



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 118574584 A

(43) 申请公布日 2024. 08. 30

(21) 申请号 202280079662.5

(22) 申请日 2022.12.01

(30) 优先权数据

63/285,218 2021.12.02 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2024.05.30

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IB2022/061635 2022.12.01

(87) PCT国际申请的公布数据

W02023/100125 EN 2023.06.08

(71) 申请人 弗塞特机器人有限公司

地址 以色列约克尼姆伊利特

(72) 发明人 塔尔·科尔曼 阿里尔·吉尔

约阿夫·戈兰 奥弗·阿诺德

丹尼尔·格楼兹曼

(74) 专利代理机构 北京安信方达知识产权代理
有限公司 11262

专利代理师 许春波 杨明钊

(51) Int.Cl.

A61B 34/30 (2006.01)

A61F 9/007 (2006.01)

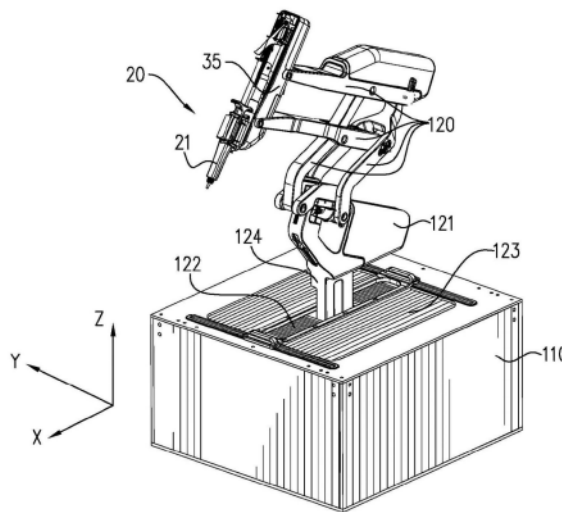
权利要求书5页 说明书18页 附图18页

(54) 发明名称

用于显微外科手术的机器人单元

(57) 摘要

描述了包括机器人单元 (20) 的装置和方法, 该机器人单元包括末端执行器 (35) 和被配置成牢固地保持工具 (21) 的工具安装件 (34)。机器人臂 (120) 使工具通过俯仰和偏航旋转进行旋转。XYZ平台 (110) 沿着XY平面内的X方向和Y方向以及沿着垂直于XY平面的Z方向移动机器人单元 (20)。XYZ平台 (110) 包括第一可滑动遮蔽器 (122) 和第二可滑动遮蔽器 (123), 第一可滑动遮蔽器被配置为当机器人单元 (20) 沿X方向移动时通过沿X方向滑动来覆盖XYZ平台 (110) 的内部, 第二可滑动遮蔽器被配置为当机器人单元 (20) 沿Y方向移动时通过沿Y方向滑动来覆盖XYZ平台 (110) 的内部。还描述了其他应用。



1. 一种用于使用一个或更多个工具对患者的身体的一部分执行机器人显微外科手术的装置,所述装置包括:

至少一个机器人单元,所述至少一个机器人单元包括:

末端执行器;

工具安装件,所述工具安装件耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;和

一个或更多个机器人臂,所述一个或更多个机器人臂耦合到所述末端执行器,并且所述一个或更多个机器人臂被配置成借助于所述一个或更多个机器人臂的移动来使所述一个或更多个工具通过俯仰和偏航旋转进行旋转;

至少一个XYZ平台,所述至少一个XYZ平台被配置成沿着XY平面内的X方向和Y方向以及沿着垂直于所述XY平面的Z方向移动所述机器人单元;

所述XYZ平台包括:

第一可滑动遮蔽器,所述第一可滑动遮蔽器被配置为当所述机器人单元沿所述X方向移动时,通过沿所述X方向滑动来覆盖所述XYZ平台的内部;和

第二可滑动遮蔽器,所述第二可滑动遮蔽器被配置为当所述机器人单元沿所述Y方向移动时,通过沿所述Y方向滑动来覆盖所述XYZ平台的内部。

2. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述第一可滑动遮蔽器设置在所述第二可滑动遮蔽器上并垂直于所述第二可滑动遮蔽器。

3. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述XYZ平台包括立柱,其中所述机器人单元支撑在所述立柱上,并且所述立柱被配置成沿着所述Z方向延伸或缩回,以便沿着所述Z方向移动所述机器人单元。

4. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述可滑动遮蔽器中的每一个被设定尺寸成使得在所述X方向和所述Y方向中的每个方向上向所述机器人单元提供大于100mm的运动范围。

5. 根据权利要求1所述的装置,其中:

所述至少一个机器人单元包括两个机器人单元,

所述至少一个XYZ平台包括两个XYZ平台,在所述XYZ平台中的每一个上设置有相应的机器人单元,

所述XYZ平台中的第一XYZ平台和所述机器人单元中的第一机器人单元被配置成放置在所述患者的身体的所述部分的第一侧,并且

所述XYZ平台中的第二XYZ平台和所述机器人单元中的第二机器人单元被配置成放置在所述患者的身体的所述部分的第二侧。

6. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述可滑动遮蔽器中的每一个被配置成使得即使当所述机器人单元在所述X方向或所述Y方向中的任一方向上处于其运动范围的极限时,所述可滑动遮蔽器继续覆盖所述XYZ平台的内部。

7. 根据权利要求1所述的装置,其中,所述可滑动遮蔽器中的每一个具有大于所述机器人单元沿相应方向的运动范围的长度,并且具有被配置成卷入所述XYZ平台的内部的多余遮蔽器长度。

8. 根据权利要求1-7中任一项所述的装置,还包括旋转轴,

其中所述XYZ平台旋转地耦合到所述旋转轴,并且被配置成:

围绕所述旋转轴从第一位置自动旋转到第二位置,以便为操作员提供接近所述患者的通道;和

围绕所述旋转轴从所述第二位置自动旋转到所述第一位置,以便在所述患者的身体的所述部分上执行所述机器人显微外科手术。

9. 根据权利要求8所述的装置,其中:

所述至少一个机器人单元包括两个机器人单元,

所述至少一个XYZ平台包括两个XYZ平台,在所述XYZ平台中的每一个上设置有相应的机器人单元,

所述XYZ平台中的第一XYZ平台和所述机器人单元中的第一机器人单元被配置成放置在所述患者的身体的所述部分的第一侧,并且

所述XYZ平台中的第二XYZ平台和所述机器人单元中的第二机器人单元被配置成放置在所述患者的身体的所述部分的第二侧。

10. 根据权利要求9所述的装置,其中,所述XYZ平台中的每一个被配置为:

围绕所述旋转轴从第一位置自动旋转到第二位置,以便为操作员提供接近所述患者的通道;和

围绕所述旋转轴从所述第二位置自动旋转到所述第一位置,以便在所述患者的身体的所述部分上执行所述机器人显微外科手术。

11. 一种用于使用一个或更多个工具对患者的身体的一部分进行机器人显微外科手术的装置,所述装置包括:

末端执行器;

工具安装件,所述工具安装件耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;

耦合到所述末端执行器的一对平行机器人臂,所述一对平行机器人臂被配置为借助于所述一对平行机器人臂经历俯仰变化来使所述一个或更多个工具通过俯仰角度旋转进行旋转;和

俯仰旋转机构,所述俯仰旋转机构包括:

蜗轮,所述蜗轮耦合到所述一对平行机器人臂,使得所述蜗轮的旋转导致所述平行机器人臂经历俯仰变化;

蜗杆,所述蜗杆接合所述蜗轮并被配置成使所述蜗轮旋转;和

弹簧,所述弹簧被配置成在给定方向上偏置所述一对平行机器人臂,以便减少所述平行机器人臂响应于所述蜗轮的旋转运动的变化而产生的反冲。

12. 根据权利要求11所述的装置,其中,所述俯仰旋转机构被配置成使得在所述一个或更多个工具的俯仰旋转的全范围内,所述蜗杆的旋转和所述一个或更多个工具的角度俯仰旋转之间的关系是恒定的。

13. 根据权利要求11所述的装置,其中,所述俯仰旋转机构被配置成使所述一个或更多个工具通过至少60度的俯仰角度旋转进行移动。

14. 根据权利要求11-13中任一项所述的装置,其中,所述平行臂被配置成约束所述末端执行器的移动,并由此约束所述工具安装件内的工具的运动,使得当所述工具经历俯仰变化时,所述工具的远程运动中心得以保持。

15. 根据权利要求14所述的装置,其中,所述工具被配置成经由切口点插入所述患者的眼睛中,并且其中,所述平行臂被配置成约束所述末端执行器的移动,从而约束在所述工具安装件内的所述工具的运动,使得当所述工具经历俯仰变化时,所述工具的所述远程运动中心保持在所述切口点内。

16. 根据权利要求14所述的装置,其中,所述工具被配置成经由切口区插入所述患者的眼睛中,并且其中,所述平行臂被配置成约束所述末端执行器的移动,从而约束在所述工具安装件内的所述工具的运动,使得当所述工具经历俯仰变化时,所述工具的所述远程运动中心保持在所述切口区内。

17. 一种用于使用一个或更多个工具对患者的身体的一部分进行机器人显微外科手术的装置,所述装置包括:

末端执行器;

工具安装件,所述工具安装件耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;

耦合到所述末端执行器的一对平行机器人臂,所述一对平行机器人臂被配置为借助于所述一对平行机器人臂经历偏航变化使所述一个或更多个工具通过偏航角度旋转进行旋转;和

偏航旋转机构,其包括:

偏航马达,所述偏航马达被配置成使所述平行机器人臂通过偏航角度旋转进行旋转;和

第一弹簧,所述第一弹簧被偏置以阻止所述一对平行机器人臂从中心偏航旋转位置在第一偏航旋转方向上旋转;和

第二弹簧,所述第二弹簧被偏置以阻止所述一对平行机器人臂从所述中心偏航旋转位置在第二偏航旋转方向上旋转。

18. 根据权利要求17所述的装置,其中,所述第一弹簧和所述第二弹簧被配置成在所述一个或更多个工具的偏航旋转运动期间减少反冲。

19. 根据权利要求17所述的装置,其中,所述偏航旋转机构被配置成使所述一个或更多个工具从所述中心偏航旋转位置通过正/负25度的俯仰角度旋转进行移动。

20. 根据权利要求17所述的装置,其中,所述第一弹簧和所述第二弹簧被配置成平衡力,使得施加到所述偏航马达上的静态负载减小,从而减小所述马达的偏转。

21. 根据权利要求17所述的装置,其中,所述第一弹簧和所述第二弹簧被配置成当所述平行机器人臂从所述中心偏航旋转位置沿相应的旋转方向旋转时,抵消所述平行机器人臂上的重力拉力。

22. 根据权利要求17所述的装置,其中,所述第一弹簧和所述第二弹簧被配置成稳定所述一个或更多个工具的偏航旋转运动,使得在所述一个或更多个工具的所述偏航旋转运动的全范围内,所述偏航马达的旋转和所述一个或更多个工具的角度偏航旋转之间的关系是恒定的。

23. 根据权利要求17-22中任一项所述的装置,其中,所述偏航旋转机构被配置成约束所述末端执行器的移动,从而约束在所述工具安装件内的工具的运动,使得当所述工具经历偏航变化时,所述工具的远程运动中心得以保持。

24. 根据权利要求23所述的装置,其中,所述工具被配置成经由切口点插入所述患者的眼睛中,并且其中,所述偏航旋转机构被配置成约束所述末端执行器的移动,从而约束在所述工具安装件内的所述工具的运动,使得当所述工具经历偏航变化时,所述工具的所述远程运动中心保持在所述切口点内。

25. 根据权利要求23所述的装置,其中,所述工具被配置成经由切口区插入患者的眼睛中,并且其中,所述偏航旋转机构被配置成约束所述末端执行器的移动,从而约束在所述工具安装件内的所述工具的运动,使得当所述工具经历偏航变化时,所述工具的所述远程运动中心保持在所述切口区内。

26. 一种用于对患者的眼睛进行机器人显微外科手术的装置,所述装置包括:

具有彼此不同的形状的多个工具;

末端执行器;

工具安装件,所述工具安装件耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;

耦合到所述末端执行器的一个或更多个机器人臂,所述一个或更多个机器人臂被配置为在所述工具中的每一个工具保持在所述工具安装件上时通过所述一个或更多个机器人臂移动所述末端执行器来移动该工具;和

计算机处理器,所述计算机处理器配置为:

驱动所述机器人臂将所述工具通过切口区域插入所述患者的眼睛;

接收指示哪个工具被所述工具安装件保持的输入;

接收指示所述工具应从所述患者的眼睛缩回的进一步的输入;和

响应于接收到指示所述工具应从所述患者的眼睛缩回的进一步的输入,以使得所述工具通过所述切口区域被移除的方式移动所述工具。

27. 根据权利要求26所述的装置,其中,所述计算机处理器被配置为确定移动模式,通过该移动模式移动所述工具,使得所述工具经由所述切口区域被移除,并且根据所确定的移动模式缩回所述工具。

28. 根据权利要求26或权利要求27所述的装置,其中,所述计算机处理器还被配置为确定所述工具相对于所述切口区域的位置和/或取向,并且考虑所述工具相对于所述切口区域的位置和/或取向,以便经由所述切口区域移除所述工具。

29. 一种用于使用一个或更多个工具对患者的身体的一部分进行机器人显微外科手术的装置,所述装置包括:

至少一个机器人单元,所述至少一个机器人单元包括:

末端执行器;

工具安装件,所述工具安装件耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;

一个或更多个机器人臂,所述一个或更多个机器人臂耦合到所述末端执行器,并且被配置成借助于所述一个或更多个机器人臂的移动来使所述一个或更多个工具通过俯仰和偏航旋转进行旋转;

至少一个XYZ平台,所述至少一个XYZ平台被配置成沿着XY平面的X方向和Y方向以及沿着垂直于所述XY平面的Z方向移动所述一个或更多个机器人臂;

旋转轴,所述XYZ平台被旋转地耦合到所述旋转轴并被配置成:

围绕所述旋转轴从第一位置自动旋转到第二位置,以便为操作员提供接近所述工具安装件的通道;和

围绕所述旋转轴从所述第二位置自动旋转到所述第一位置,以便在所述患者的身体的所述部分上执行所述机器人显微外科手术。

30. 根据权利要求29所述的装置,其中:

所述至少一个机器人单元包括两个机器人单元,

所述至少一个XYZ平台包括两个XYZ平台,在所述XYZ平台中的每一个上设置有相应的机器人单元,

所述XYZ平台中的第一XYZ平台和所述机器人单元中的第一机器人单元被配置成放置在所述患者的身体的所述部分的第一侧,并且

所述XYZ平台中的第二XYZ平台和所述机器人单元中的第二机器人单元被配置成放置在所述患者的身体的所述部分的第二侧。

31. 根据权利要求30所述的装置,其中,所述XYZ平台中的每一个被配置为:

围绕所述旋转轴从第一位置自动旋转到第二位置,以便为操作员提供接近所述患者的通道;和

围绕所述旋转轴从所述第二位置自动旋转到所述第一位置,以便在所述患者的身体的所述部分上执行所述机器人显微外科手术。

用于显微外科手术的机器人单元

[0001] 相关申请的交叉引用

[0002] 本申请要求Korman于2021年12月2日提交的题为“Robotic unit for microsurgical procedures (用于显微外科手术的机器人单元)”的美国临时专利申请第63/285,218号的优先权,该专利申请通过引用并入本文。

[0003] 发明的实施例领域

[0004] 本发明的一些应用总体上涉及医疗装置和方法。具体地,本发明的一些应用涉及用于以机器人方式执行显微外科手术(microsurgical procedure)的装置和方法。

[0005] 背景

[0006] 白内障手术包括移除眼睛的已经发生混浊化(称为白内障)的天然晶状体,并用人工晶状体替换。这种手术通常包括许多标准步骤,这些步骤是按次序执行的。

[0007] 在最初的步骤中,患者眼睛周围的面部被消毒(通常用碘溶液),并且他们的面部被无菌盖布(steriledrape)覆盖,使得只露出眼睛。当消毒和铺盖布已经完成时,通常使用局部麻醉剂对眼睛进行麻醉,该麻醉剂以液体眼药水的形式给药。然后,使用保持上下眼睑张开的眼睑窥器将眼球露出。在眼睛的角膜中切开一个或更多个切口(且通常是两个或三个切口)。切口通常使用称为角膜刀刀片的专用刀片切开。在这个阶段,利多卡因通常被注射到眼睛的前房中,以便进一步麻醉眼睛。在该步骤之后,通过角膜切口施加粘弹剂注射。执行粘弹剂注射是为了稳定前房,并在手术(procedure)的剩余部分期间帮助维持眼压,且也是为了扩张晶状体囊。

[0008] 在随后的阶段(称为撕囊术)中,晶状体前囊的一部分被移除。已经开发了用于执行撕囊术的各种增强技术,例如激光辅助撕囊术、zepto-撕囊(zepto-rhexis)(利用精密纳米脉冲技术)、和标记辅助撕囊术(其中使用预定义标记来标记角膜,以便指示囊开口的期望尺寸)。

