



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107635472 A

(43)申请公布日 2018.01.26

(21)申请号 201680034144.6

(22)申请日 2016.06.20

(30)优先权数据

62/181,859 2015.06.19 US

62/181,862 2015.06.19 US

62/347,527 2016.06.08 US

(85)PCT国际申请进入国家阶段日

2017.12.11

(86)PCT国际申请的申请数据

PCT/US2016/038433 2016.06.20

(87)PCT国际申请的公布数据

W02016/205824 EN 2016.12.22

(71)申请人 神经系统分析公司

地址 美国加利福尼亚

(72)发明人 罗曼·弗洛里斯 马修·赫特

杰勒德·萨利纳斯

迈克尔·科斯塔

马修·西尔维斯特

罗伯特·汉密尔顿 科里·蒂博

利奥·彼得罗相 亚伦·格林

尚卡尔·拉达克里希南

(74)专利代理机构 北京超凡志成知识产权代理
事务所(普通合伙) 11371

代理人 王晖 李丙林

(51)Int.Cl.

A61B 8/06(2006.01)

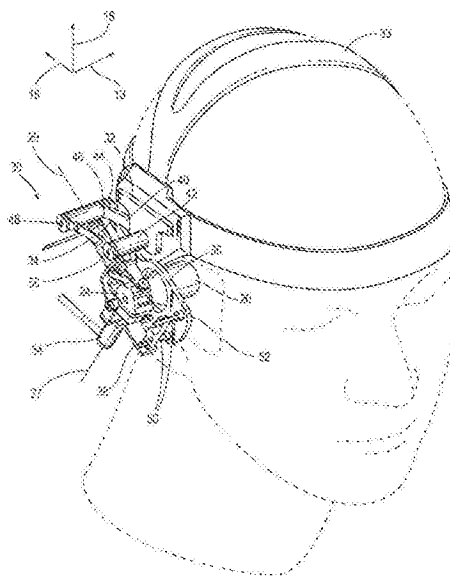
A61B 50/20(2006.01)

(54)发明名称

经颅多普勒探测器

(57)摘要

根据各种实施方案,提供了一种能安装在头部上的头戴式装置,该头戴式装置包括用于向头部中发射能量的探测器。该头戴式装置还包括耦接至探测器的支撑结构。该支撑结构包括平移致动器,该平移致动器用于沿大体上平行于头部的表面的两条轴线平移探测器。



1. 一种能安装在头部上的头戴式装置,所述头戴式装置包括:
用于向头部中发射能量的探测器;
耦接至所述探测器的支撑结构,所述支撑结构包括平移致动器,所述平移致动器用于沿大体上平行于头部的表面的两条轴线平移所述探测器。
2. 根据权利要求1所述的头戴式装置,还包括:
至少一个垂直平移致动器,所述至少一个垂直平移致动器用于沿大体上垂直于头部的表面的垂直轴线平移所述探测器。
3. 根据权利要求2所述的头戴式装置,还包括
至少一个旋转致动器,所述至少一个旋转致动器用于围绕至少一条旋转轴线旋转所述探测器。
4. 根据权利要求3所述的头戴式装置,其中,所述一条旋转轴线包括大体上与所述垂直轴线正交的倾斜轴线。
5. 根据权利要求4所述的头戴式装置,其中,所述一条旋转轴线包括大体上与所述垂直轴线正交的横移轴线。
6. 根据权利要求5所述的头戴式装置,其中,所述头戴式装置精确提供所述探测器的移动的五个自由度,包括通过大体上平行于头部的表面的两条轴线的平移、穿过大体上垂直于头部的表面的垂直轴线的的一个自由度、沿倾斜轴线的的一个自由度以及沿横移轴线的的一个自由度。
7. 一种被配置为与目标表面相互作用的设备,所述设备包括:
探测器,所述探测器被配置为与所述目标表面相互作用;以及
支撑结构,所述支撑结构耦接至所述探测器,用于使所述探测器相对于所述目标表面移动,所述支撑结构被配置为:
沿大体上平行于所述目标表面的平移平面平移所述探测器;以及
围绕至少一条旋转轴线旋转所述探测器。
8. 根据权利要求7所述的设备,其中,所述支撑结构还被配置为沿大体上垂直于所述平移平面的平移轴线平移所述探测器。
9. 根据权利要求8所述的设备,其中,所述一条旋转轴线包括不同于所述平移轴线的倾斜轴线。
10. 根据权利要求8所述的设备,其中,所述一条旋转轴线包括不同于所述平移轴线和所述倾斜轴线的横移轴线。
11. 根据权利要求10所述的设备,其中,所述支撑结构还被配置为使所述探测器围绕所述倾斜轴线和所述横移轴线朝向和远离所述目标表面旋转。
12. 根据权利要求8所述的设备,其中,所述支撑结构沿所述平移平面和所述平移轴线中的每一个具有刚度,并且沿所述平移平面的刚度大于沿所述平移轴线的刚度。
13. 根据权利要求7所述的设备,其中,所述探测器被配置为向所述目标表面中发出超声波。
14. 根据权利要求8所述的设备,还包括:
第一致动器,所述第一致动器被配置为沿所述平移平面沿第一方向平移所述探测器;
第二致动器,所述第二致动器被配置为沿所述平移平面沿与所述第一方向垂直的第二

