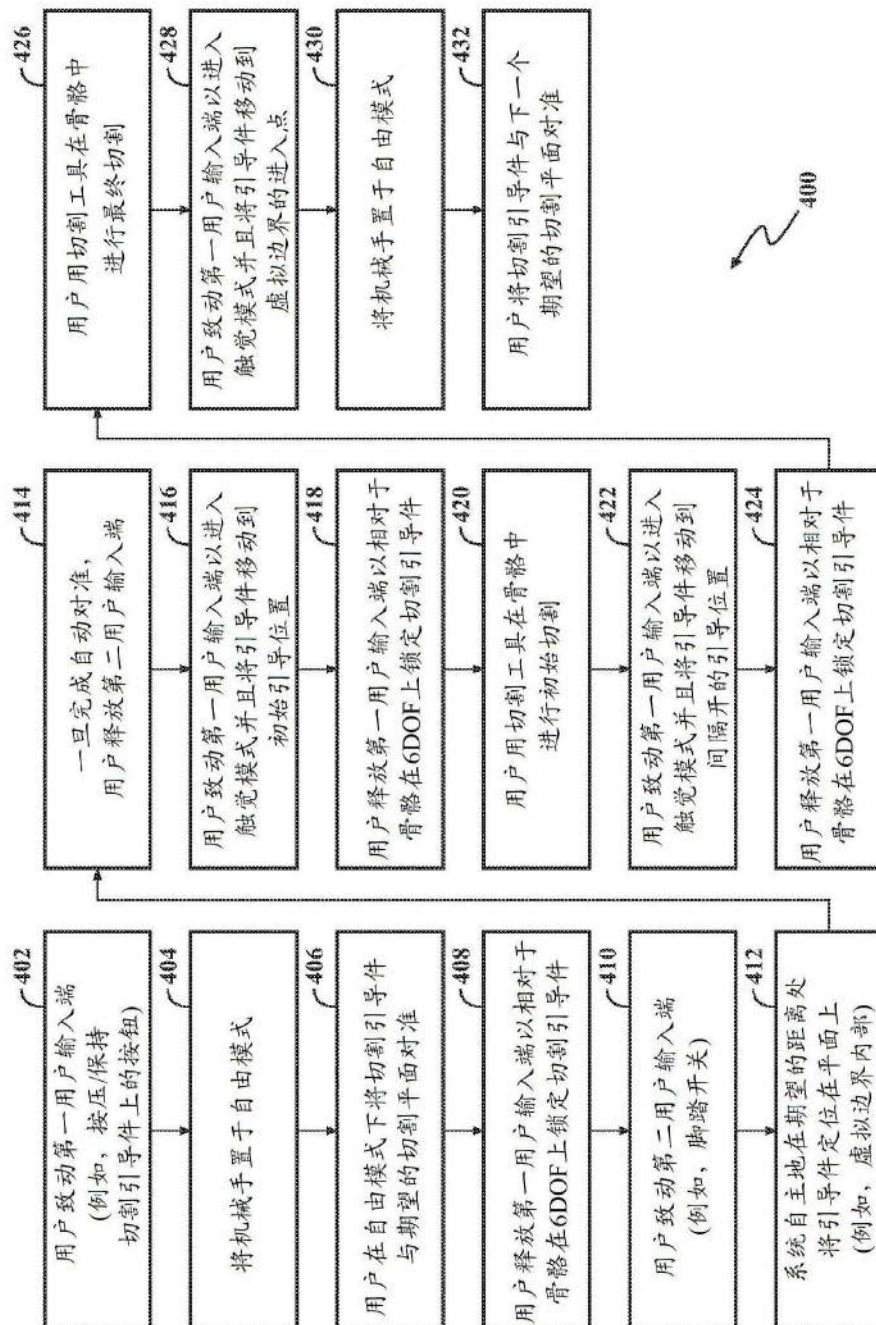


图19