[0009] 随后,通常通过角膜切口注射流体波,以便在称为水分层(hydrodissection)的步骤中解剖白内障的外皮质层。在称为水分层的随后步骤中,通过注射流体波将晶状体的外部较软的外核(epi-nucleus)与内部较硬的内核(endo-nucleus)分离。在下一步骤中,在称为超声乳化的过程中,执行晶状体的超声波乳化。首先使用劈核器(chopper)破碎晶状体的核,随后,通常使用超声波超声乳化探头破碎并移除晶状体的外部碎片。此外,通常,在超声乳化过程中使用单独的工具来执行吸引。当超声乳化完成时,剩余的晶状体皮质(即,晶状体的外层)物质从囊中被抽吸出。在超声乳化和抽吸过程中,被抽吸的流体通常用平衡盐冲洗溶液来代替,以便维持前房中的流体压力。在某些情况下,如果认为有必要,则对囊进行抛光。随后,将人工晶状体(IOL)插入囊内。IOL通常是可折叠的,并且在囊内部展开之前以折叠配置插入。在这个阶段,通常使用先前用于从囊中抽吸流体的吸引设备,将粘弹剂移除。如果有必要,则通过提高眼球(bulbus oculi)(即眼球(globe of the eye))内部的压力来密封切口,使内部组织压靠在切口的外部组织上,以便迫使切口闭合。

[0010] 概述

[0011] 根据本发明的一些应用,一种机器人系统被配置成用于在显微外科手术(例如眼

内外科手术)中使用。典型地,当用于眼内手术时,除了成像系统、一个或更多个显示器和控制部件单元(例如,包括诸如操纵杆的一对控制部件的控制部件单元)之外,机器人系统还包括一个或更多个机器人单元(其被配置为保持工具),通过该控制部件单元,一个或更多个操作员(例如,医疗保健专业人员,例如医生和/或护士)能够控制机器人单元。典型地,机器人系统包括一个或更多个计算机处理器,通过该处理器,系统的部件和操作员可操作地彼此交互。

[0012] 对于一些应用,根据本发明的一些应用,提供了一组工具,每个工具包括通用安装接合部分,用于接合机器人单元的末端执行器的工具安装件。对于一些应用,该组工具包括与机器人单元一起使用的通用工具包,该通用工具包包括通常在白内障手术、不同的眼科手术和/或不同的显微外科手术中使用的所有工具。例如,该组工具通常包括以下工具中的一个或更多个:角膜刀刀片、眼固定器、穿刺刀、分散型眼科粘膜手术器械(OVD)注射器、凝聚型眼科粘膜手术器械(OVD)注射器、染色注射器(例如,用于用染色剂(如胰蛋白酶蓝眼药水)对前晶状体染色)、利多卡因注射器、钳子、水分离术注射器、超声乳化探头、切碎器、冲洗/抽吸探头、人工晶状体注射器、抗生素注射器和/或角膜缘松解切开术(LRI)刀。对于一些应用,每个工具包括一个或更多个标记,其可用于识别工具和/或确定工具的位置和/或取向。

[0013] 典型地,机器人单元的移动(和/或机器人系统的其他方面的控制)至少部分地由一个或更多个操作员控制。例如,操作员可以通过显示器接收患者眼睛和机器人单元和/或布置在其中的工具的图像。操作员通常基于接收到的图像执行手术的步骤。对于一些应用,操作员通过控制部件单元向机器人单元提供命令。通常,这种命令包括控制布置在机器人单元内的工具的位置和/或取向的命令、和/或控制由工具执行的动作的命令。例如,这些命令可以控制刀片、超声乳化工具(例如,超声乳化工具的操作模式和/或吸力)和/或注射器工具(例如,哪种流体(例如,粘弹剂流体、盐水等)应该被注射和/或流速是多少)。替代地或附加地,操作员可以输入控制成像系统的命令(例如,成像系统的变焦、聚焦、和/或x-y定位)。对于一些应用,命令包括控制人工晶状体操纵器工具,例如,使得该工具操纵眼睛内的人工晶状体,以将人工晶状体在眼睛内精确定位。

[0014] 典型地,控制部件单元包括一个或更多个操纵杆,其被配置成对应于机器人系统的相应机器人单元。例如,该系统可以包括第一机器人单元和第二机器人单元,并且控制部件单元可以包括由操作员的右手和左手操作的第一操纵杆和第二操纵杆。对于一些应用,控制部件操纵杆在其中包括相应的控制部件工具(以便复制机器人单元)。通常,计算机处理器确定控制部件工具的尖端的XYZ位置和取向,并驱动机器人单元,使得用于执行手术的实际工具的尖端跟踪控制部件工具的尖端的运动。

[0015] 典型地,机器人系统包括左XYZ平台和右XYZ平台,每个XYZ平台上设置有相应的机器人单元,它们被配置成分别放置在将对例如患者眼睛进行操作的患者的身体部分的左侧和右侧。典型地,左和右XYZ平台设置在支架上,并且每个XYZ平台旋转地耦合到支架的旋转轴上。典型地,旋转轴沿Z方向设置。对于一些应用,每个XYZ平台被配置成围绕旋转轴从第一(关闭)位置旋转(例如,自动旋转)到第二(打开)位置。

[0016] 典型地,在关闭位置,XYZ平台设置为相对靠近患者的眼睛。对于一些应用,在该位置,机器人单元被设置得足够靠近患者的眼睛,使得通过机器人单元在XYZ平台上移动,和/

或通过机器人单元的末端执行器的移动,和/或通过工具相对于末端执行器的移动,可以实现机器人单元相对于患者眼睛的位置的任何进一步调整。因此,在关闭位置,XYZ平台被定位成使得机器人单元能够对患者的眼睛执行机器人显微外科手术。典型地,XYZ平台通过绕旋转轴从关闭位置旋转到打开位置而移动离开患者的眼睛。

[0017] 典型地,由于临床和/或安全相关的原因,XYZ平台被移离患者的眼睛。例如,在医生无法使用机器人进行手术的情况下,XYZ平台的旋转提供了接近患者的通道。以这种方式,医生可以手动执行该手术,而不需要患者移动。或者,举例来说,如果患者需要立即救治(如抢救),XYZ平台的旋转可以让病人立即得到救治。对于一些应用,XYZ平台移动离开患者,以便允许无菌盖布放置在机器人系统上,同时避免与患者接触可能导致的交叉污染。类似地,对于一些应用,XYZ平台移动离开患者,以便允许患者被盖布覆盖,同时避免可能由与机器人系统接触引起的交叉污染。对于一些应用,XYZ平台移动离开患者的眼睛,以便允许患者将她/他的头部定位在头部支撑内。

[0018] 对于一些应用,机器人单元包括耦合到末端执行器并设置在机器人单元基座上的一个或多个机器人臂。如下面进一步详细描述,机器人臂通常被配置成借助于一个或多个机器人臂的移动使耦合到末端执行器的工具通过俯仰和偏航旋转进行旋转。对于一些应用,机器人单元基座设置在XYZ平台上,该平台被配置成沿着XY平面内的X方向和Y方向以及沿着垂直于XY平面的Z方向移动机器人单元。

[0019] 对于一些应用,XYZ平台包括第一可滑动遮蔽器以及第二可滑动遮蔽器,第一可滑动遮蔽器被配置为当机器人单元沿着X方向移动时通过沿着X方向滑动来覆盖XYZ平台的内部,第二可滑动遮蔽器被配置为当机器人单元沿着Y方向移动时通过沿着Y方向滑动来覆盖XYZ平台的内部。典型地,其中一个遮蔽器设置在另一个遮蔽器上并相对于另一个遮蔽器垂直。对于某些应用,XYZ平台包括一个立柱,通常是伸缩立柱。机器人单元通常被支撑在立柱上,并且立柱被配置成沿着Z方向延伸或缩回,以便沿着Z方向移动机器人单元。

[0020] 对于一些应用,利用机器人单元基座相对于XYZ平台的移动,以将机器人单元移动得更靠近操作员。例如,在显微外科手术的一个阶段的执行期间,机器人单元基座相对于XYZ平台的位置可以保持不变,而末端执行器和工具的移动通过机器人臂的移动和/或工具相对于末端执行器的滚动来实现。在手术的阶段之间,机器人单元基座可以通过机器人单元基座相对于XYZ平台的移动而移动到更靠近操作员,例如,以便为操作员提供到工具安装件的通道,使得操作员能够交换机器人单元中的工具,和/或对机器人单元进行不同的调整。

[0021] 机器人单元通常包括耦合到末端执行器并设置在机器人单元基座上的一个或多个机器人臂。对于一些应用,机器人臂被配置成借助于一个或多个机器人臂的移动来使耦合到末端执行器的工具通过俯仰和偏航旋转进行旋转。通常,机器人单元被配置成将工具插入患者的眼睛中,使得工具经由切口点进入患者的眼睛,并且工具的尖端被设置在患者的眼睛内。此外,典型地,机器人单元被配置成在患者眼睛内移动工具的尖端,使得工具进入患者眼睛的入口被约束为保持在切口点内。对于一些应用,机器人单元通过被配置成定义工具的远程运动中心(“RCM”)并使工具的RCM与切口点重合来实现这一点。注意,对于一些应用,机器人单元被配置成在患者的眼睛内移动工具的尖端,使得工具进入患者眼睛的入口被约束为保持在切口区内,而不是切口点内,如下文进一步详细描述。在这种情

况下,本申请中被描述为适用于切口点的所有方面经适当变通后也适用于切口区。术语“切口区域”在这里用于表示切口点或切口区。

[0022] 因此,根据本发明的一些应用,提供了用于使用一个或更多个工具对患者的身体的一部分执行机器人显微外科手术的装置,该装置包括:

[0023] 至少一个机器人单元,该至少一个机器人单元包括:

[0024] 末端执行器;

[0025] 工具安装件,其耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;和

[0026] 一个或更多个机器人臂,其耦合到所述末端执行器,并且被配置成借助于所述一个或更多个机器人臂的移动来使所述一个或更多个工具通过俯仰和偏航旋转进行旋转;

[0027] 至少一个XYZ平台,其被配置成沿着XY平面内的X方向和Y方向以及沿着垂直于XY平面的Z方向移动机器人单元;

[0028] XYZ平台包括:

[0029] 第一可滑动遮蔽器,其被配置为当机器人单元沿X方向移动时,通过沿X方向滑动来覆盖XYZ平台的内部;和

[0030] 第二可滑动遮蔽器,其被配置为当机器人单元沿Y方向移动时,通过沿Y方向滑动来覆盖XYZ平台的内部。

[0031] 在一些应用中,第一可滑动遮蔽器设置在第二可滑动遮蔽器上并垂直于第二可滑动遮蔽器。

[0032] 在一些应用中,XYZ平台包括立柱,机器人单元支撑在立柱上,并且立柱被配置成沿着Z方向延伸或缩回,以便沿着Z方向移动机器人单元。

[0033] 在一些应用中,每个可滑动遮蔽器被设定尺寸成使得在X方向和Y方向上为机器人单元提供超过100mm的运动范围。

[0034] 在某些应用中,:

[0035] 所述至少一个机器人单元包括两个机器人单元,

[0036] 所述至少一个XYZ平台包括两个XYZ平台,在所述XYZ平台中的每一个上设置有相应的机器人单元,

[0037] XYZ平台中的第一XYZ平台和机器人单元中的第一机器人单元被配置成放置在患者的身体部分的第一侧,并且

[0038] XYZ平台中的第二XYZ平台和机器人单元中的第二机器人单元被配置成放置在患者的身体部分的第二侧。

[0039] 在一些应用中,每个可滑动遮蔽器被配置成使得即使当机器人单元在X方向或Y方向上处于其运动范围的极限时,可滑动遮蔽器继续覆盖XYZ平台的内部。

[0040] 在一些应用中,每个可滑动遮蔽器具有大于机器人单元沿相应方向的运动范围的长度,并且具有被配置成卷入XYZ平台内部的多余遮蔽器长度。

[0041] 在一些应用中,该装置还包括旋转轴,

[0042] 所述XYZ平台旋转地耦合到所述旋转轴,并且被配置成:

[0043] 围绕旋转轴从第一位置自动旋转到第二位置,以便为操作员提供接近患者的通道;和

[0044] 围绕旋转轴从第二位置自动旋转到第一位置,以便在患者的身体的部分上执行机器人显微外科手术。

[0045] 在某些应用中:

[0046] 所述至少一个机器人单元包括两个机器人单元,

[0047] 所述至少一个XYZ平台包括两个XYZ平台,在所述XYZ平台中的每一个上设置有相应的机器人单元,

[0048] XYZ平台中的第一XYZ平台和机器人单元中的第一机器人单元被配置成放置在患者的身体部分的第一侧,并且

[0049] XYZ平台中的第二XYZ平台和机器人单元中的第二机器人单元被配置成放置在患者的身体的部分的第二侧。

[0050] 在某些应用中,每个XYZ平台都配置为:

[0051] 围绕旋转轴从第一位置自动旋转到第二位置,以便为操作员提供接近患者的通道;和

[0052] 围绕旋转轴从第二位置自动旋转到第一位置,以便在患者的身体的部分上执行机器人显微外科手术。

[0053] 根据本发明的一些应用,还提供了用于使用一个或更多个工具对患者的身体的一部分执行机器人显微外科手术的装置,该装置包括:

[0054] 末端执行器;

[0055] 工具安装件,其耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;

[0056] 耦合到所述末端执行器的一对平行机器人臂,其被配置为借助于所述一对平行机器人臂经历俯仰变化来使所述一个或更多个工具通过俯仰角度旋转进行旋转;和

[0057] 俯仰旋转机构,其包括:

[0058] 蜗轮,其耦合到所述一对平行机器人臂,使得所述蜗轮的旋转导致所述平行机器人臂经历俯仰变化;

[0059] 蜗杆,其接合所述蜗轮并被配置成旋转所述蜗轮;和

[0060] 弹簧,其被配置成在给定方向上偏置所述一对平行机器人臂,以便减少所述平行机器人臂响应于所述蜗轮的旋转运动的变化而产生的反冲。

[0061] 在一些应用中,俯仰旋转机构被配置成使得在一个或更多个工具的整个俯仰旋转范围内,蜗杆的旋转和一个或更多个工具的角度俯仰旋转之间的关系是恒定的。

[0062] 在一些应用中,所述俯仰旋转机构被配置成使所述一个或更多个工具通过至少60度的俯仰角度旋转进行移动。

[0063] 在一些应用中,平行臂被配置成约束末端执行器的移动,从而约束位于工具安装件内的工具的运动,使得当工具经历俯仰变化时,工具的远程运动中心得以保持。

[0064] 在一些应用中,工具被配置成经由切口点插入患者的眼睛中,并且其中平行臂被配置成约束末端执行器的移动,从而约束位于工具安装件内的工具的运动,使得当工具经历俯仰变化时,工具的远程运动中心保持在切口点内。

[0065] 在一些应用中,工具被配置成经由切口区插入患者的眼睛中,并且平行臂被配置成约束末端执行器的移动,从而约束位于工具安装件内的工具的运动,使得当工具经历俯

仰变化时,工具的远程运动中心保持在切口区内。

[0066] 根据本发明的一些应用,还提供了用于使用一个或更多个工具对患者的身体的一部分执行机器人显微外科手术的装置,该装置包括:

[0067] 末端执行器;

[0068] 工具安装件,其耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;

[0069] 耦合到所述末端执行器的一对平行机器人臂,其被配置为借助于所述一对平行机器人臂经历偏航变化使所述一个或更多个工具通过偏航角度旋转进行旋转;和

[0070] 偏航旋转机构,其包括:

[0071] 偏航马达,其被配置成使所述平行机器人臂通过偏航角度旋转进行旋转;和

[0072] 第一弹簧,所述第一弹簧被偏置以阻止所述一对平行机器人臂从中心偏航旋转位置在第一偏航旋转方向上旋转;和

[0073] 第二弹簧,所述第二弹簧被偏置以阻止所述一对平行机器人臂从所述中心偏航旋转位置在第二偏航旋转方向上旋转。

[0074] 在一些应用中,所述第一弹簧和所述第二弹簧被配置成在所述一个或更多个工具的偏航旋转运动期间减少反冲。

[0075] 在一些应用中,所述偏航旋转机构被配置成使所述一个或更多个工具从所述中心偏航旋转位置通过正/负25度的俯仰角度旋转进行移动。

[0076] 在一些应用中,所述第一弹簧和所述第二弹簧被配置成平衡力,使得施加到所述偏航马达上的静态负载减小,从而减小所述马达的偏转。

[0077] 在一些应用中,所述第一弹簧和所述第二弹簧被配置成当所述平行机器人臂从所述中心偏航旋转位置沿相应的旋转方向旋转时,抵消所述平行机器人臂上的重力拉力。

[0078] 在一些应用中,所述第一弹簧和所述第二弹簧被配置成稳定所述一个或更多个工具的偏航旋转运动,使得在所述一个或更多个工具的偏航旋转运动的全范围内,所述偏航马达的旋转和所述一个或更多个工具的角度偏航旋转之间的关系是恒定的。

[0079] 在一些应用中,所述偏航旋转机构被配置成约束所述末端执行器的移动,从而约束在所述工具安装件内的工具的运动,使得当所述工具经历偏航变化时,所述工具的远程运动中心得以保持。

[0080] 在一些应用中,所述工具被配置成经由切口点插入所述患者的眼睛中,并且所述偏航旋转机构被配置成约束所述末端执行器的移动,从而约束在所述工具安装件内的所述工具的运动,使得当所述工具经历偏航变化时,所述工具的远程运动中心保持在所述切口点内。

[0081] 在一些应用中,所述工具被配置成经由切口区插入患者的眼睛中,并且所述偏航旋转机构被配置成约束所述末端执行器的移动,从而约束在所述工具安装件内的所述工具的运动,使得当所述工具经历偏航变化时,所述工具的远程运动中心保持在所述切口区内。

[0082] 根据本发明的一些应用,还提供了用于对患者的眼睛进行机器人显微外科手术的装置,该装置包括:

[0083] 具有彼此不同的形状的多个工具;

[0084] 末端执行器;