方向平移所述探测器;以及

第三致动器,所述第三致动器被配置为沿所述平移轴线平移所述探测器。

15.根据权利要求14所述的设备,其中,所述第一致动器和所述第二致动器被配置为具有所述平移平面的刚度,并且所述第三致动器被配置为具有所述平移轴线的刚度。

16.根据权利要求14所述的设备,其中,所述第一致动器、所述第二致动器和所述第三致动器中的每一个分别是伺服电机。

17.根据权利要求14所述的设备,其中,所述第一致动器、所述第二致动器和所述第三致动器中的每一个的输入力由一种方法确定,所述方法包括:

确定用于所述探测器的支撑结构以及用于所述支撑结构的所述第一致动器、所述第二致动器和所述第三致动器中的每一个的构造;

基于所述支撑结构的构造和所述支撑结构的期望的条件刚度,确定用于所述支撑结构的刚度矩阵;

通过将所述刚度矩阵与所述探测器的期望的与实际的平移和旋转位置的差的矢量相乘,确定力矢量;

计算用于所述支撑结构的雅可比矩阵;以及

通过将所述力矢量与所述雅可比矩阵的转置相乘,确定所述第一致动器、所述第二致动器和所述第三致动器中的每一个的输入力。

18.一种制造被配置为与目标表面相互作用的设备的方法,所述方法包括:

提供探测器,所述探测器被配置为与所述目标表面相互作用;以及

将支撑结构耦接至所述探测器,用于相对于所述目标表面移动所述探测器,

所述支撑结构被配置为:

沿大体上平行于所述目标表面的平移平面和沿大体上垂直于所述平移平面的平移轴线平移所述探测器;以及

围绕至少一条旋转轴线旋转所述探测器。

19.根据权利要求18所述的方法,其中,所述一条旋转轴线包括不同于所述平移轴线的倾斜轴线。

20.根据权利要求19所述的方法,其中,所述一条旋转轴线包括不同于所述平移轴线和所述倾斜轴线的横移轴线。

经颅多普勒探测器

[0001] 相关专利申请的交叉引用

[0002] 本公开要求于2015年6月19日提交的题为“AUTOMATIC DISCOVERY OF TRANSCRANIAL DOPPLER WINDOW (经颅多普勒窗的自动发现)”的美国临时专利申请序列号62/181,859的优先权和权益,其全部内容通过引用结合在本文中。本公开要求于2015年6月19日提交的题为“INITIAL PLACEMENT OF TRANSCRANIAL DOPPLER SENSORS (经颅多普勒传感器的初始放置)”的美国临时专利申请序列号62/181,862的优先权和权益,其全部内容通过引用结合在本文中。本公开要求于2016年6月8日提交的题为“PROBE SUPPORT STRUCTURE WITH VARIABLE STIFFNESS (具有可变刚度的探测器支撑结构)”的美国临时专利申请序列号62/347,527的优先权和权益,其全部内容通过引用结合在本文中。

[0003] 领域

[0004] 本文所述的主题总体上涉及医疗设备,并且更具体地涉及包括用于诊断医学病症的探测器的头戴式装置。

[0005] 背景

[0006] 经颅多普勒(TCD)用于无创地测量脑的主要传导动脉(例如韦利斯氏环)的脑血流速度(CBFV)。其用于诊断并监测一些神经功能状况,诸如蛛网膜下腔出血(SAH)后的动脉评估,辅助镰状细胞性贫血儿童的预防护理以及栓塞性中风患者的风险评估。

[0007] 传统上,TCD超声波包括技术人员将探测器相对于患者手动安置。探测器将能量发射到患者的头部中。技术人员识别头部的脑动脉或静脉的CBFV波形特征。信号的识别要求探测器的声波处理深度、角度和位置在若干个超声波窗口之一内一体化以及来自超声波信号的特征,该特征包括波形谱、声音、M模式和速度。对于使用探测器的设备(例如,自动化经颅多普勒设备),存在与探测器在使用期间施加的对准和压力有关的问题(例如,在保持在人身上时,为了舒适性和安全性,或者为了确保探测器的有效性)。在一些设备中,在探测器内包含弹簧,但是由于探测器内的弹簧的横向滑动和移动,这种装置可能不能有效地控制压力。

发明内容

[0008] 根据各种实施方案,提供了一种能安装在头部上的头戴式装置(headset),该头戴式装置包括用于向头部中发射能量的探测器。该头戴式装置还可以包括耦接至探测器的支撑结构,该支撑结构包括平移致动器,该平移致动器用于沿大体上平行于头部的表面的至少两条轴线平移探测器。

[0009] 在一些实施方案中,头戴式装置还可以包括至少一个垂直平移致动器,该至少一个垂直平移致动器用于沿大体上垂直于头部的表面的垂直轴线平移探测器。在一些实施方案中,头戴式装置还可以包括至少一个旋转致动器,该至少一个旋转致动器用于围绕至少一条旋转轴线旋转探测器。头戴式装置还可以包括大体上与垂直轴线正交的倾斜轴线。