- [0085] 工具安装件,其耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;
- [0086] 耦合到所述末端执行器的一个或更多个机器人臂,其被配置为在所述工具中的每一个工具由所述工具安装件保持时通过所述一个或更多个机器人臂移动所述末端执行器来移动该工具;和
- [0087] 计算机处理器,其配置为:
- [0088] 驱动所述机器人臂将所述工具通过切口区域插入所述患者的眼睛;
- [0089] 接收指示哪个工具被所述工具安装件保持的输入;
- [0090] 接收指示所述工具应从所述患者的眼睛缩回的进一步的输入;和
- [0091] 响应于接收到指示所述工具应从所述患者的眼睛缩回的进一步的输入,以使得所述工具通过所述切口区域被移除的方式移动所述工具。
- [0092] 在一些应用中,所述计算机处理器被配置为确定移动模式,通过该移动模式移动所述工具,使得所述工具经由所述切口区域被移除,并且根据所确定的移动模式缩回所述工具。
- [0093] 在一些应用中,所述计算机处理器还被配置为确定所述工具相对于所述切口区域的位置和/或取向,并且考虑所述工具相对于所述切口区域的位置和/或取向,以便经由所述切口区域移除所述工具。
- [0094] 根据本发明的一些应用,还提供了用于使用一个或更多个工具对患者的身体的一部分执行机器人显微外科手术的装置,该装置包括:
- [0095] 至少一个机器人单元,其包括:
- [0096] 末端执行器;
- [0097] 工具安装件,其耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;
- [0098] 一个或更多个机器人臂,其耦合到所述末端执行器,并且被配置成借助于所述一个或更多个机器人臂的移动来使所述一个或更多个工具通过俯仰和偏航旋转进行旋转;
- [0099] 至少一个XYZ平台,其被配置成沿着XY平面的X方向和Y方向以及沿着垂直于所述XY平面的Z方向移动所述一个或更多个机器人臂;
- [0100] 旋转轴,所述XYZ平台被旋转地耦合到所述旋转轴并被配置成:
- [0101] 围绕所述旋转轴从第一位置自动旋转到第二位置,以便为操作员提供接近所述患者的通道;和
- [0102] 围绕所述旋转轴从所述第二位置自动旋转到所述第一位置,以便在所述患者的身体的所述部分上执行所述机器人显微外科手术。
- [0103] 在某些应用中:
- [0104] 所述至少一个机器人单元包括两个机器人单元,
- [0105] 所述至少一个XYZ平台包括两个XYZ平台,在所述XYZ平台中的每一个上设置有相应的机器人单元,
- [0106] 所述XYZ平台中的第一XYZ平台和所述机器人单元中的第一机器人单元被配置成放置在所述患者的身体的所述部分的第一侧,并且
- [0107] 所述XYZ平台中的第二XYZ平台和所述机器人单元中的第二机器人单元被配置成

放置在所述患者的身体的所述部分的第二侧。

[0108] 在一些应用中,其中每个XYZ平台被配置为:

[0109] 围绕所述旋转轴从第一位置自动旋转到第二位置,以便为操作员提供接近所述患者的通道;和

[0110] 围绕所述旋转轴从所述第二位置自动旋转到所述第一位置,以便在所述患者的身体的所述部分上执行所述机器人显微外科手术。

[0111] 根据本发明的一些应用,还提供了用于使用一个或更多个工具对患者的眼睛进行机器人显微外科手术的装置,该装置包括:

[0112] 末端执行器;

[0113] 工具安装件,其耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个工具;

[0114] 耦合到末端执行器的一个或更多个机器人臂,其被配置成控制一个或更多个工具的偏航和俯仰角度旋转,使得由工具安装件保持的工具的尖端在患者的眼睛内以期望的方式移动,同时工具进入患者的眼睛的位置保持在切口区内;

[0115] 控制部件,其被配置为由操作员移动,以便以期望的方式移动工具;和

[0116] 输出单元,其被配置成向操作员提供反馈,该反馈指示工具在切口区内进入患者眼睛的位置。

[0117] 在一些应用中,切口区大于穿过切口区的工具的最大横截面的150%。

[0118] 在一些应用中,输出单元包括显示切口区和工具在切口区内的入口位置的显示器。

[0119] 在一些应用中,输出单元包括输出单元,输出单元被配置成当工具移动为使得工具进入患者的眼睛的位置靠近切口区的边缘时产生警报。

[0120] 在一些应用中,输出单元包括控制部件的被配置为向操作员提供触觉反馈的一部分。

[0121] 在一些应用中,当工具进入患者眼睛的位置更靠近切口区的边缘时,控制部件被配置成增加对控制部件移动的阻力。

[0122] 根据本发明的一些应用,还提供了用于对患者的眼睛进行机器人显微外科手术的装置,该装置包括:

[0123] 角膜刀刀片;

[0124] 末端执行器;

[0125] 工具安装件,其耦合到所述末端执行器并被配置成牢固地保持所述一个或更多个角膜刀刀片;

[0126] 耦合到末端执行器的一个或更多个机器人臂,其被配置成通过移动末端执行器来控制角膜刀刀片的移动;

[0127] 控制部件,其被配置为由操作员移动,以便将角膜刀刀片朝向患者眼睛的角膜移动;

[0128] 所述控制部件包括致动机构,所述致动机构被配置为响应于接收到来自操作员的输入来驱动机器人臂在非线性方向上移动角膜刀刀片,以便在患者的角膜内进行成角度的切口。

[0129] 根据结合附图进行的对本发明的实施例的以下详细描述,本发明将被更完全地理解,附图中:

[0130] 附图简述

[0131] 图1是根据本发明的一些应用的机器人系统的示意图,该机器人系统被配置用于显微外科手术,例如眼内手术;

[0132] 图2是根据本发明的一些应用的一组工具的示意图,每个工具包括用于接合机器人单元的末端执行器的工具安装件的通用安装接合部分;

[0133] 图3A-图3C是根据本发明的一些应用的工具的通用安装接合部分的透视图的示意图;

[0134] 图4A和图4B是根据本发明的一些应用的处于打开状态的工具安装件的透视图的示意图;

[0135] 图4C和图4D是根据本发明的一些应用,设置在工具安装件内的工具的示意图,并且工具安装件分别处于打开状态和关闭状态;

[0136] 图5A和图5B是根据本发明的一些应用,分别处于打开和关闭状态的机器人系统的左和右XYZ平台的斜视图的示意图;

[0137] 图5C和图5D是根据本发明的一些应用,分别处于打开和关闭状态的机器人系统的左和右XYZ平台的俯视图的示意图;

[0138] 图6A、图6B、图6C和图6D是根据本发明的一些应用的机器人系统的机器人单元在XYZ平台上的相应X、Y和Z位置的示意图;

[0139] 图7是根据本发明的一些应用的机器人单元的示意性横截面图;

[0140] 图8A和图8B是根据本发明的一些应用的机器人单元的俯仰旋转机构的相应视图的示意图;

[0141] 图9是根据本发明的一些应用的机器人单元的偏航旋转机构的示意图;

[0142] 图10A、图10B和图10C是根据本发明的一些应用的用角膜刀刀片自动切开患者角膜的各个步骤的示意图;

[0143] 图11A、图11B和图11C是根据本发明的一些应用的工具通过患者角膜中的切口点自动缩回的各个步骤的示意图;和

[0144] 图12是根据本发明的一些应用的穿过患者角膜插入的工具的示意图,使得工具的尖端在患者眼睛内以期望的方式移动,同时工具进入患者眼睛的位置保持在切口区内。

具体实施方式

[0145] 现在参考图1,其是根据本发明的一些应用的机器人系统10的示意图,该机器人系统10被配置用于显微外科手术,例如眼内手术。通常,当用于眼内手术时,机器人系统10包括一个或更多个机器人单元20(其被配置为保持工具21),此外还有成像系统22、一个或更多个显示器24和控制部件单元26(例如,包括诸如操纵杆70的一对控制部件的控制部件单元,如图1的放大部分所示),通过该控制部件单元,一个或更多个操作员25(例如,医疗保健专业人员,例如医生和/或护士)能够控制机器人单元20。典型地,机器人系统10包括一个或更多个计算机处理器28,通过该处理器,系统的部件和操作员25可操作地彼此交互。本申请的范围包括将一个或更多个单元相对于彼此安装在各种不同位置中的任何位置。

[0146] 典型地,机器人单元的移动(和/或机器人系统的其他方面的控制)至少部分地由一个或更多个操作员25(例如,保健专业人员,例如医生和/或护士)控制。例如,操作员可以通过显示器24接收患者眼睛和机器人单元和/或设置在其中的工具的图像。通常,这种图像由成像系统22获取。对于一些应用,成像系统22是立体成像设备,以及显示器24是立体显示器。操作员通常基于接收到的图像执行手术的步骤。对于一些应用,操作员经由控制部件单元26向机器人单元提供命令。通常,这种命令包括控制布置在机器人单元内的工具的位置和/或取向的命令、和/或控制由工具执行的动作的命令。例如,这些命令可以控制刀片、超声乳化工具(例如,超声乳化工具的操作模式和/或吸力)和/或注射器工具(例如,哪种流体(例如,粘弹剂流体、盐水等)应该被注射和/或流速是多少)。替代地或附加地,操作员可以输入控制成像系统的命令(例如,成像系统的变焦、聚焦、和/或x-y定位)。对于一些应用,命令包括控制人工晶状体操纵器工具,例如,使得该工具操纵眼睛内的人工晶状体,以将人工晶状体精确定位在眼睛内。

[0147] 典型地,控制部件单元包括一个或更多个部件(例如,操纵杆70),其被配置成对应于机器人系统的相应机器人单元20。例如,如图所示,系统可以包括第一机器人单元和第二机器人单元,并且控制部件单元可以包括第一操纵杆和第二操纵杆,如图所示。对于一些应用,如图1所示,控制部件操纵杆在其中包括相应的控制部件工具71(以便复制机器人单元)。通常,计算机处理器确定控制部件工具71的尖端的XYZ位置和取向,并且驱动机器人单元,使得用于执行手术的实际工具21的尖端跟踪控制部件工具的尖端的移动。

[0148] 现在参考图2,其是根据本发明的一些应用的工具组30的示意图,每个工具包括通用安装接合部分32,用于接合机器人单元20的末端执行器35的工具安装件34(工具安装件和末端执行器在图4A-图4D中示出)。对于一些应用,工具21的组30构成与机器人单元20一起使用的通用工具包,该工具包包括通常在白内障手术、不同的眼科手术和/或不同的显微外科手术中使用的所有工具。例如,如图2所示,该工具组通常包括以下工具中的一个或更多个:角膜刀刀片40、眼固定器42、穿刺刀44、分散型眼科粘膜手术器械(OVD)注射器46、凝聚型眼科粘膜手术器械(OVD)注射器48、染色注射器50(例如,用于用染色剂(如胰蛋白酶蓝眼药水)对前晶状体进行染色)、利多卡因注射器52、钳子54、水分离术注射器56、超声乳化探头58、切碎器60、冲洗/抽吸探头62、人工晶状体注射器64、抗生素注射器66,和/或角膜缘松解切开术(LRI)刀68。对于一些应用,每个工具包括一个或更多个标记69,其可用于识别工具和/或确定工具的位置和/或取向。标记69的一些功能将在下文中进一步详细描述。

[0149] 现在参考图3A-图3C,其是根据本发明的一些应用的工具21的通用安装接合部分32的透视图的示意图。根据本发明的一些应用,还参考图4A和图4B,其是处于打开状态的末端执行器35的工具安装件34的透视图的示意图,以及图4C和图4D,其是设置在工具安装件内的工具21的示意图,工具安装件分别处于打开状态和关闭状态。工具安装件34通常耦合到机器人单元的末端执行器35或与末端执行器35一体形成。

[0150] 典型地,工具21的安装接合部分32包括围绕每个工具的外部设置的套筒。套筒包括齿轮80,以及前凹槽82和后凹槽84。对于一些应用,前凹槽82和后凹槽中的至少一个具有截头圆锥形形状。例如,如图所示,前凹槽82具有截头圆锥形形状。典型地,工具安装件34包括用于接收工具的插座86,以及铰接地耦合到工具接收插座并被配置成将工具固定在工具接收插座内的工具固定盖88。通常,为了将工具放置在工具安装件中,工具固定盖被打开(如

图4A-图4B所示)。然后,在关闭工具固定盖88之前,将工具放置在插座86内(如图4C所示),以将工具固定在工具接收插座内(如图4D所示)。

[0151] 典型地,安装接合部分32被设定尺寸成使得当工具被固定在工具接收插座内时(如下文进一步详细描述),安装接合部分的齿轮80被定位成接合工具安装件的齿轮90。机器人单元20的马达93通常被配置为通过驱动齿轮90以滚动齿轮80来驱动工具相对于工具安装件滚动,从而使工具滚动。对于一些应用,通过前滚子92放置在前凹槽82内和后滚子94放置在后凹槽84内将工具固定在工具接收插座内。(注意,为了将滚子放置到凹槽中,工具可以相对于滚子移动,作为滚子相对于工具移动的替代或补充。)如上所述,对于一些应用,前凹槽和后凹槽中的至少一个具有截头圆锥形形状。典型地,对于这样的应用,被配置成放置在截头圆锥形凹槽内的滚子相对于工具的轴线成一定角度地设置。例如,如图所示,前凹槽82具有截头圆锥形形状,并且前滚子92相对于工具的轴线成一定角度设置,从而符合截头圆锥形凹槽的形状。

[0152] 如上所述,机器人单元20通常被配置为通过驱动齿轮90以滚动齿轮80来驱动工具相对于工具安装件滚动,从而使工具滚动。通常,前滚子92插入前凹槽82和后滚子94插入后凹槽84使得滚子在工具滚动期间充当径向轴承。此外,典型地,前滚子92插入前凹槽82和后滚子94插入后凹槽84使得允许工具相对于工具安装件滚动,同时在径向和轴向上将工具相对于工具安装件牢固地保持在适当位置。

[0153] 对于一些应用,工具21被配置成经由线性工具致动臂100被致动以执行功能,该线性工具致动臂100设置在末端执行器35上并且被配置成轴向推动工具的一部分。典型地,线性工具致动臂相对于工具安装件和安装接合部分向远侧推动工具的一部分(即,使得工具的一部分相对于工具安装件和安装接合部分向远侧移动)。例如,如图4C-图4D所示,放置在工具安装件内的工具是注射器(例如,分散型眼科粘膜手术器械(OVD)注射器46、凝聚型眼科粘膜手术器械(OVD)注射器48、染色注射器50、利多卡因注射器52、水分离术注射器56、人工晶状体注射器64和/或抗生素注射器66)。典型地,注射器包括柱塞102、筒体104和插管106。在这种情况下,线性工具致动臂被配置成在向前方向上轴向推动注射器的柱塞102。对于一些应用,工具的一部分被配置成通过线性工具致动臂100轴向推动工具的一部分而相对于患者的眼睛移动。如上所述,对于一些应用,前凹槽82具有截头圆锥形形状,并且前滚子92相对于工具的轴线成一定角度设置。典型地,通过以这种方式配置,前滚子被配置成对抗原本将相对于工具安装件轴向向前推动整个工具的力。例如,当线性工具致动臂在向前方向上轴向推动注射器的柱塞时,前滚子通常向注射器施加反作用力,以防止注射器的筒体104相对于工具安装件被轴向向前推动。更一般地说,相对于凹槽与工具的轴线同轴,具有截头圆锥形形状的凹槽通常为工具提供额外的轴向稳定性。

[0154] 现在参考图5A和图5B,它们是根据本发明的一些应用,分别处于打开状态和关闭状态的机器人系统10的左和右XYZ平台110的斜视图的示意图。进一步参考图5C和图5D,它们是根据本发明的一些应用,分别处于打开和关闭状态的机器人系统10的左和右XYZ平台110的俯视图的示意图。另外参考图6A、图6B、图6C和图6D,它们是根据本发明的一些应用的机器人系统10的机器人单元20在XYZ平台110上的相应X、Y和Z位置的示意图。

[0155] 典型地,机器人系统10包括左XYZ平台和右XYZ平台,每个XYZ平台具有设置在其上的相应机器人单元,并且它们被配置成分别放置在将对例如患者眼睛进行操作的患者的身

体部分的左侧和右侧。典型地,左和右XYZ平台设置在支架112上,并且每个XYZ平台旋转地耦合到支架的旋转轴114。典型地,旋转轴沿Z方向设置。如从图5A到图5B的过渡以及从图5C到图5D的过渡中所示,对于一些应用,每个XYZ平台被配置成围绕旋转轴从第一(关闭)位置旋转(例如,自动旋转)到第二(打开)位置。

[0156] 典型地,在关闭位置,XYZ平台设置为相对靠近患者的眼睛。对于一些应用,在该位置,机器人单元被设置得足够靠近患者的眼睛,使得通过机器人单元在XYZ平台上移动(如图6A-图6D所示),和/或通过机器人单元的末端执行器的移动,和/或通过工具相对于末端执行器的移动,可以实现机器人单元相对于患者眼睛的位置的任何进一步调整。因此,在关闭位置,XYZ平台被定位成使得机器人单元能够对患者的眼睛执行机器人显微外科手术。典型地,XYZ平台通过绕旋转轴114从关闭位置旋转到打开位置而移动离开患者的眼睛。对于一些应用,XYZ平台绕旋转轴114的旋转是自动执行的,例如响应于操作员25对计算机处理器28的输入。典型地,无论XYZ平台是自动旋转还是手动旋转,出于安全原因,当满足一组操作参数时,机器人系统将仅允许XYZ平台在一个或两个旋转方向上旋转。