[0010] 在一些实施方案中,头戴式装置可以精确提供探测器的移动的五自由度,包括通过大体上平行于头部的表面的两条轴线的平移、穿过大体上垂直于头部的表面的垂直轴

线的一个自由度、沿倾斜轴线的一个自由度以及沿横移轴线的一个自由度。

[0011] 根据各种实施方案,提供了一种被配置为与目标表面相互作用的设备,该设备包括探测器(probe,探头),该探测器被配置为与目标表面相互作用。该设备还可以包括支撑结构,该支撑结构耦接至探测器,以用于使探测器相对于目标表面移动。该支撑结构可以被配置为沿大体上平行于目标表面的平移平面平移探测器。该支撑结构还可以被配置为围绕至少一条旋转轴线旋转探测器。

[0012] 在一些实施方案中,该支撑结构被配置为沿大体上垂直于平移平面的平移轴线平移探测器。在一些实施方案中,该支撑结构包括不同于平移轴线的倾斜轴线。在一些实施方案中,该支撑结构包括不同于平移轴线和倾斜轴线的横移轴线。在一些实施方案中,该支撑结构还被配置为使探测器围绕倾斜轴线和横移轴线朝向和远离目标表面旋转。在一些实施方案中,该支撑结构沿平移平面和翻译轴线中的每一个具有刚度,并且沿平移平面的刚度大于沿平移轴线的刚度。在一些实施方案中,该探测器被配置为向目标表面中发出超声波发射(emission)。

[0013] 在一些实施方案中,该设备还包括第一致动器,该第一致动器被配置为沿平移平面沿第一方向平移探测器。在一些实施方案中,该设备还包括第二致动器,该第二致动器被配置为沿平移平面沿与第一方向垂直的第二方向平移探测器。在一些实施方案中,该设备还包括第三致动器,该第三致动器被配置为沿平移轴线平移探测器。在一些实施方案中,第一致动器和第二致动器被配置为具有平移平面的刚度,并且第三致动器被配置为具有平移轴线的刚度。

[0014] 在一些实施方案中,第一致动器、第二致动器和第三致动器为伺服电机。

[0015] 在一些实施方案中,第一致动器、第二致动器和第三致动器中的每一个的输入力由一种方法确定,该方法包括:确定用于探测器的支撑结构以及用于支撑结构的第一致动器、第二致动器和第三致动器中的每一个的构造。在一些实施方案中,该方法还包括基于支撑结构的构造和支撑结构的期望的条件刚度,确定用于支撑结构的刚度矩阵。在一些实施方案中,该方法还包括通过将刚度矩阵与探测器的期望的与实际的平移位置和旋转位置的差的矢量相乘,确定力矢量。在一些实施方案中,该方法还包括计算用于支撑结构的雅可比矩阵。在一些实施方案中,该方法还包括通过将力矢量与雅可比矩阵的转置相乘,确定第一致动器、第二致动器和第三致动器中的每一个的输入力。

[0016] 根据各种实施方案,提供了一种制造被配置为与目标表面相互作用的设备的方法,该方法包括提供探测器,该探测器被配置为与目标表面相互作用。在一些实施方案中,该方法还包括将支撑结构耦接至探测器,用于相对于目标表面移动探测器,其中该支撑结构被配置为沿大体上平行于目标表面的平移平面和沿大体上垂直于平移平面的平移轴线平移探测器,以及围绕至少一条旋转轴线旋转探测器。在一些实施方案中,该一条旋转轴线包括不同于平移轴线的倾斜轴线。在一些实施方案中,该一条旋转轴线包括不同于平移轴线和倾斜轴线的横移轴线。

附图说明

[0017] 根据下面的描述和在附图中示出的附随的示例性实施方案,本发明的特征、方面和优点将变得明显,下面将简要描述附图。

- [0018] 图1是根据示例性实施方案的用于操纵医学探测器的虚拟支撑结构的图。
- [0019] 图2是根据示例性实施方案的医疗探测器和万向架结构的立体图。
- [0020] 图3是根据示例性实施方案的用于图2的医疗探测器的双连杆回转支撑结构的立体图。
- [0021] 图4是图3的支撑结构的前正视图。
- [0022] 图5是图3的支撑结构的右侧正视图。
- [0023] 图6是根据示例性实施方案的图2的医疗探测器的棱柱形支撑结构的立体图。
- [0024] 图7是图6的支撑结构的前正视图。
- [0025] 图8是图6的支撑结构的右侧正视图。
- [0026] 图9是图3的支撑结构的示意性前视图。
- [0027] 图10是图6的支撑结构的示意性前视图。
- [0028] 图11是根据示例性实施方案的用于确定致动器的输入力或转矩的方法的流程图。
- [0029] 图12是根据示例性实施方案的用于图2的医疗探测器的5杆并联机构(回转-回转)支撑结构的立体图。
- [0030] 图13是图12的支撑结构的前正视图。
- [0031] 图14是图12的支撑结构的右侧正视图。