[0157] 典型地,由于临床或安全相关的原因,XYZ平台被移离患者的眼睛,并且为操作员提供接近患者的通道。例如,在医生无法使用机器人进行手术的情况下,XYZ平台的旋转提供了接近患者的通道。以这种方式,医生可以手动执行该手术,而不需要患者移动。或者,举例来说,如果患者需要立即救治(如抢救),XYZ平台的旋转可以让病人立即得到救治。对于一些应用,XYZ平台移动离开患者,以便允许无菌盖布放置在机器人系统上,同时避免与患者接触可能导致的交叉污染。类似地,XYZ平台移动离开患者,以便允许患者被盖布覆盖,同时避免可能由与机器人系统接触引起的交叉污染。对于一些应用,XYZ平台移动离开患者的眼睛,以便允许患者将她/他的头部定位在头部支撑116内。

[0158] 参考图6A-图6D,对于一些应用,机器人单元20包括耦合到末端执行器35并设置在机器人单元基座121上的一个或多个机器人臂120。机器人臂通常被配置成借助于一个或多个机器人臂的移动来使耦合到末端执行器的工具通过俯仰和偏航旋转进行旋转,如下文参考图7-图9进一步详细描述。对于一些应用,机器人单元基座设置在XYZ平台110上,XYZ平台110被配置成沿着XY平面内的X方向和Y方向以及沿着垂直于XY平面的Z方向移动机器人单元。例如,从图6A到图6B的过渡示出了机器人单元沿着Y轴移动,从图6A到图6C的过渡示出了机器人单元沿着X轴移动,并且从图6A到图6D的过渡示出了机器人单元沿着Z轴移动。

[0159] 对于一些应用,XYZ平台110包括第一可滑动遮蔽器122和第二可滑动遮蔽器123,第一可滑动遮蔽器122被配置为当机器人单元沿着X方向移动时通过沿着X方向滑动来覆盖XYZ平台的内部,并且第二可滑动遮蔽器123被配置为当机器人单元沿着Y方向移动时通过沿着Y方向滑动来覆盖XYZ平台的内部。典型地,其中一个遮蔽器设置在另一个遮蔽器上并相对于另一个遮蔽器垂直。例如,如图所示,第一可滑动遮蔽器122(其被配置为当机器人单元沿着X方向移动时通过沿着X方向滑动来覆盖XYZ平台的内部)设置在第二可滑动遮蔽器123上并相对于第二可滑动遮蔽器123垂直(第二可滑动遮蔽器123被配置为当机器人单元沿着Y方向移动时通过沿着Y方向滑动来覆盖XYZ平台的内部)。

[0160] 典型地,每个遮蔽器被设定尺寸成使得在X方向和Y方向的每个方向上向机器人单元提供大于100mm的运动范围,例如大于125mm、大于140mm或大于150mm的运动范围。此外,

典型地,遮蔽器被配置成使得即使当机器人单元在X方向或Y方向中的任一方向上处于其运动范围的极限时,遮蔽器也继续覆盖XYZ平台的内部。典型地,这是通过将遮蔽器尺寸定得比上述运动范围长(例如,遮蔽器的长度可以大于180mm或大于200mm),以及通过将多余的遮蔽器长度配置成卷入XYZ平台的内部来实现的。以这种方式,当机器人单元在X方向或Y方向中的任一方向上处于其运动范围的极限时,相应遮蔽器的多余长度覆盖了在XYZ平台的与机器人单元的位置相对的端部处的XYZ平台的内部。

[0161] 对于一些应用,XYZ平台110包括立柱124,其通常是伸缩立柱。机器人单元通常被支撑在立柱上,并且立柱被配置成沿着Z方向延伸或缩回,以便沿着Z方向移动机器人单元,如从图6A到图6D的过渡中所示。

[0162] 对于一些应用,利用机器人单元基座相对于XYZ平台的移动,以便将机器人单元移动得更靠近操作员。例如,在显微外科手术的一个阶段的执行期间,机器人单元基座相对于XYZ平台的位置可以保持不变,而末端执行器和工具的移动通过机器人臂的移动(例如,如下文参考图7-图9所述)和/或工具相对于末端执行器的滚动(例如,如上文参考图4A-图4D所述)来实现。在手术的阶段之间,机器人单元基座可以通过机器人单元基座相对于XYZ平台的移动而移动到更靠近操作员,例如,以便为操作员提供到工具安装件34的通道,使得操作员能够交换机器人单元中的工具,和/或对机器人单元进行不同的调整。

[0163] 现在参考图7,其是根据本发明的一些应用的机器人单元20的示意性横截面图。如上所述,机器人单元20通常包括一个或多个耦合到末端执行器35并设置在机器人单元基座121上的机器人臂120。对于一些应用,机器人臂被配置成借助于一个或多个机器人臂的移动来使耦合到末端执行器的工具通过俯仰和偏航旋转进行旋转。

[0164] 典型地,机器人单元被配置成将工具21插入患者的眼睛,使得该工具进入患者眼睛的入口是经由切口点,并且该工具的尖端被布置在患者眼睛内。此外,典型地,机器人单元被配置成在患者眼睛内移动工具的尖端,使得工具进入患者眼睛的入口被约束在切口点内。对于一些应用,机器人单元通过被配置成例如定义工具的远程运动中心(“RCM”)且使工具的RCM与切口点重合来实现这一点。注意,对于一些应用,机器人单元被配置成在患者眼睛内移动工具的尖端,使得工具进入患者眼睛的入口被约束为保持在切口区内,而不是切口点内,如下文参考图12进一步详细描述。在这种情况下,本申请中被描述为适用于切口点的所有方面经适当变通后也适用于切口区。术语“切口区域”在这里用于表示切口点或切口区。

[0165] 典型地,机器人臂具有平行四边形结构,具有一对或更多对平行臂(例如,如图所示的两对平行臂)。通常,平行四边形结构包括一对平行臂130,其沿着Z方向一个在另一个之上设置(至少当机器人臂相对于偏航旋转以中心取向设置时)。此外,典型地,平行臂用于约束末端执行器的移动,从而约束工具21的运动,使得当工具经历俯仰变化时,工具的RCM得以保持。对于一些应用,机器人臂被配置成借助于绕轴线132旋转来使耦合到末端执行器的工具通过偏航旋转进行旋转。典型地,这导致工具绕虚拟轴线(虚拟轴线是轴线132的外推)旋转。此外,典型地,工具围绕虚拟轴线的旋转使得当工具经历偏航角位置的变化时,工具的RCM保持不变。

[0166] 现在参考图8A和图8B,它们是根据本发明的一些应用的机器人单元20的俯仰旋转机构131的相应视图的示意图。图8A示出了斜视图,而图8B示出了横截面图。对于一些应用,

蜗轮134耦合到一对平行机器人臂130,使得蜗轮的旋转导致平行机器人臂经历俯仰变化。典型地,蜗杆136接合蜗轮并配置成旋转蜗轮。此外,典型地,弹簧138被配置成在给定方向上偏置这对平行机器人臂,以便减少平行机器人臂响应于蜗轮的旋转运动的变化而产生的反冲。通过上述方式配置俯仰旋转机构,通常情况下,在俯仰旋转的整个范围内,蜗杆的旋转和工具的角度俯仰旋转之间的关系是恒定的。这与例如依赖于线性驱动机构的其它俯仰旋转机构相反,在线性驱动机构中,线性驱动机构的运动和工具的角度俯仰旋转之间的关系在俯仰旋转的范围内变化。

[0167] 对于一些应用,机器人单元被配置成使工具安装件(从而移动工具)通过至少60度的俯仰角度旋转进行移动。典型地,工具安装件通过俯仰角度旋转进行移动是从距x-y平面大约20度(例如,在15和25度之间)的起始俯仰开始执行的。

[0168] 现在参考图9,其是根据本发明的一些应用的机器人单元20的偏航旋转机构140的示意图。典型地,机器人单元限定中心偏航位置,其中平行臂130一个在另一个之上设置。如上所述,对于一些应用,机器人臂被配置成借助于绕轴线132旋转来使耦合到末端执行器的工具通过偏航旋转进行旋转。典型地,这导致工具绕虚拟轴线(虚拟轴线是轴线132的外推)旋转。典型地,偏航旋转机构包括偏航马达142,其被配置成使平行机器人臂通过偏航角度旋转进行旋转。对于一些应用,偏航旋转机构还包括第一弹簧144和第二弹簧146,第一弹簧144被偏置,以阻止一对平行机器人臂从中心偏航旋转位置沿第一偏航旋转方向(例如,绕轴线132顺时针方向)旋转,第二弹簧146被偏置,以阻止一对平行机器人臂从中心偏航旋转位置沿第二偏航旋转方向(例如,绕轴线132逆时针方向)旋转。

[0169] 典型地,当平行机器人臂从中心偏航旋转位置旋转时,重力作用将臂从中心偏航旋转位置拉得更远。当臂在相应的方向上旋转时,第一弹簧和第二弹簧通常被配置成对抗这种重力拉力。这通常稳定了偏航旋转运动,使得在偏航旋转的整个范围内,偏航马达的旋转和工具的偏航旋转运动之间的关系是恒定的。此外,典型地,第一弹簧和第二弹簧用于减少偏航旋转运动期间的反冲。对于一些应用,第一弹簧和第二弹簧平衡力,使得施加到马达上的静态负载减少,从而减少其偏转(这是由于其有限的刚度)。通常,这导致工具的偏航旋转运动比没有弹簧时更平滑。

[0170] 对于一些应用,机器人单元被配置成工具安装件从中心偏航旋转位置通过正负25度的偏航角度旋转进行移动(从而移动工具)。

[0171] 总结图1-图9的描述,典型地,机器人系统10被配置成提供几种不同类型的运动,这些运动的任何组合都可以根据本发明的一些应用来实现。由机器人系统提供的运动类型可以包括以下任一种或其任意组合:

[0172] • XYZ平台在打开和关闭位置之间的移动。典型地,由于临床或安全相关的原因,XYZ

[0173] 平台被移离患者的眼睛,并且为操作员提供接近患者的通道。例如,在医生无法使用机器人进行手术的情况下,XYZ平台的旋转提供了接近患者的通道。以这种方式,医生可以手动执行该手术,而不需要患者移动。或者,举例来说,如果患者需要立即救治(如抢救),XYZ平台的旋转可以让病人立即得到救治。对于一些应用,XYZ平台移动离开患者,以便允许无菌盖布放置在机器人系统上,同时避免与患者接触可能导致的交叉污染。类似地,XYZ平台移动离开患者,以便允许患者被盖布覆盖,同时避免可能由与机器人系统接触引起的交

叉污染。对于一些应用,XYZ平台移动离开患者

[0174] 的眼睛,以便允许患者将她/他的头部定位在头部支撑116内

[0175] • 机器人单元基座相对于XYZ平台在X、Y和Z方向的移动。这通常在手术的阶段之间实

[0176] 现,以便向操作员提供对机器人单元的访问。例如,这可以被实现以使机器人单元更靠近护士(例如,便于更换工具)。

[0177] • 末端执行器的俯仰和偏航角度旋转(以及工具的俯仰和偏航角度旋转)。典型地,在手

[0178] 术中执行这种移动,以便将工具插入患者的眼睛,和/或以便在患者的眼睛内移动工具的尖端。此外,典型地,执行这些移动使得当工具的尖端在患者眼睛内移动时,工具进入患者眼睛的入口被约束为保持在切口区域内(例如,切口点或切口区)。对于一些应用,机器人单元通过被配置为定义工具的远程运动中心(“RCM”)且使工具的RCM

[0179] 与切口点重合来实现这一点。

[0180] • 工具相对于末端执行器的滚动。

[0181] • 工具的一部分被线性工具致动臂100轴向推动导致的工具的该部分的线性运动。例如,

[0182] 可以执行该移动以致动工具来执行功能。替代地或附加地,可以执行该动作,以便相对于患者的眼睛移动工具的一部分(例如,工具的尖端)。

[0183] 现在参考图10A、图10B和图10C,它们是根据本发明的一些应用,用角膜刀刀片40自动切开患者角膜150的各个步骤的示意图。如上所述,对于一些应用,操作员经由控制部件单元26(如图1所示)向机器人单元提供命令。通常,这种命令包括控制布置在机器人单元内的工具的位置和/或取向的命令、和/或控制由工具执行的动作的命令。对于一些应用,控制部件(例如,操纵杆70和/或控制部件工具71)被配置为由操作员移动,以便将角膜刀刀片朝向角膜150移动。典型地,控制部件包括致动机构(例如,按钮或压敏垫)。对于一些应用,当角膜刀刀片设置在工具安装件内时,响应于操作员致动致动机构,计算机处理器被配置成驱动机器人臂在非线形方向上移动角膜刀刀片,以便在患者的角膜内进行成角度的切口。如从图10A到图10B的过渡中所示,角膜刀刀片的尖端151通常以第一角度插入,以便切割患者角膜的第一部分152。如从图10B到图10C的过渡中所示,角膜刀刀片尖端的角度被调节到第二角度以切割患者角膜的第二部分154,使得切口的第二部分与切口的第一部分成一定角度设置。通常,这导致切口符合患者角膜的自然曲率。

[0184] 现在参考图11A、图11B和图11C,它们是根据本发明的一些应用,工具通过患者角膜中的切口点自动缩回的各个步骤的示意图。如上参照图2所述的,典型地,机器人单元20被配置为与具有彼此不同的形状的多个工具21一起使用。典型地,机器人单元被配置成将工具21插入患者的眼睛,使得工具经由切口区域160(例如,切口点或切口区)进入患者的眼睛,并且工具的尖端162设置在患者的眼睛内。此外,典型地,机器人单元被配置成在患者眼睛内移动工具的尖端,使得工具进入患者眼睛的入口被约束为保持在切口区域内。通常,希望通过切口区域将工具从患者的眼睛缩回。然而,在某些情况下,工具在患者眼中的部分具有非线性形状。此外,由于工具具有彼此不同的形状和尺寸,为了通过切口区域从患者的眼睛移除任何给定的工具,需要特定的移动模式,所需的移动模式还取决于工具相对于切口

区域的位置和取向。

[0185] 鉴于上述情况,根据本发明的一些应用,计算机处理器28接收指示耦合到末端执行器的工具的输入。例如,操作员可以将工具的指示输入到计算机处理器中。替代地或附加地,每个工具可以具有工具识别部件(例如,标记69(如图2所示)),并且计算机处理器可以被配置成通过在工具的图像中识别工具识别部件来自动导出哪个工具当前耦合到末端执行器。进一步替代地或附加地,计算机处理器可以被配置成通过分析工具的图像来自动导出哪个工具当前耦合到末端执行器,即使不使用工具识别部件。响应于接收到指示工具应该从患者眼睛缩回的输入,计算机处理器驱动机器人单元以这样的方式移动工具:通过插入工具的切口区域移除工具。图11A-图11C示出了这种情况的一个例子,其示意性地示出了通过切口区域160移除工具21的具有非线性形状的一部分(在该示例中示出了尖端162)的移除。

[0186] 对于一些应用,计算机处理器另外确定工具相对于切口点的位置和/或取向,并且在驱动机器人单元经由切口区域移除工具时考虑该工具相对于切口区域的位置和/或取向。例如,计算机处理器可以被配置成通过识别图像中的工具识别部件(例如,标记69)和切口区域来自动导出工具相对于切口区域的位置和/或取向。替代地或附加地,计算机处理器可以被配置成通过分析工具和切口区域的图像,即使不使用工具识别部件,也能自动导出工具相对于切口区域的位置和/或取向。

[0187] 现在参考图12,根据本发明的一些应用,图12是穿过患者角膜150插入的工具21的示意图,使得工具的尖端170以期望的方式在患者眼睛内移动,同时工具进入患者眼睛的入口保持在切口区172内。如上所述,机器人单元被配置成将工具21插入患者的眼睛,使得工具经由切口点进入患者的眼睛,并且工具的尖端设置在患者的眼睛内。对于一些应用,机器人单元被配置成在患者眼睛内移动工具的尖端,使得工具进入患者眼睛的入口被约束为保持在切口点内。可选地,如图12所示,不是将工具进入患者的眼睛的入口约束为保持在切口点内(该切口点通常仅略大于穿过切口点的工具的最大横截面),而是将工具进入患者的眼睛的入口约束为保持在大于切口点的切口区域内。对于一些应用,切口区的面积大于穿过切口区的工具的最大横截面的150%或200%。例如,工具进入患者的眼睛的入口可以被约束为保持在具有 2mm^2 到 10mm^2 面积的切口区内。典型地,机器人臂120被配置成控制工具的偏航和俯仰角度旋转,使得工具的尖端在患者眼睛内以期望的方式移动,同时工具进入患者眼睛的入口保持在切口区域内。

[0188] 对于一些应用,机器人臂120被配置成允许工具进入患者眼睛的入口在切口区内移动,并且计算机处理器被配置成驱动输出单元以向操作员提供反馈,该反馈指示工具进入患者眼睛的入口在切口区内的位置。例如,计算机处理器可以在显示器24上生成输出,该输出示出切口区和工具在切口区内的入口的位置。对于一些应用,当工具移动使得工具进入患者眼睛的入口的位置靠近切口区的边缘时,产生输出,例如视觉或听觉警报。

[0189] 如上所述,对于一些应用,操作员经由控制部件单元26(如图1所示)向机器人单元提供命令。通常,这种命令包括控制布置在机器人单元内的工具的位置和/或取向的命令、和/或控制由工具执行的动作的命令。对于一些应用,计算机处理器被配置成驱动控制部件单元向操作员提供触觉反馈,该触觉反馈指示工具在切口区内进入患者眼睛的位置。例如,当工具移动使得工具进入患者眼睛的入口位置更靠近切口区的边缘时,控制部件单元的移

动阻力可以增加,和/或控制部件单元可以振动,和/或可以产生不同的输出。

[0190] 尽管参照白内障手术描述了本发明的一些应用,但是本申请的范围包括将本文描述的装置和方法经适当修改后应用于其他医疗手术。具体地,本文描述的用于其他医疗手术的装置和方法可以应用于其他显微外科手术,例如普通外科手术、矫形外科手术、妇科外科手术、耳鼻喉科手术、神经外科手术、口腔颌面外科手术、整形外科手术、足病外科手术、血管外科手术、和/或使用显微外科技术执行的儿科外科手术。对于一些这样的应用,成像系统包括一个或更多个显微成像单元。

[0191] 应当注意,本申请的范围包括将本文描述的装置和方法经适当修改后应用于除白内障外科手术以外的眼内手术。这种手术可包括胶原交联、内皮角膜移植术(例如,DSEK、DMEK、和/或PDEK)、DSO(无移植的角膜后弹力层剥离)、激光辅助角膜移植术、角膜移植术、LASIK/PRK、SMILE、翼状胬肉、眼表癌症治疗、二期IOL植入(缝合后的二期IOL植入、经结膜的二期IOL植入等)、虹膜修复、IOL复位、IOL置换、浅表角膜切除术、微创青光眼手术(MIGS)、角膜缘干细胞移植、散光性角膜切开术、角膜缘松解切开术(LRI)、羊膜移植(AMT)、青光眼手术(例如,小梁切除术(trabs)、导管植入术(tubes)、微创青光眼手术)、自动板层角膜移植术(ALK)、前玻璃体切除术、和/或平坦部前玻璃体切除术。

[0192] 本文描述的发明的应用可以采取可从计算机可用或计算机可读介质(例如,非暂时性计算机可读介质)访问的计算机程序产品的形式,该计算机可用或计算机可读介质提供用于由计算机或任何指令执行系统(例如,计算机处理器28)使用或与之结合使用的程序代码。出于此描述的目的,计算机可用或计算机可读介质可以是可包括、存储、传送、传播、或输送用于由指令执行系统、装置或设备使用或与之结合使用的程序的任何装置。介质可以是电子介质、磁介质、光介质、电磁介质、红外介质、或半导体系统(或装置或设备)或传播介质。通常,计算机可用或计算机可读介质是非暂时性的计算机可用或计算机可读介质。

[0193] 计算机可读介质的示例包括半导体或固态存储器、磁带、可移动计算机软盘、随机存取存储器(RAM)、只读存储器(ROM)、刚性磁盘和光盘。光盘的当前示例包括致密光盘只读存储器(CD-ROM)、致密光盘读/写(CD-R/W)、DVD、和USB驱动器。

[0194] 适于存储和/或执行程序代码的数据处理系统将包括通过系统总线直接或间接耦合到存储器元件的至少一个处理器(例如,计算机处理器28)。存储器元件可以包括在程序代码的实际执行期间使用的本地存储器、大容量存储部和高速缓冲存储器,高速缓冲存储器提供至少一些程序代码的临时存储,以便减少在执行期间必须从大容量存储部检索代码的次数。系统可以读取在程序存储设备上的本发明指令,并遵循这些指令来执行本发明的实施例的方法。

[0195] 网络适配器可以耦合到处理器,以使处理器能够通过介入的私有或公共网络耦合到其他处理器或远程打印机或存储设备。调制解调器、电缆调制解调器和以太网卡只是目前可用的网络适配器类型中的几种。

[0196] 用于执行本发明的操作的计算机程序代码可以用一种或更多种编程语言(包括面向对象编程语言(诸如Java、Smalltalk、C++等)以及传统过程编程语言(诸如,C编程语言或类似的编程语言))的任意组合来编写。

[0197] 将会理解,本文描述的算法可以通过计算机程序指令来实现。这些计算机程序指令可被提供给通用计算机的处理器、专用计算机的处理器、或用于生产机器的其他可编程

数据处理装置的处理器,使得通过计算机的处理器(例如计算机处理器28)或其他可编程数据处理装置的处理器执行的指令产生用于实现在本申请中描述的算法中所指定的功能/动作的手段。这些计算机程序指令还可以被存储在计算机可读介质(例如,非暂时性计算机可读介质)中,该计算机可读介质可以指导计算机或其他可编程数据处理装置以特定方式起作用,使得存储在计算机可读介质中的指令产生制品,该制品包括实现算法中所指定功能/动作的指令手段。计算机程序指令也可以被加载到计算机或其他可编程数据处理装置上,以使一系列操作步骤在计算机或其他可编程装置上被执行以产生计算机实现的过程,使得在计算机或其他可编程装置上执行的指令提供用于实现在本申请中描述的算法中所指定的功能/动作的过程。

[0198] 计算机处理器28通常是用计算机程序指令编程以产生专用计算机的硬件设备。例如,当计算机处理器28被编程为执行参考附图描述的算法时,计算机处理器28通常充当专用机器人系统计算机处理器。通常,本文描述的由计算机处理器28执行的操作根据所使用的存储器技术将存储器(该存储器是真实物理物品)的物理状态转换成具有不同的磁极性、电荷等。对于一些应用,被描述为由计算机处理器执行的操作由多个计算机处理器相互组合地执行。

[0199] 本领域技术人员将认识到,本发明不限于在上文中已具体示出和描述的内容。而是,本发明的保护范围包括在上文中描述的各种特征的组合和子组合,以及本领域技术人员在阅读前面的描述时将会想到的、不在现有技术中的这些特征的变化和修改。