具体实施方式

[0032] 以下结合附图阐述的详细描述旨在作为对各种配置的描述,而并非旨在表示可以实践本文所描述的概念的仅有配置。详细描述包括用于提供对各种概念的透彻理解的具体细节。然而,对于本领域技术人员明显的是,可以在没有这些具体细节的情况下实践这些概念。在一些情况下,为了避免混淆这些概念,以框图形式示出了众所周知的结构和部件。

[0033] 根据各种实施方案,使用五自由度(DOF)运动机构,其使时间窗口质量的评估完全自动化,并且即使在信号完全丢失之后也可以重新发现时间窗口。在一些实施方案中,计算机产生并引导该机构沿头部的表面平移并重新定向探测器直到候选信号被定位。一旦被定位,探测器就会被重新定向以增加信号强度。在一些实施方案中,减少自动化系统的搜索时间以发现时间窗口是通过将机构和探测器对准已知的解剖学特征来实现的。在一些实施方案中,利用用于使用者的视觉窗口引导件(visual window guide)将探测器沿耳朵与眼睛之间的颧弓放置在初始起始点处来执行对准。

[0034] 在一些实施方案中,在探测器正确对准之后,探测器的柔量在足够高的水平处保持与表面成法向,以保持探测器就位,但是足够低,以在探测器跟随在头部表面向里和向外移动时使用户舒适。在一些实施方案中,X和Y轴可以保持较高的伺服刚度,以维持对探测器位置的精确控制。在一些实施方案中,由于探测器的法向力由Z轴刚度确定,因此X和Y轴遇到的滑动力将被限制在舒适的水平,并且探测器可以被引导以执行TCD窗口的搜索。在一些实施方案中,如果探测器的取向(orientation,方向)需要改变,则取向刚度可以通过软件增加。

[0035] 在一些实施方案中,探测器的运动机构包括五个电机自由度, $Q = \{J_1, J_2, J_3, J_4, J_5\}$ (即,电机或接头空间(joint space)),以实现位置和取向上的五个自由度 $X = \{x, y, z, \text{平移、倾斜}\}$ (即任务空间)。因此,正向运动学可以写为电机坐标与探测器坐标之间的关系:

$X = \text{fwd_kin}(Q)$, 其中 fwd_kin 是代表基于机构设计的一系列方程的函数, 并且通常通过 Denavit-Hartenberg 参数来分析。

[0036] 在一些实施方式中, 用解析逆解 (analytic inverse solution) $Q = \text{inv_kin}(X)$ 或者通过使用诸如雅可比逆解 (Jacobian inverse solution) $dQ_{\text{cmd}}(n) = J^{-1}(X_{\text{err}}(n))$ (的数值微分经由逆运动学指定 TCD 探测器的放置, 在雅可比逆解 $dQ_{\text{cmd}}(n) = J^{-1}(X_{\text{err}}(n))$ 中, J 是雅可比矩阵 (Jacobian), 将电机的差速运动与探测器的差速运动相关联, $X_{\text{err}}(n)$ 是在时间 n 的探测器位置和取向误差, 并且 $dQ_{\text{cmd}}(n)$ 是在时间 n 的差速电机命令。

[0037] 图1是根据示例性实施方案的用于探测器20的虚拟支撑结构10的模型图。支撑结构10被配置用来相对于目标表面22安置探测器20。在一些实施方案中, 探测器20是医学探测器, 诸如与经颅多普勒 (TCD) 装置一起使用以发出指向目标表面22的超声波发射的医学探测器。在其他实施方案中, 探测器20被配置为在操作期间发射其他类型的波, 诸如但不限于红外波、X射线等。

[0038] 在一些实施方案中, 探测器20具有第一端20a和第二端20b。在一些实施方案中, 第一端20a与支撑结构10面接。在一些实施方案中, 第二端20b接触目标表面22, 探测器20在该目标表面上在接触点21处操作。在一些实施方案中, 第二端20b是凹形结构, 使得接触点21是环形 (即, 第二端20b沿凹形第二端20b的圆形外边缘接触目标表面22)。支撑结构10控制探测器20的相对位置 (例如, z 轴压力、 y 轴压力、 x 轴压力、法向对准等)。支撑结构10被示为虚拟结构, 该虚拟结构包括耦接在探测器20与虚拟表面12之间并且沿 z 轴13施加力的第一虚拟弹簧11、耦接在探测器20与虚拟表面15之间并且沿 y 轴16施加力的第二虚拟弹簧14以及耦接在探测器20与虚拟表面19之间并且沿 x 轴18施加力的第三虚拟弹簧17。虚拟支撑结构10还包括围绕倾斜轴线27施加转矩的扭转弹簧23以及围绕横移轴线29施加转矩的第二扭转弹簧25。在一些实施方案中, 虚拟支撑结构10包括其他虚拟元件, 例如虚拟阻尼器 (未示出)。虚拟阻尼器代表提高系统稳定性的元件, 并且对于调整系统的动态响应是有用的。

[0039] 虚拟支撑结构10代表可以用于相对于目标表面22安置探测器20的各种机械结构, 如下面更详细描述。在一些实施方案中, 使探测器20的第二端20b接触相对脆弱的表面, 诸如患者的皮肤。支撑结构被配置为调节其刚度 (例如, 阻抗、柔量等), 以在探测器20上提供可变的线性力和旋转力, 并且可以在一些方向上相对刚性, 并且可以在其他方向上相对柔顺。例如, 支撑结构10可以施加最小的力, 并且沿 z 轴线13可以是相对柔顺的, 以使在大体上与目标表面22成法向的方向上施加至患者 (例如, 如果患者相对于支撑结构移动) 的力最小化, 并且可以沿 y 轴线16和 x 轴线18相对刚性, 以沿大体上平行于目标表面22的平面改善探测器20的位置准确性和精确度。此外, 支撑结构10沿各条轴线的所需刚度可以随时间而变化, 这取决于手头的任务。例如, 支撑结构可以被配置为在支撑结构10正在相对于患者移动的情况下 (例如, 在初始设置探测器结构、移除探测器结构等期间) 或者当相对自由地移动有利时 (例如, 在维护/清洁等期间) 是相对柔顺的, 并且可以被配置为在探测器20的定位准确性和精确度是有利的情况下 (例如, 在用探测器20执行 TCD 程序或其他程序期间) 在一些方向上相对刚性。

[0040] 如下面更详细地描述的, 可以利用支撑结构10的运动模型来计算由探测器20施加至目标表面22的力与由致动支撑结构10的致动器所施加的力 (例如, 转矩) 之间的关系。因此, 在理想化的系统中由探测器20施加至目标表面22的力可以在理论上被确定, 而不需要

直接的力感测,从而不需要与探测器20成直线安放的测力传感器和/或耦接至探测器20的转矩传感器。在物理系统中,静电摩擦连同其他未建模的物理效应可能引入一些不确定性。

[0041] 参考图2,根据示例性实施方案示出了探测器20被安装至被示为万向架结构(gimbal structure)24的支撑结构的一部分,该支撑结构可以在第一端20a处围绕多条轴线旋转。万向架结构24包括能够围绕倾斜轴线27旋转的第一框架构件26和能够围绕横移轴线29旋转的第二框架构件28。目标表面22可以是不平坦的(例如,非平面的)。万向架结构24允许探测器20被定向为使得其在接触点21处与目标表面22成法向。

[0042] 现在参考图3-图5,根据示例性实施方案,用于探测器20的支撑结构30被示为双连杆式回转(例如回转-回转)自动控制装置(robot,机械臂、机械手)。支撑结构30包括第一框架构件32、第二框架构件34、第三框架构件36、第四框架构件38以及万向架结构24。第一框架构件32被构造为固定构件。第一框架构件32可以例如被安装至患者头部上佩戴的环件或头戴式装置33或将第一框架构件32附接至患者或者固定第一框架构件32相对于患者的位置的其他结构。探测器20被配置为将能量发射到患者的头部内。

[0043] 第二框架构件34是被配置为围绕z轴线13旋转的连杆。z轴线13大体上垂直于头部的表面。第二框架构件34的第一端40耦接至第一框架构件32。根据示例性实施方案,第二框架构件34相对于第一框架构件32的旋转由致动器42控制,该致动器被示为通过第一框架构件32附接的电动电机和变速箱。致动器42用作竖直平移致动器,用于沿大体上垂直于头部表面的竖直轴线平移探测器。

[0044] 第三框架构件36是被配置为围绕z轴线13旋转的连杆。第三框架构件36的第一端44耦接至第二框架构件34的第二端46。根据示例性实施方案,第三框架构件36相对于第二框架构件34的旋转由致动器48控制,该致动器被示为通过第二框架构件34附接的电动电机和变速箱。

[0045] 第四框架构件38被构造为沿z轴线13平移(例如,进和出、进入和离开头部等)。根据示例性实施方案,第四框架构件38沿固定至第三框架构件36的第二端52的轨道构件50滑动。第四框架构件38相对于第三框架构件36的位置由诸如电动电机和导螺杆(为了清楚起见未示出)的致动器控制。

[0046] 万向架结构24和探测器20被安装至第四框架构件38。万向架结构24控制探测器20围绕倾斜轴线27和横移轴线29的取向(例如横移和倾斜)。探测器20围绕倾斜轴线27的位置由被示为电动电机和变速箱的致动器54控制。致动器54用作旋转致动器以旋转探测器。探测器20围绕横移轴线29的位置由被示为电动电机和变速箱的致动器56控制。致动器56用作旋转致动器以旋转探测器。在一个实施方案中,无论框架构件34和36的旋转如何,探测器20围绕倾斜轴线27和横移轴线29的旋转都不同于z轴线13。

[0047] 探测器20能够通过第二框架构件34和第三框架构件36的旋转在由x轴线18和y轴线16限定的x-y平面(即平移平面)上移动。探测器20能够通过第四框架构件38的平移而沿z轴线13(即平移轴线)移动。此外,探测器20能够通过万向架结构24围绕倾斜轴线27和横移轴线29旋转。组合这五个自由度允许探测器20相对于目标表面22的位置和取向被完全描述和控制,从而省略围绕与横移轴线29和倾斜轴线27正交的第三轴线的旋转。

[0048] 根据示例性实施方案,用于定位支撑结构30的致动器是伺服电机。与步进电机相比,使用伺服电机控制支撑结构允许更精确地控制电机的转矩输出、旋转位置和角速度以