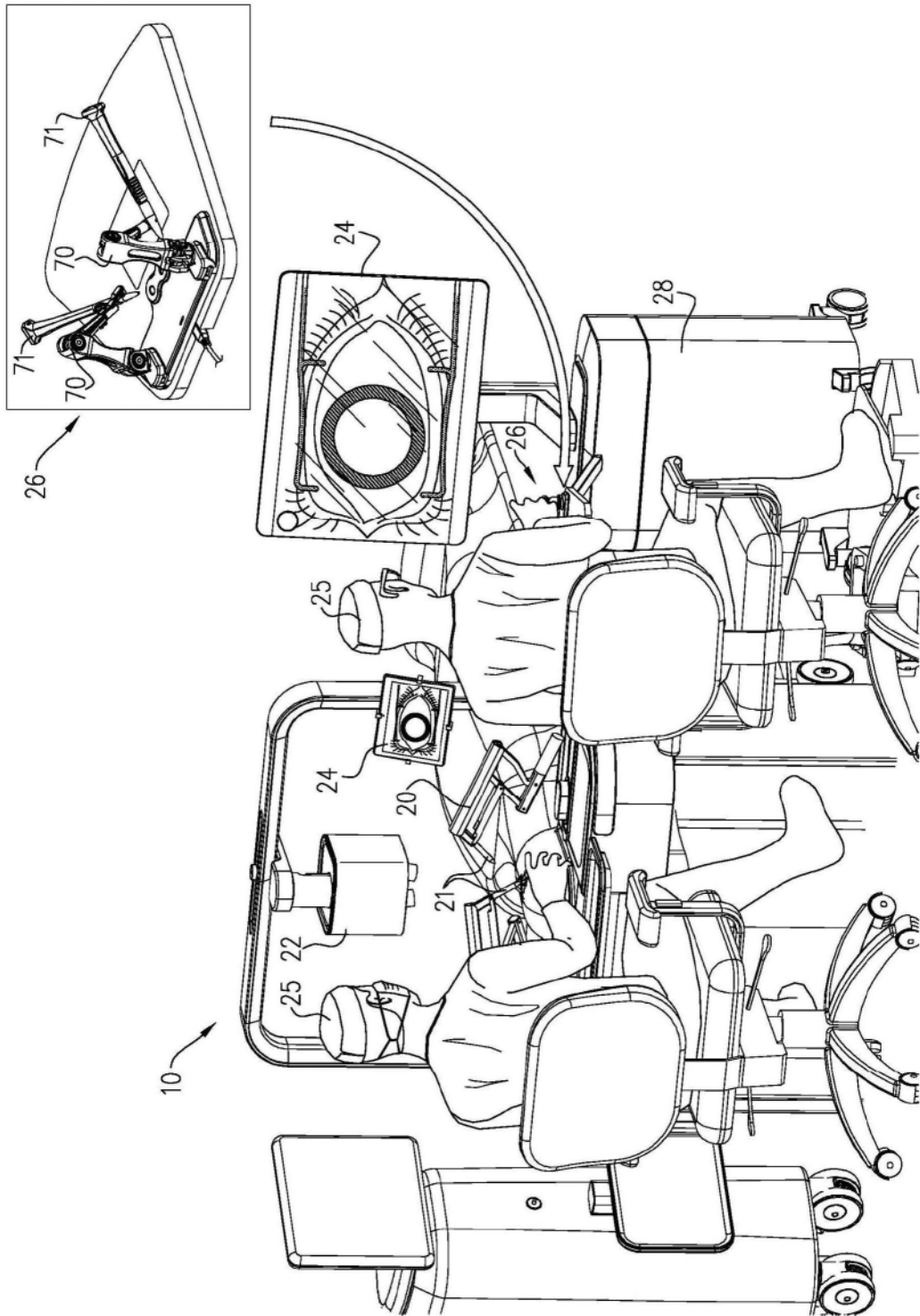


图1

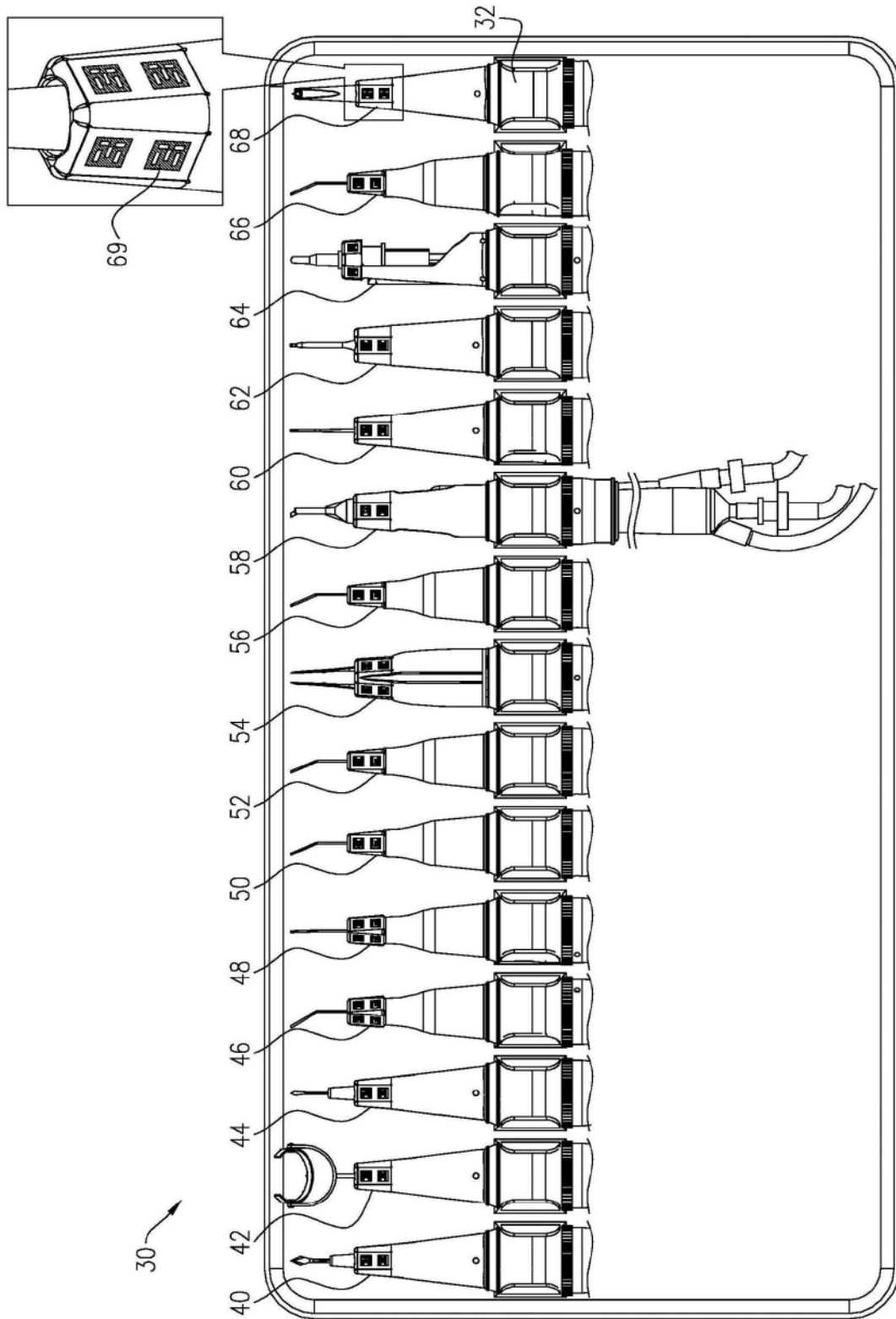


图2

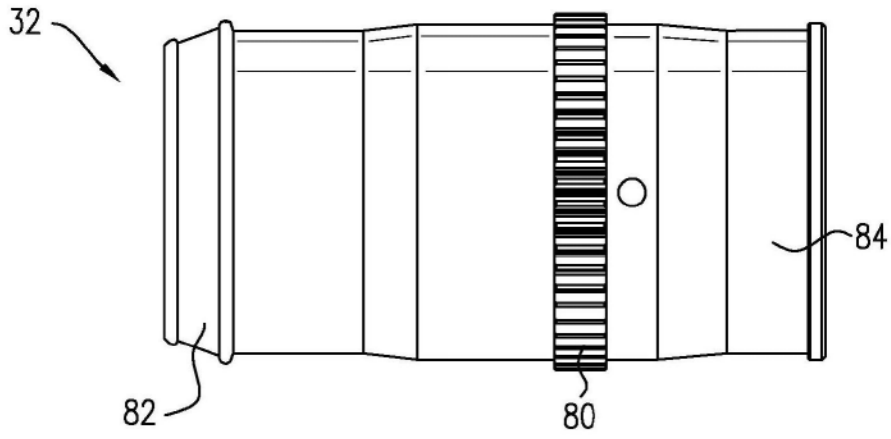


图3A

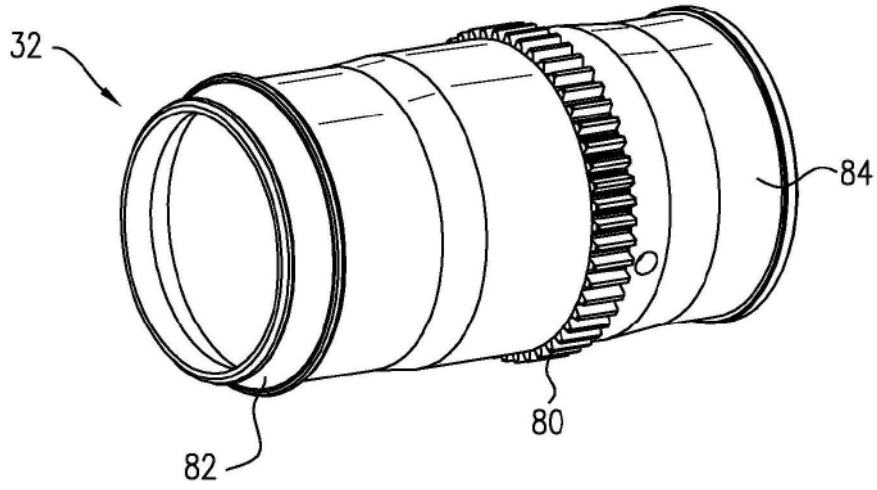


图3B

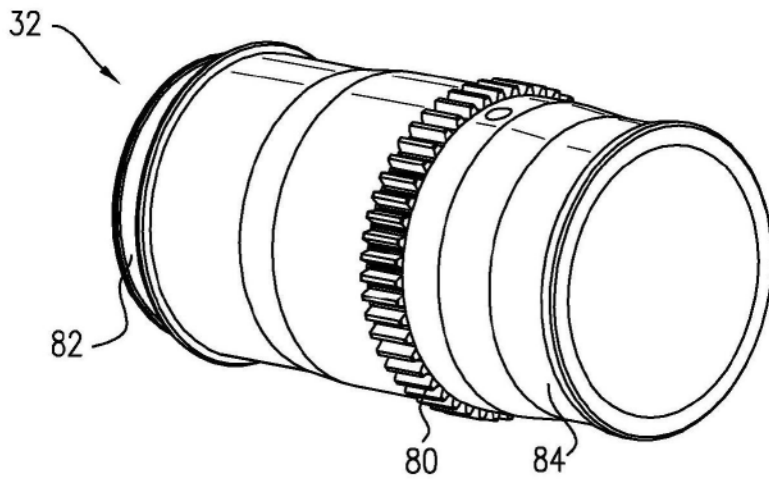


图3C

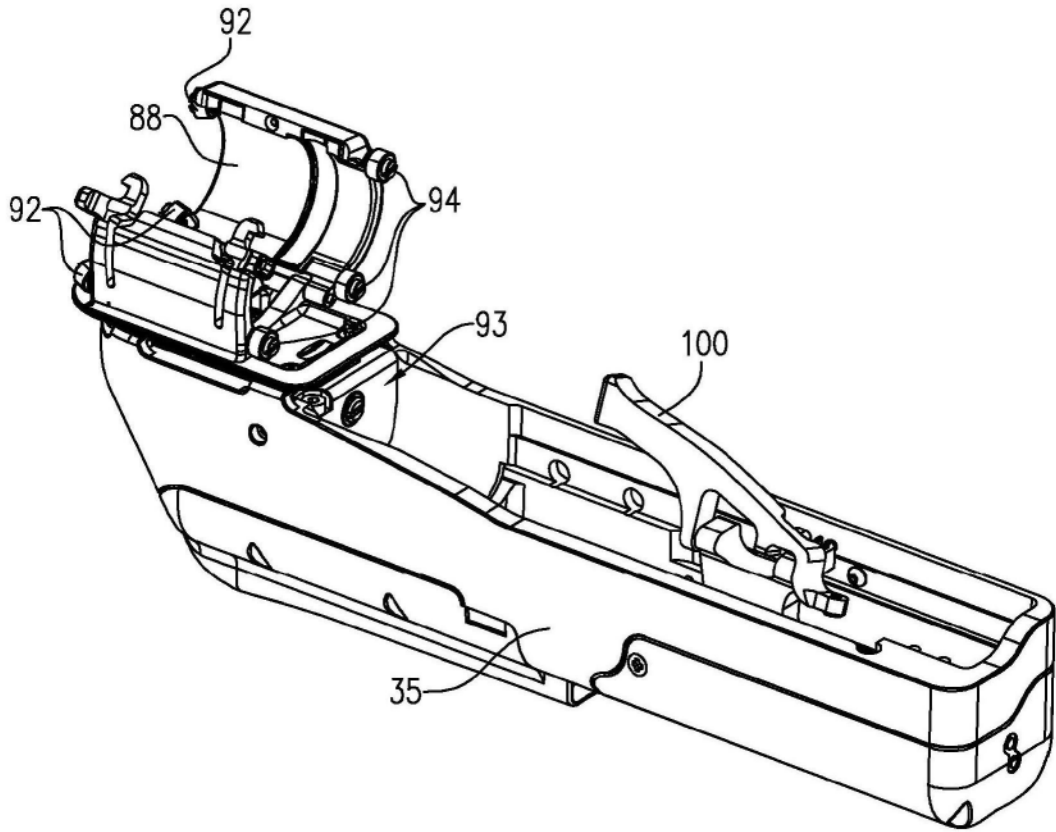


图4A

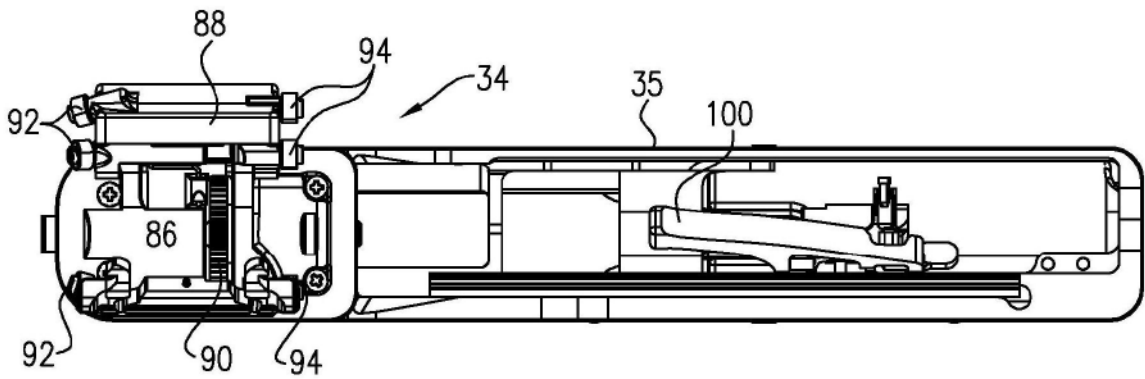


图4B

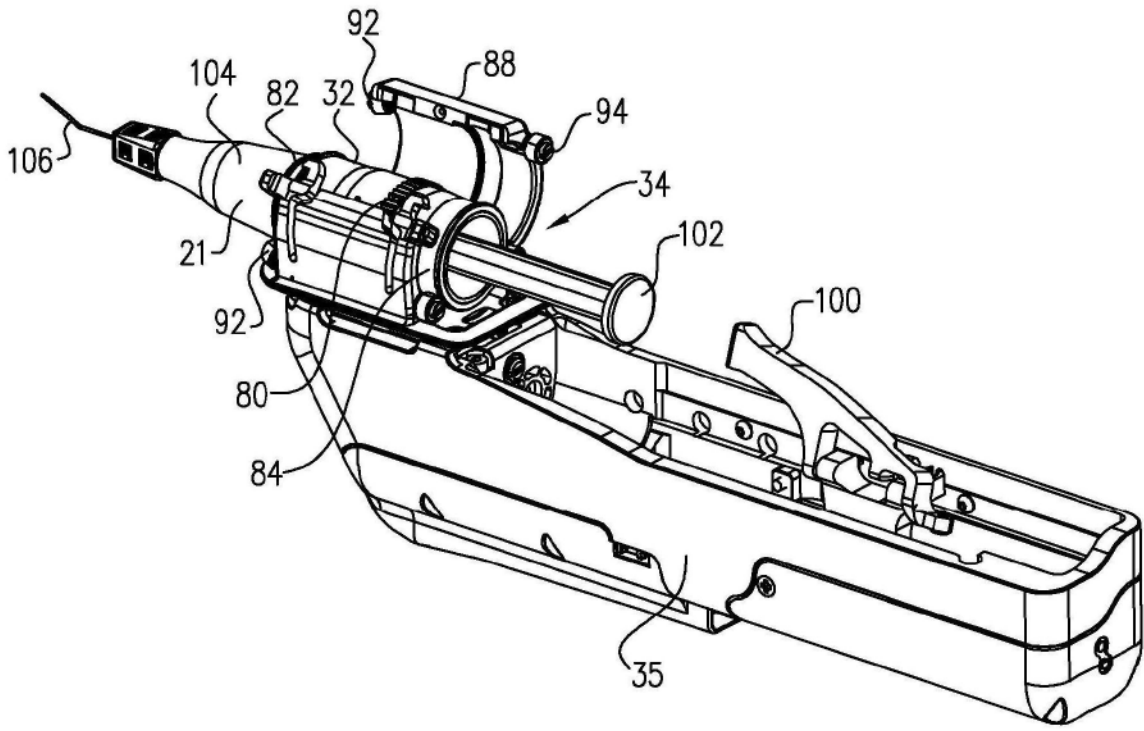


图4C

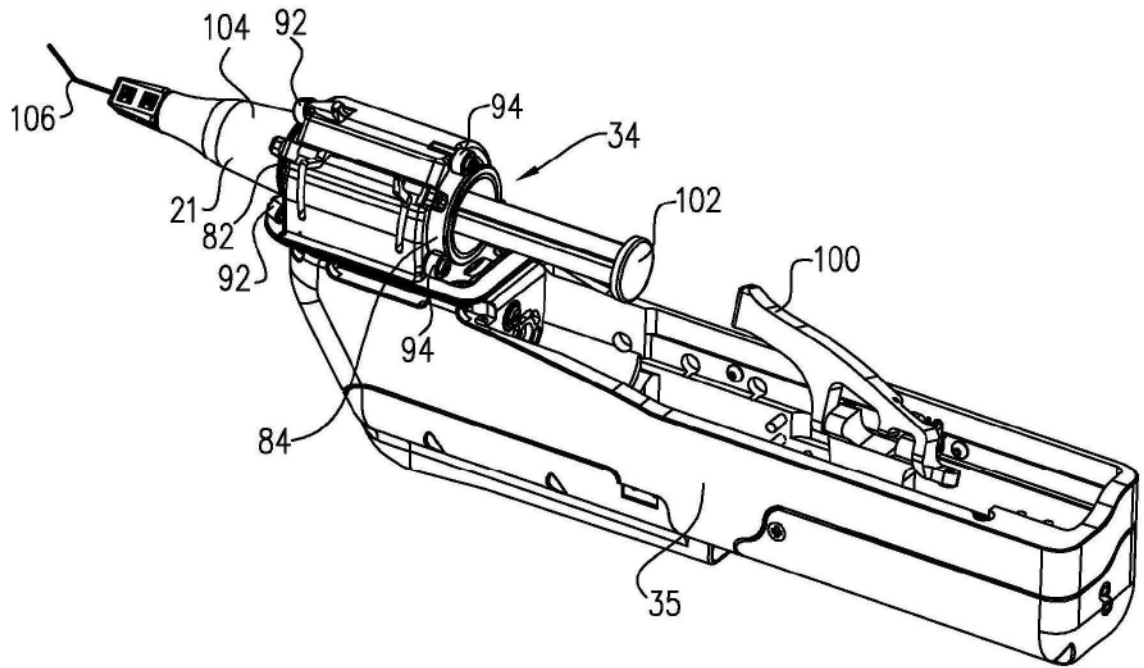


图4D

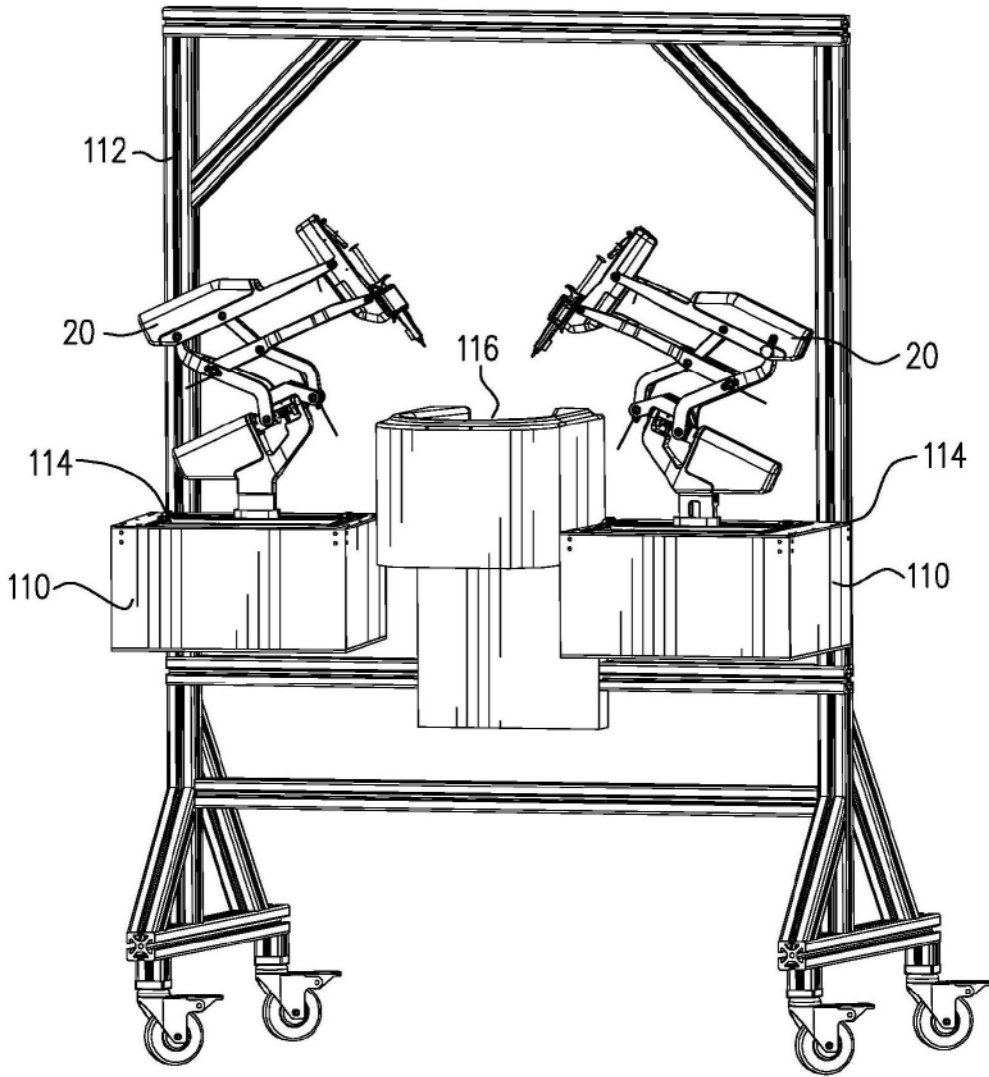


图5A

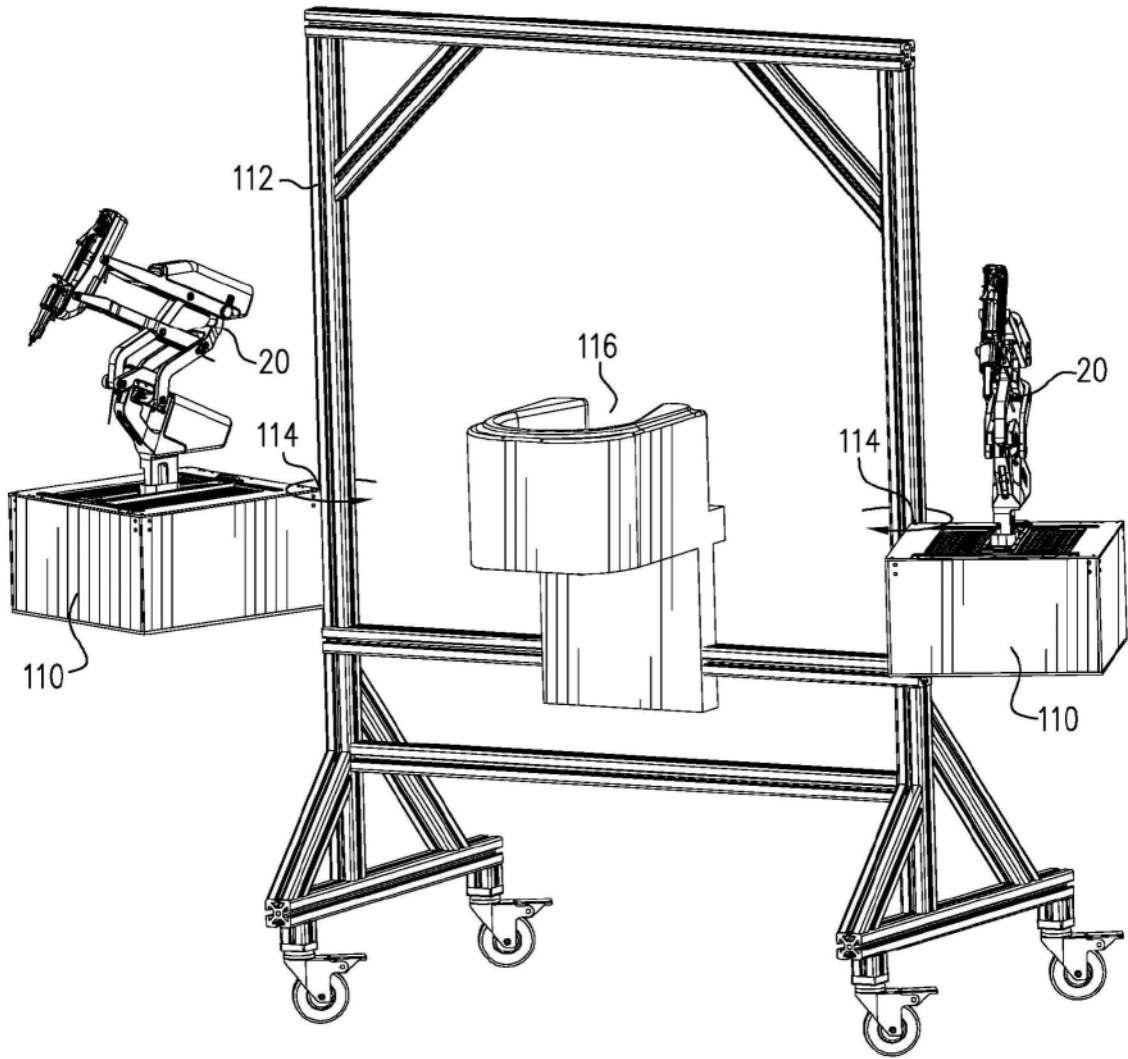


图5B

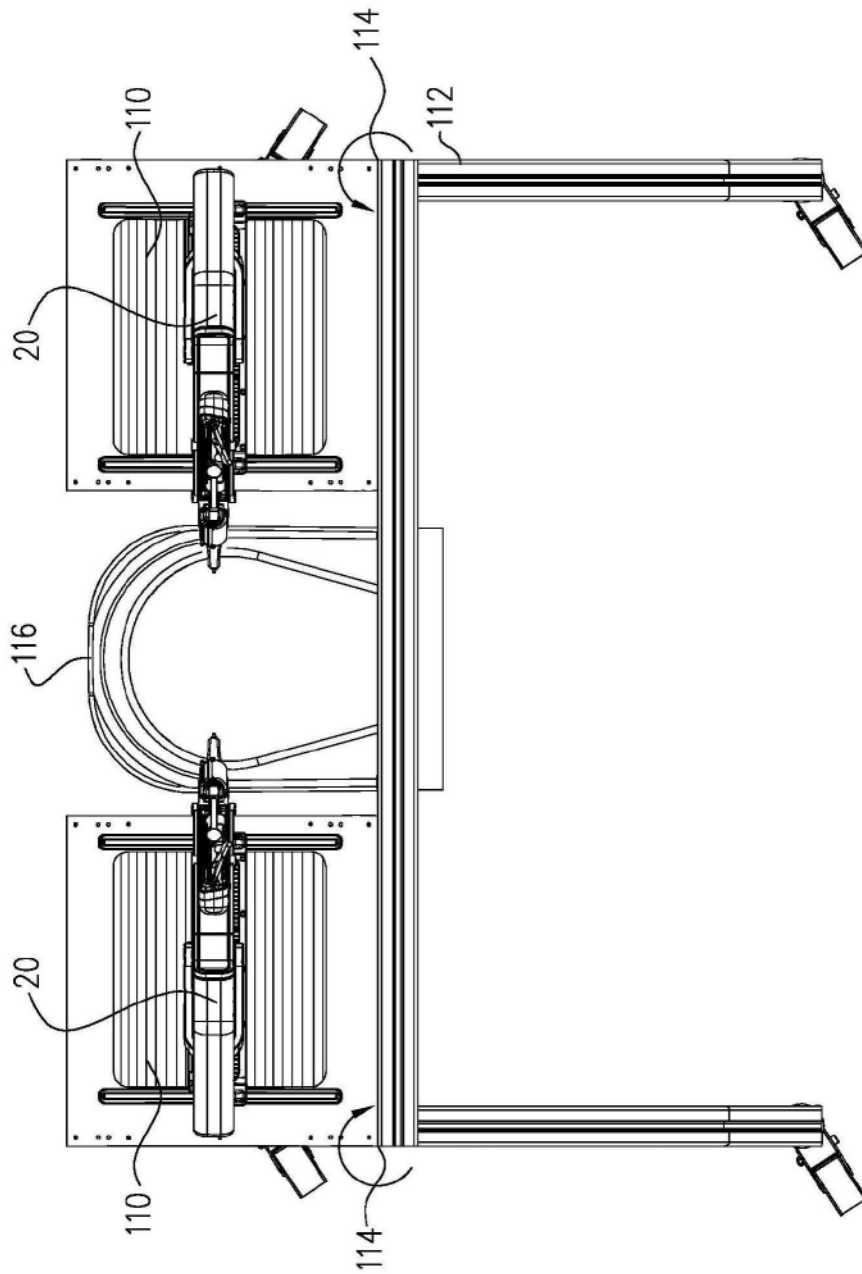


图5C

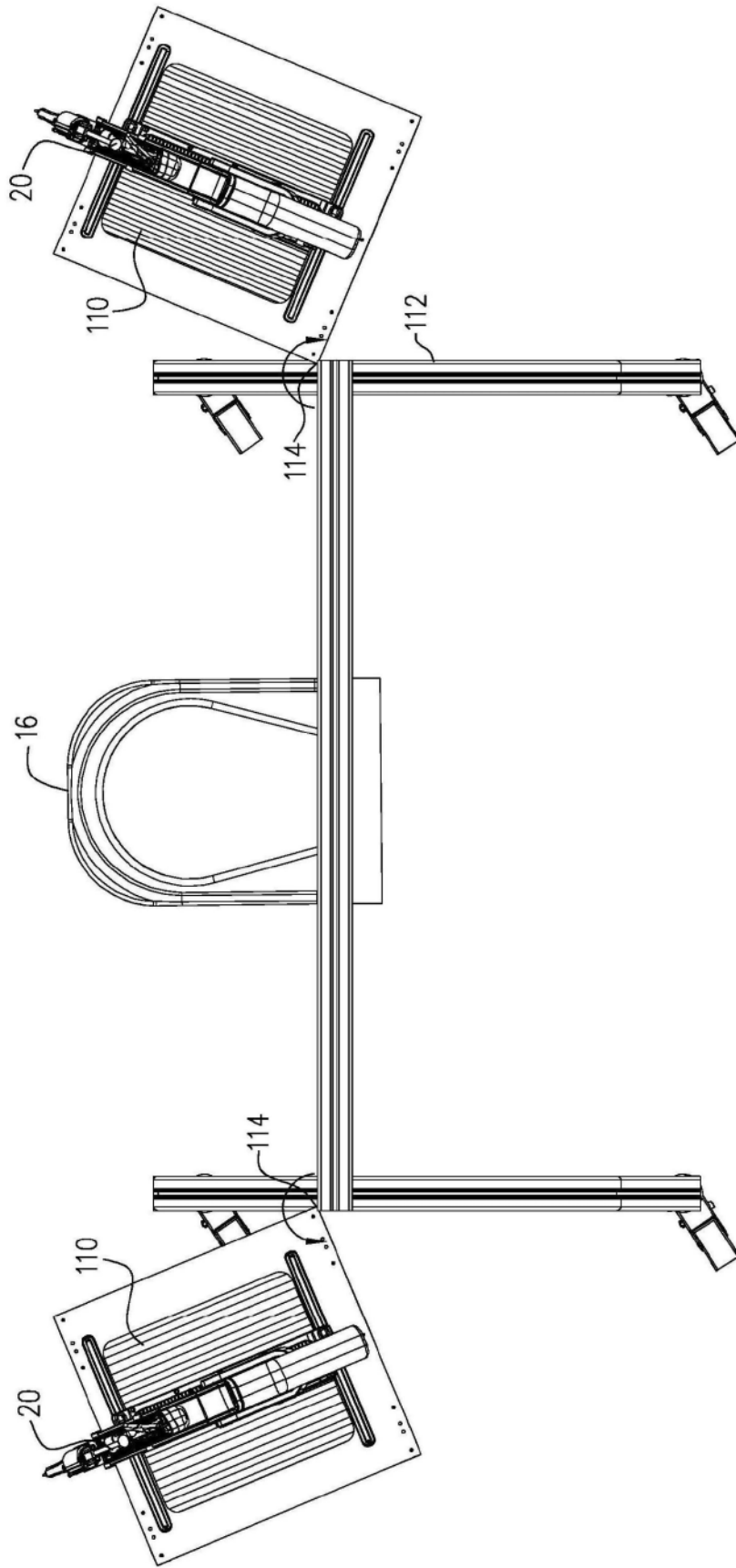


图5D

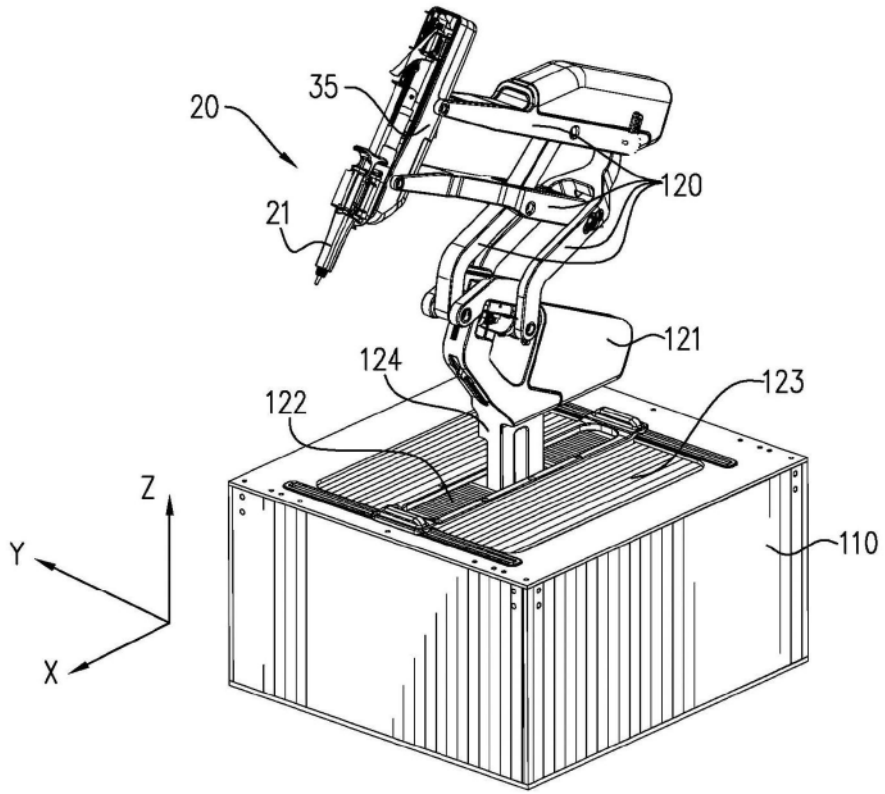


图6A

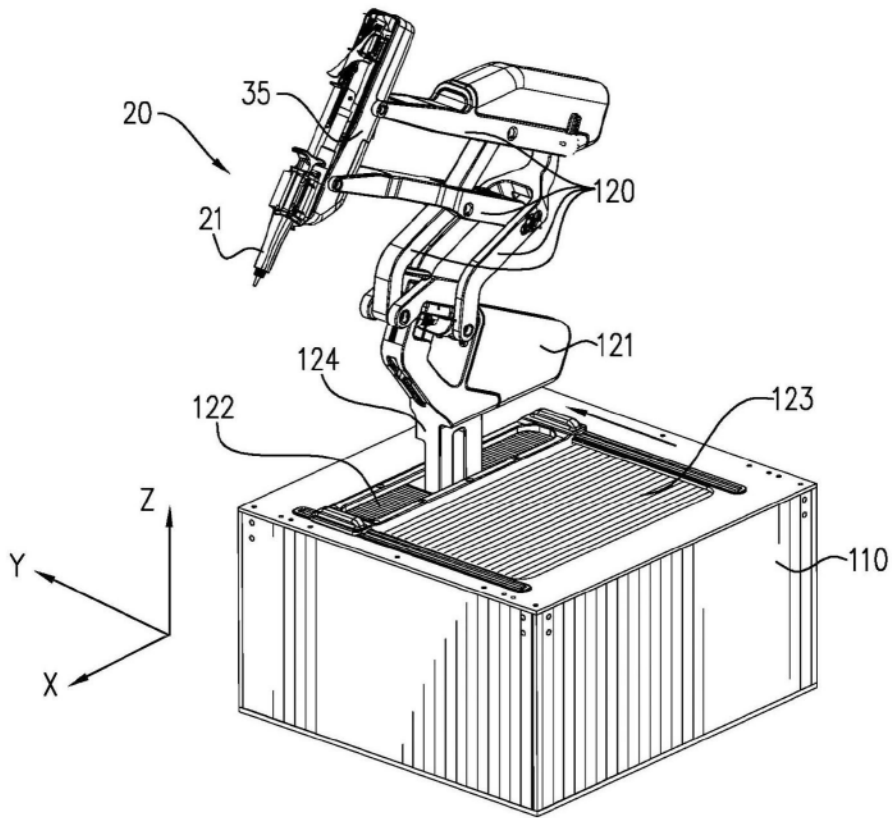


图6B

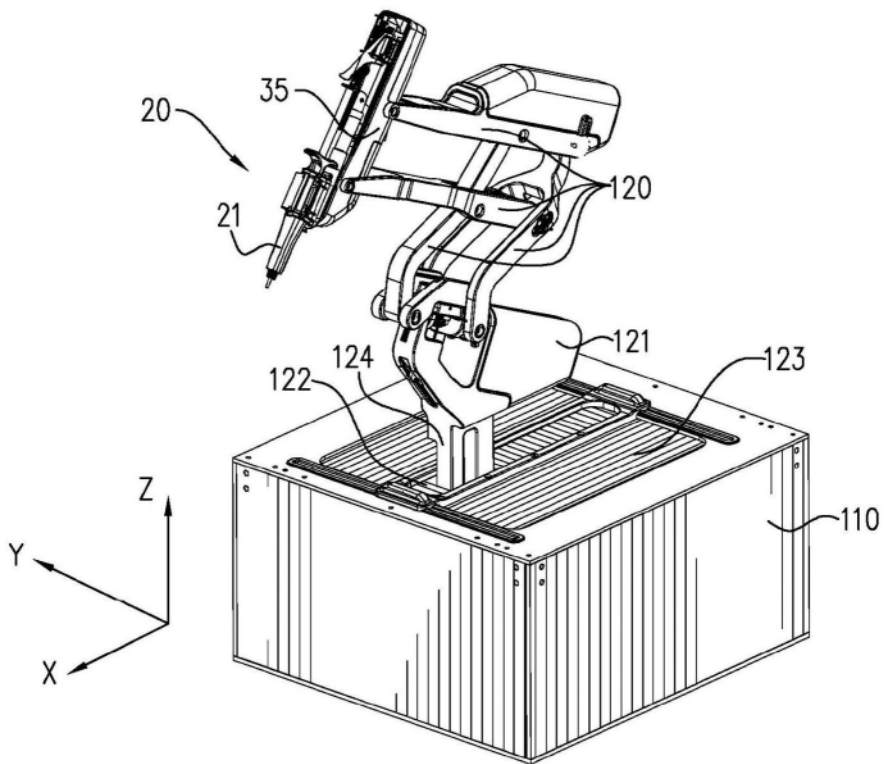


图6C

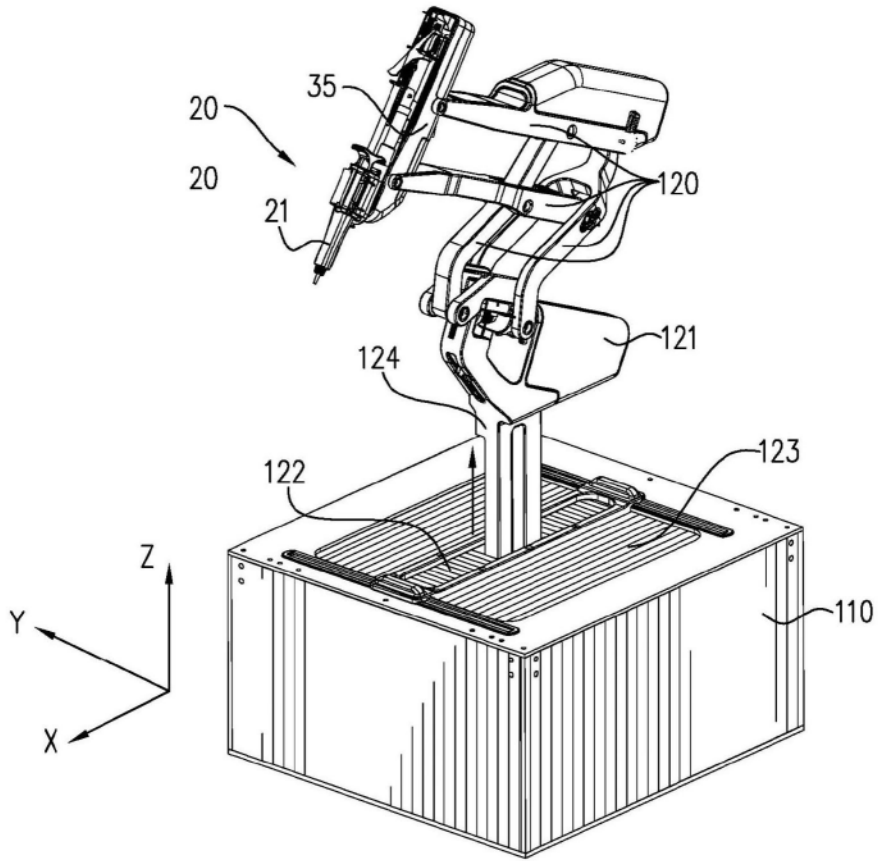


图6D

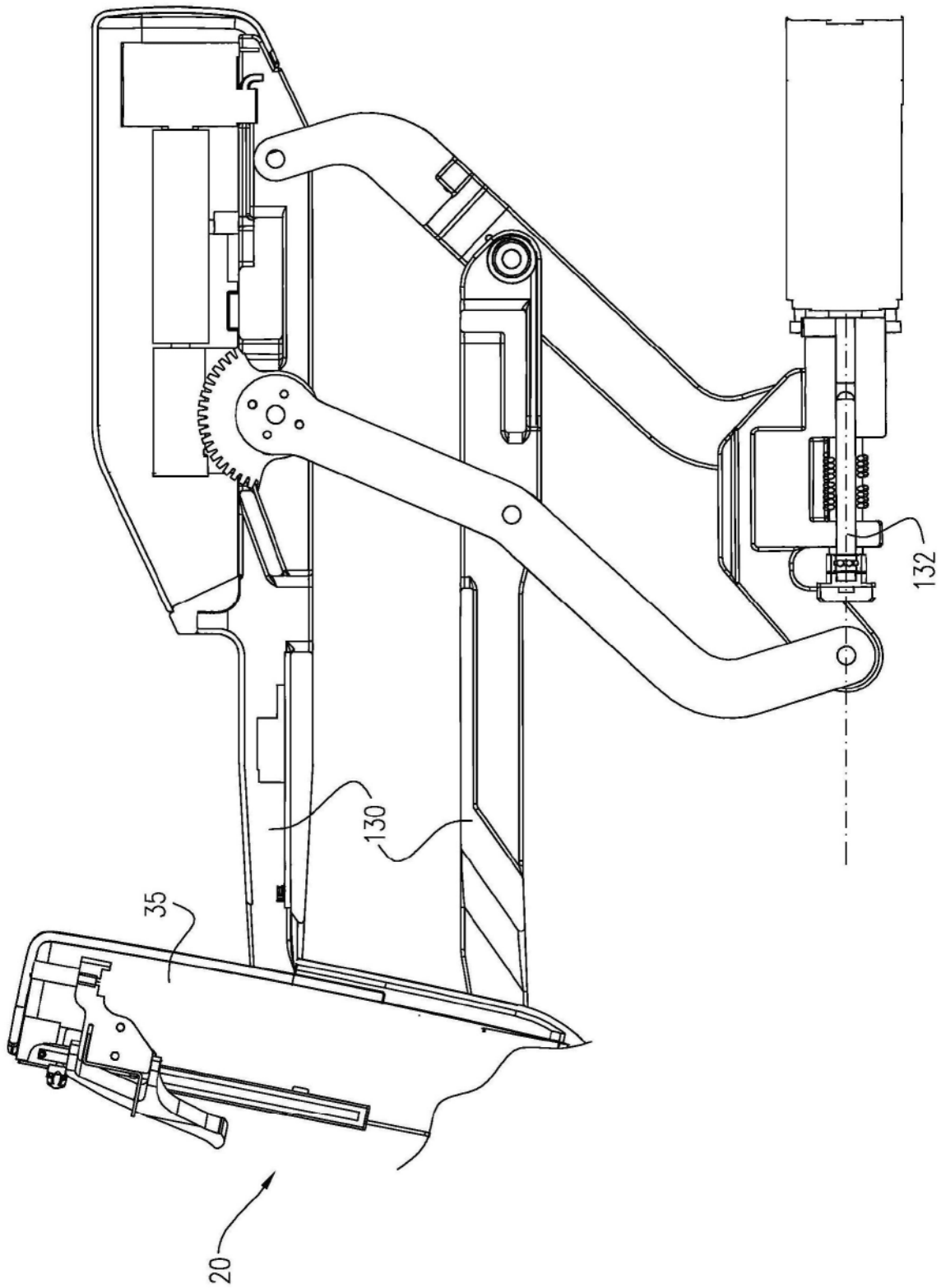


图7

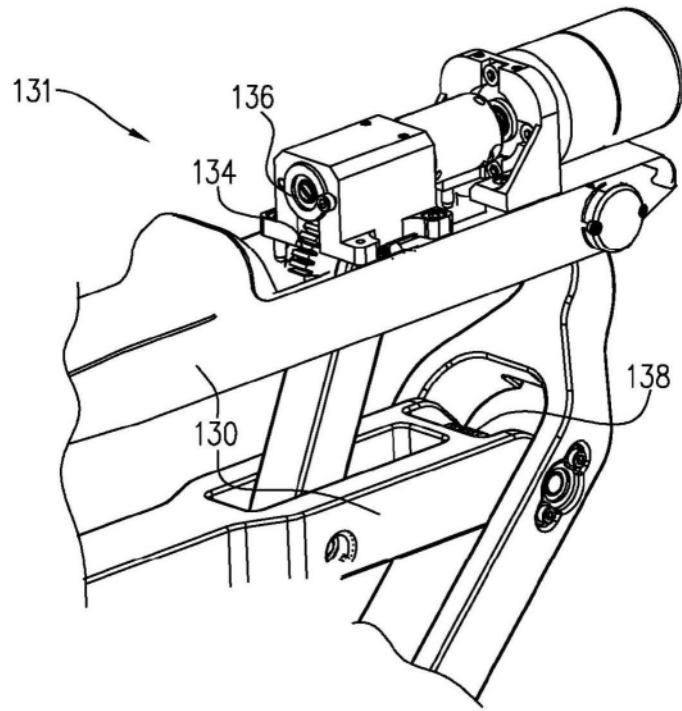