及探测器20的相应位置和探测器20与目标表面22之间的相互作用。当然,也可以使用本领域普通技术人员已知的其他合适的电机。

[0049] 现在参考图6-图8,根据另一示例性实施方案,用于探测器20和万向架结构24的支撑结构60被示为棱柱形(例如,笛卡尔(Cartesian)、直线等)自动控制装置。支撑结构60包括第一框架构件62、第二框架构件64、第三框架构件66、第四框架构件68以及万向架结构24。第一框架构件62被构造为固定构件。第一框架构件62可以例如被安装至患者头部上佩戴的环件或头戴式装置33或固定第一框架构件62相对于患者的位置的其他结构。

[0050] 第二框架构件64被配置为沿y轴线16平移(例如,上和下,耳朵的底部到耳朵的顶部等)。根据示例性实施方案,第二框架构件64沿固定至第一框架构件62的轨道构件70滑动。第二框架构件64相对于第一框架构件62的位置由诸如电动电机和导螺杆(为了清楚起见未示出)的致动器控制。

[0051] 第三框架构件66被配置为沿x轴线18平移(例如,前后,耳到眼等)。根据示例性实施方案,第三框架构件66沿固定至第二框架构件64的轨道构件72滑动。轨道构件72与轨道构件70正交。第三框架构件66相对于第二框架构件64的位置由诸如电动电机和导螺杆(为了清楚起见未示出)的致动器控制。

[0052] 第四框架构件68被配置为沿z轴线13平移(例如,进和出、进入和离开头部等)。根据示例性实施方案,第四框架构件68沿固定至第三框架构件66的轨道构件74滑动。第四框架构件68相对于第三框架构件66的位置由诸如电动电机和导螺杆(为了清楚起见未示出)的致动器控制。

[0053] 万向架结构24和探测器20被安装至第四框架构件68。万向架结构24控制探测器20围绕倾斜轴线27和横移轴线29的取向(例如倾斜和横移)。探测器20围绕倾斜轴线27的位置由被示为电动电机和变速箱的致动器84控制。探测器20围绕横移轴线29的位置由被示为电动电机和变速箱的致动器86控制。

[0054] 探测器20能够通过第二框架构件64和第三框架构件66的平移在x-y平面上移动,通过第四框架构件68的平移沿z轴线13移动,并且通过万向架结构24围绕倾斜轴线27和横移轴线29旋转。组合这五个自由度允许探测器20相对于目标表面22的位置和取向被完全描述和控制,从而忽略围绕与横移轴线29和倾斜轴线27正交的第三轴线的旋转。

[0055] 可以针对探测器20的支撑结构的任何实施方案开发运动模型,以确定在探测器20处施加的力与由控制支撑结构的致动器施加的力之间的关系。

[0056] 首先确定支撑结构的刚度矩阵。使用多个变量确定刚度矩阵,该多个变量包括支撑结构的物理特性(例如,框架构件的几何形状、各个框架构件的刚度等)、沿所选坐标系轴的系统刚度以及系统阻尼的基于速度项。根据示例性实施方案,在z方向(K_z)、y方向(K_y)以及x方向(K_x)(例如,如图1中的虚拟弹簧11、14和17所表示的)上,并且围绕横移轴线29(K_{ω_x})和围绕倾斜轴线27(K_{ω_y})(例如,如图1中的虚拟扭转弹簧23和25所表示的)上,限定支撑结构的期望刚度。如上所述,在一些实施方案中,虚拟刚度随时间变化并且基于用探测器20完成的任务。例如,y方向和x方向上的刚度可以在安装或移除过程期间具有与相对低的横向刚度相对应的下限,其中支撑结构被配置为相对柔顺的,并且在扫描过程期间具有与相对高的刚度相对应的上限,其中支撑结构被配置为相对刚性,从而允许更准确地定位探测器20。同样地,z方向上的刚度可以在探测器20在z方向上的初始定位期间具有与相对低

的刚度相对应的下限,其中支撑结构被配置为相对柔顺以允许探测器20自对准(例如,以使患者的不适感最小化),并且在扫描过程期间具有与相对高的刚度相对应的上限,其中支撑结构被配置为更为刚性,以克服探测器20与目标表面22之间的摩擦力并维持探测器20的取向。此外,围绕y轴线和x轴线的旋转刚度可以在探测器20的定位期间具有与相对低的旋转刚度相对应的下限,以符合目标表面22(例如,患者的头部)的轮廓,其中支撑结构(例如,万向架结构24)被配置为相对柔顺(例如,以使患者的不适感最小化);并且在期望探测器20的更准确的定位(例如横移、倾斜等)时具有与相对高的旋转刚度相对应的上限。

[0057] 然后使用以下等式导出力矢量:

$$\vec{F} = K\Delta\vec{x}$$

[0058]

(等式1)

[0059] 其中K是刚度矩阵, $\Delta\vec{x}$ 是在x、y和z方向上的期望的与实际的平移位置与探测器20围绕x轴线18和y轴线16的旋转位置的差的向量。