图8A

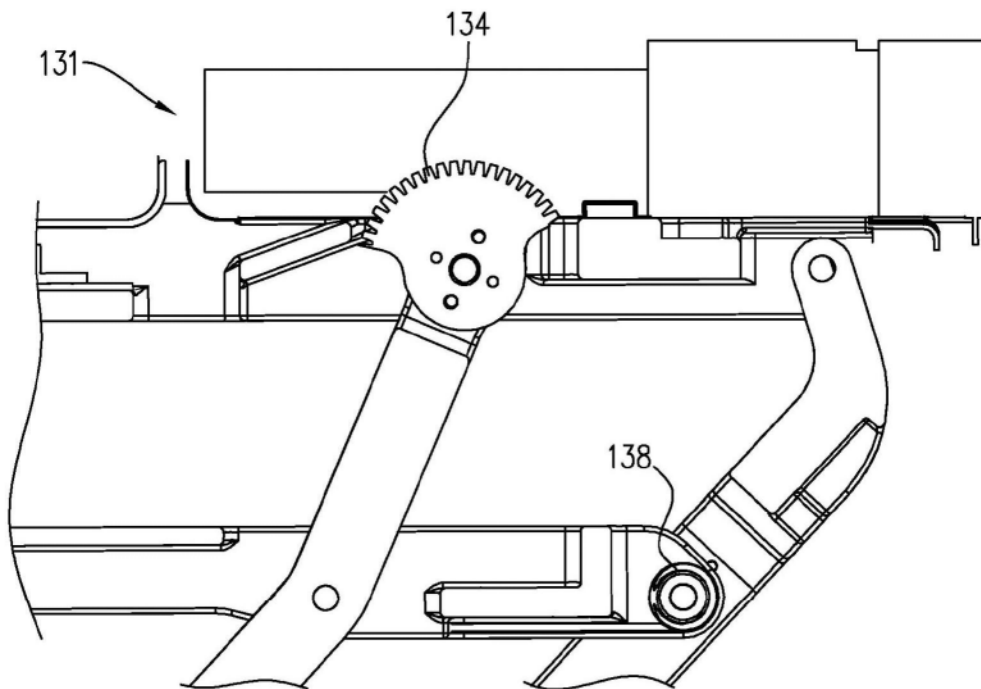


图8B

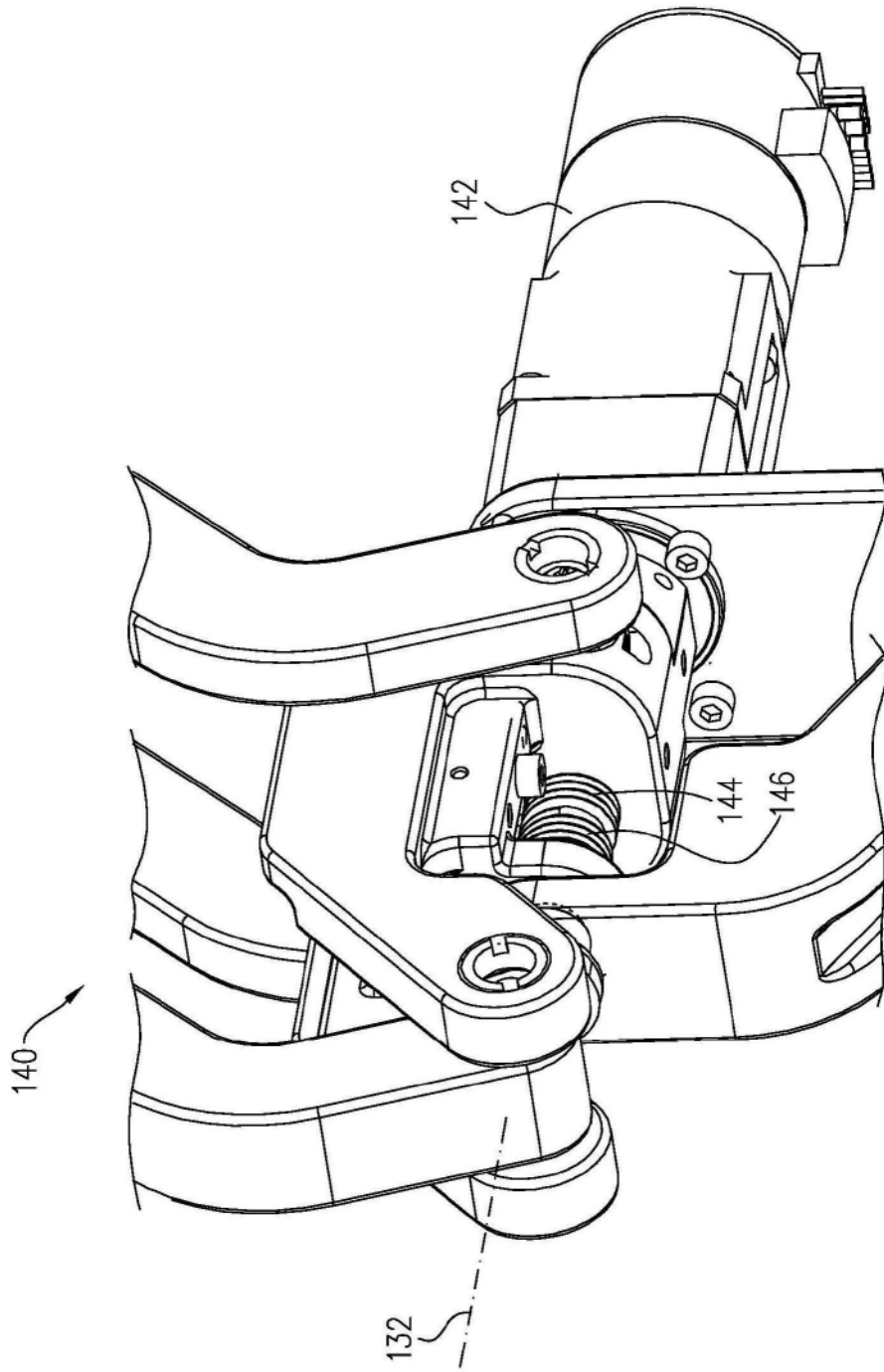


图9

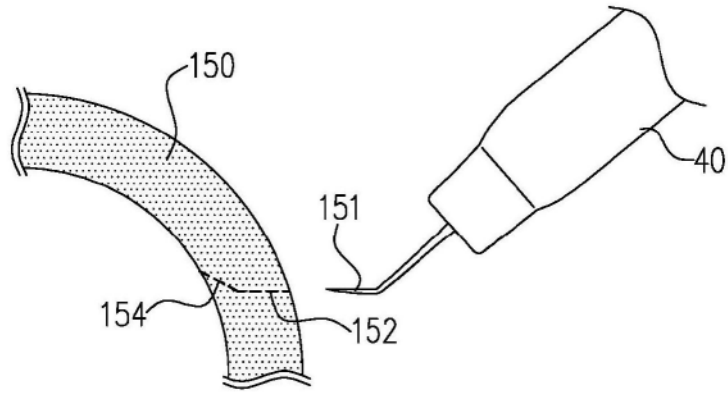


图10A

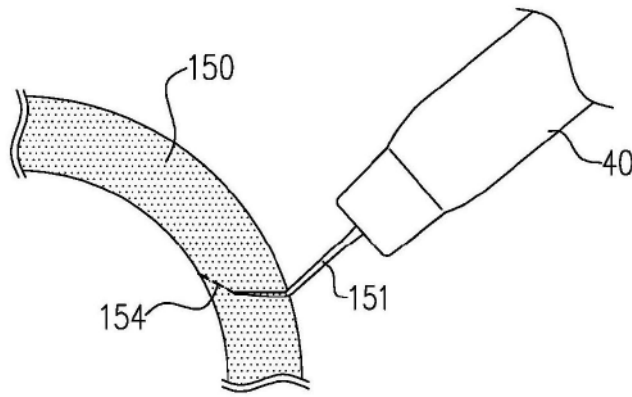


图10B

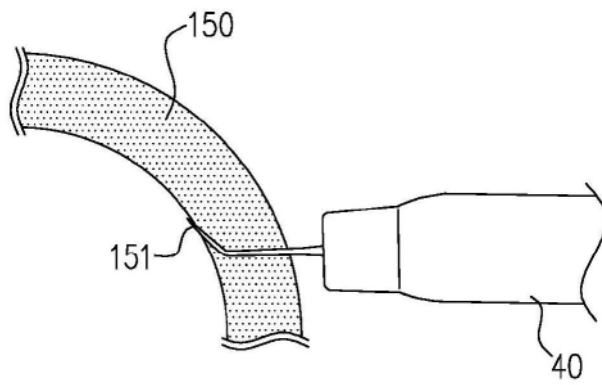


图10C

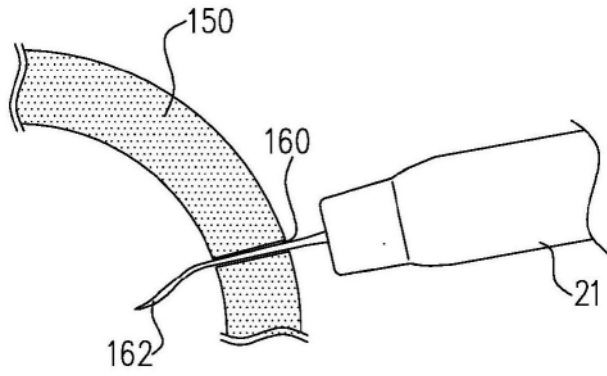


图11A

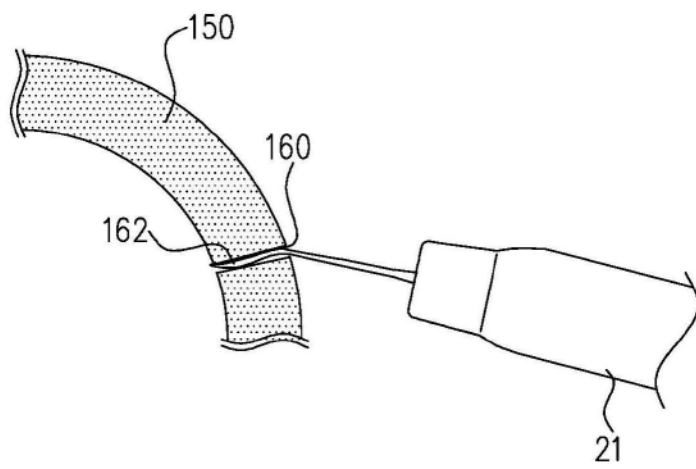


图11B

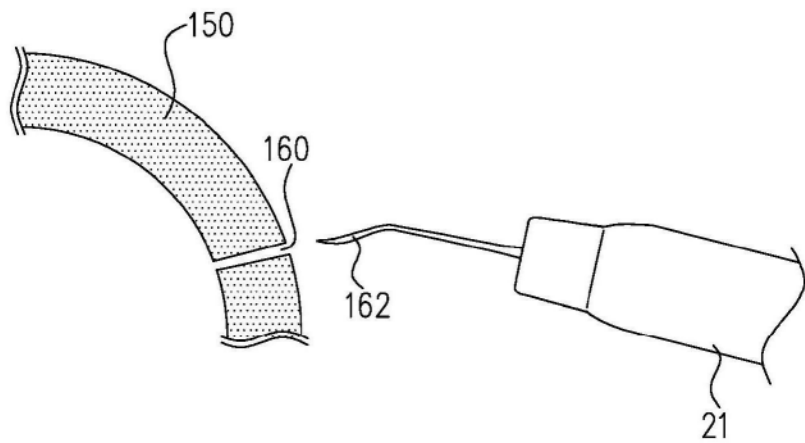


图11C

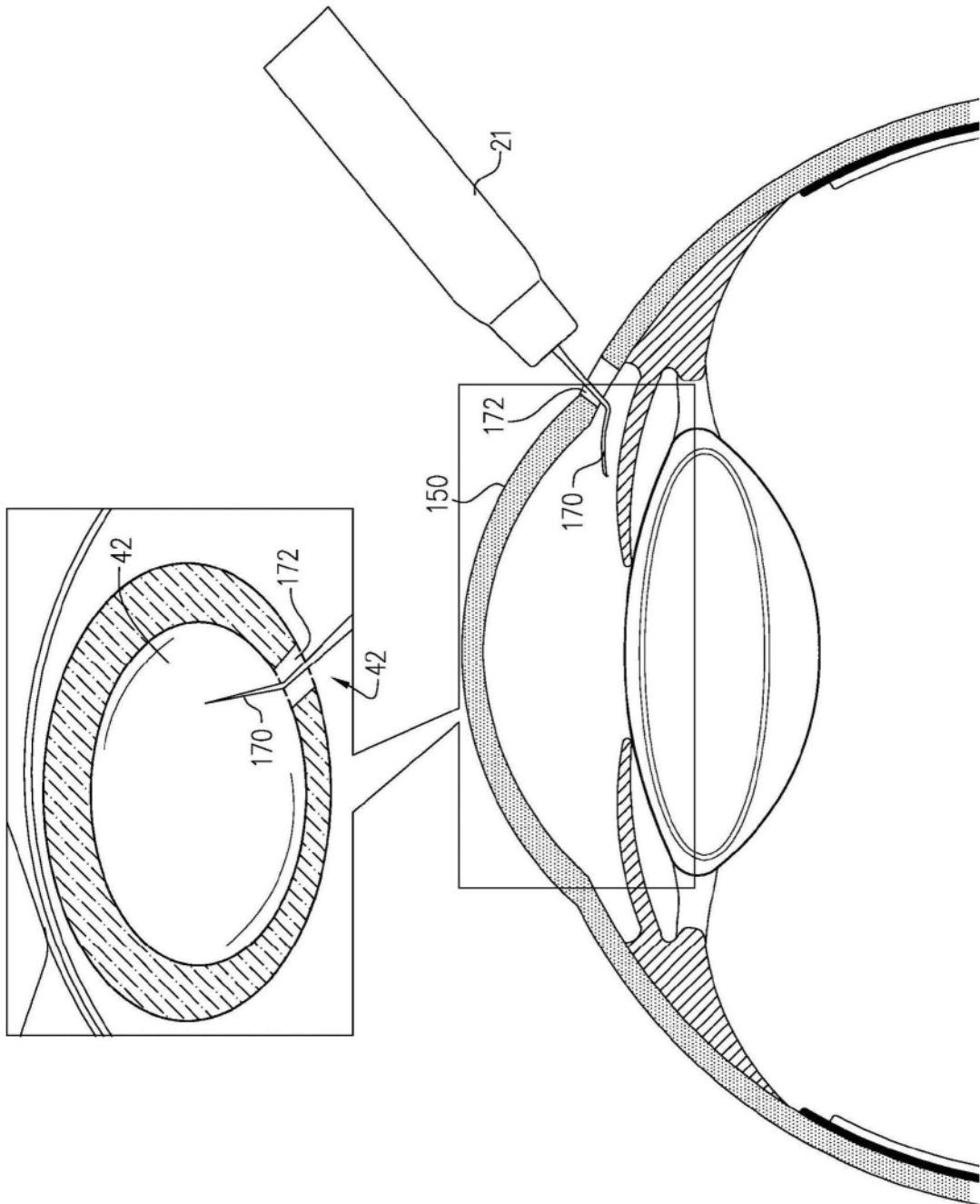


图12