[0060] 然后可以使用以下等式确定由控制支撑结构的位置的致动器施加的力(例如,由旋转致动器施加的转矩):

$$\tau = J^T \vec{F}$$

[0061]

(等式2)

[0062] 其中 J^T 是由特定支撑结构的运动学确定的雅可比矩阵转置。雅可比矩阵是接头位置与末端执行器位置和取向(例如探测器20的位置)之间的差异关系(differential relationship)。接头位置或者以弧度为单位(例如,用于旋转接头),或者以长度为单位(例如,用于棱柱形或者直线接头)。雅可比矩阵不是固定的,而是随支撑结构位置的铰接而变化。

[0063] 现在参考图9,示出了支撑结构30的示意性前视图。第二框架构件34由具有长度 l_1 的第一连杆90表示。第一连杆90由旋转致动器94铰接,该旋转致动器的旋转示为 q_1 。第三框架构件36由具有长度 l_2 的第二连杆92表示。第二连杆92由旋转致动器96铰接,该旋转致动器的旋转表示为 q_2 。致动器94和96在x-y平面中移动探测器20。

[0064] 该设备的正向运动学是:

$$[0065] \quad c_1 = \cos(q_1), s_1 = \sin(q_1)$$

$$[0066] \quad c_{12} = \cos(q_1 + q_2), s_{12} = \sin(q_1 + q_2)$$

$$[0067] \quad x = l_1 c_1 + l_2 c_{12}$$

[0068] (等式3)

$$[0069] \quad y = l_1 s_1 + l_2 s_{12}$$

[0070] (等式4)

[0071] 这种回转-回转自动控制装置的雅可比矩阵是通过对 q_1 和 q_2 采用正向运动学的偏导数而导出的。

$$J = \begin{bmatrix} -l_1 s_1 - l_2 s_{12} & -l_2 s_{12} \\ l_1 c_1 + l_2 c_{12} & l_2 c_{12} \end{bmatrix}$$

[0072]

(等式5)

[0073] 等式5中所示的雅可比矩阵是回转-回转自动控制装置在x-y平面上的笛卡尔运动(例如,沿y轴线16和x轴线18的平移)的雅可比矩阵,描述了接头运动与探测器运动之间的差异关系。本领域的普通技术人员将理解,在其他实施方案中,雅可比矩阵中可以包括附加项,以描述探测器20的运动与自动控制装置的其他运动(例如,探测器20围绕倾斜轴线27和横移轴线29的旋转和沿z轴线13的平移)之间的差异关系。

[0074] 现在参考图10,示出了支撑结构60的示意性前视图。探测器20通过第一线性致动器100(例如电动电机和导螺杆)在y方向上移动,并且通过第二线性致动器102(例如电动电机和导螺杆)在x方向上移动。致动器100和102在x-y平面内移动探测器20。由于每个接头与另一个接头正交,并且具有接头运动对笛卡尔运动的一对一映射,所以这种棱柱形自动控制装置的雅可比矩阵变成单位矩阵:

$$J = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

[0075]

(等式6)

[0076] 等式6中所示的雅可比矩阵是棱柱形自动控制装置在x-y平面上的笛卡尔运动(例如,沿y轴线16和x轴线18的平移)的雅可比矩阵,描述了接头运动与探测器运动之间的差异关系。在其他实施方案中,可以在雅可比矩阵中包括附加项来描述探测器20的运动与自动控制装置的其他运动(例如,探测器20围绕倾斜轴线27和横移轴线29的旋转以及沿z轴线13的平移)之间的差异关系。

[0077] 支撑结构30利用单个线性致动器(例如,电动电机和导螺杆)通过第四框架构件38的平移来控制探测器20在z方向上的位置。类似地,支撑结构60利用单个线性致动器(例如电动电机和导螺杆)通过第四框架构件68的平移来控制探测器20在z方向上的位置。对于任一种支撑结构,致动器的位置与探测器20的位置之间存在直接相关性。

[0078] 现在参考图11,根据示例性实施方案示出了对于用于探测器支撑结构的致动器确定输入力或转矩的方法110。首先确定用于探测器的支撑结构的构造(步骤112)。该构造可以包括任何数量的回转接头和/或棱柱形接头。在一些实施方案中,支撑结构提供探测器沿一个或多个轴(例如笛卡尔坐标系中的x、y和z轴;极坐标系统中的r、θ和z轴等)的平移和/或围绕一个或多个轴的旋转。

[0079] 基于支撑结构的构造和支撑结构的期望的可变刚度,确定用于支撑结构的刚度矩阵(步骤114)。刚度矩阵包括基于支撑结构的物理性质(包括框架构件的几何形状和各个框架构件的刚度)的项,支撑结构在z方向(K_z)、y方向(K_y)和x方向(K_x)上的期望刚度,支撑结构的期望旋转刚度(K_{ω_x}、K_{ω_y})以及系统阻尼的基于速度项。

[0080] 基于刚度矩阵和探测器的期望的平移和旋转位置,确定力矢量(步骤116)。探测器的期望位置可以使用任何坐标系来确定。根据示例性实施方案,力矢量是从刚度矩阵与探测器的期望的平移和旋转位置的矩阵的乘积导出的,如等式1所示。

[0081] 然后计算支撑结构的雅可比矩阵(步骤118)。雅可比矩阵由特定支撑结构的运动学决定。雅可比矩阵是接头位置与末端执行器位置之间的差异关系。接头位置或者以弧度为单位(例如,用于旋转接头),或者以长度为单位(例如,用于棱柱形或者直线接头)。雅可比矩阵不是固定的,而是随支撑结构位置的铰接而变化。

[0082] 基于力矢量和雅可比矩阵,确定致动器的输入力(步骤120)。根据示例性实施方

案,致动器的输入力由雅可比矩阵与力向量的乘积导出,如等式2所示。

[0083] 现在参考图12-图14中,根据另一示例性实施方案,用于探测器20的支撑结构130被示为五连杆回转自动控制装置。支撑结构130包括第一框架构件132;耦接至第一框架构件132的一对近端构件(被示为第二框架构件134a和第三框架构件134b);耦接至相应的近端框架构件并彼此耦接的一对远端构件(被示为第四框架构件136a和第五框架构件136b);耦接至远端框架构件的第六框架构件138;以及万向架结构24。第一框架构件132被构造为固定构件。第一框架构件132可以例如被安装至患者头部上佩戴的环件或头戴式装置33或固定第一框架构件132相对于患者的位置的其他结构。

[0084] 第二框架构件134a和第三框架构件134b是被构造为围绕z轴线13旋转的连杆。第二框架构件134a的第一端140a联接至第一框架构件132。类似地,第三框架构件134b的第一端140b耦接至第一框架构件132的单独部分。根据示例性实施方案,第二框架构件134a相对于第一框架构件132的旋转由致动器142a控制,该致动器被示为电动电机和变速箱,其通过第一框架构件132附接。根据示例性实施方案,第三框架构件134b相对于第一框架构件132的旋转由致动器142b控制,该致动器被示为电动电机和变速箱,其通过第一框架构件132附接。

[0085] 第四框架构件136a和第五框架构件136b是被配置为围绕z轴线13旋转的连杆。第四框架构件136a的第一端144a和第二框架构件134a的第二端146a各自经由轴承(例如,压配轴承等)耦接至毂构件148a。类似地,第五框架构件136b的第一端144b和第三框架构件134b的第二端146b各自经由轴承(例如,压配轴承等)耦接至毂构件148b。

[0086] 第四框架构件136a和第五框架构件136b经由轴承(例如,压配轴承等)耦接在一起以形成五杆连接机构。毂构件148a和148b使近端构件沿z轴线13偏离远端构件,这在连杆被致动器142a和142b旋转时允许近端框架构件(例如,第二框架构件134a和第三框架构件134b)自由移动经过远端框架构件(例如,第四框架构件136a和第五框架构件136b)。

[0087] 万向架结构24和探测器20被安装至第六框架构件138。第六框架构件138耦接至远端构件之一(例如,第四框架构件136a或第五框架构件136b),并且被配置为沿z轴线13平移万向架结构24和探测器20(例如,进和出、进入和远离头部等)。第六框架构件138可以例如在轨道上平移,如上文关于支撑结构30的第四框架构件38所述(参见图3-图5)。万向架结构24控制探测器20围绕倾斜轴线27和横移轴线29的取向(例如横移和倾斜)。探测器20围绕倾斜轴线27的位置由诸如电动电机和变速箱的致动器(未示出)控制。探测器20围绕横移轴线29的位置由诸如电动电机和变速箱的致动器(未示出)控制。在一个实施方案中,无论框架构件134和136的旋转如何,探测器20围绕倾斜轴线27和横移轴线29的旋转不同于z轴线13。

[0088] 通过由第一框架构件132、第二框架构件134a、第三框架构件134b、第四框架构件136a和第五框架构件136b形成的五杆连杆机构的移动,探测器20能够在x-y平面上移动。探测器20能够通过第六框架构件138的平移沿z轴线13移动。此外,探测器20能够通过万向架结构24围绕倾斜轴线27和横移轴线29旋转。将这五个自由度组合允许探测器20相对于目标表面22的位置和取向(参见图1-图2)被完全描述和控制,从而省略围绕与横移轴线29和倾斜轴线27正交的第三轴线的旋转。

[0089] 根据示例性实施方案,用于定位支撑结构130的致动器是伺服电机。当然,可以使用任何合适的电机代替伺服电机。与步进电机相比,使用伺服电机控制支撑结构允许更精

确地控制电机的旋转位置和角速度以及探测器20的相应位置和探测器与目标表面22之间的相互作用。

[0090] 致动器142a和142b的输入力可以以与上述方式类似的方式,通过确定力矢量、确定支撑结构130的正向运动学以及通过相对于每个致动器142a和142b的旋转采用正向运动学的偏导数来计算雅可比矩阵,进行计算。

[0091] 在一些实施方案中,对于探测器20接触和安置,不是试图预测和控制探测器20的精确位置和取向,而是通过机械设计或通过软件选择性地控制探测器20的阻抗。这样,探测器20的取向自由度可以是柔顺的,使得它们抵抗接触旋转并且将探测器20安置成与头部平齐,而平移自由度足够硬,以移动探测器20并保持其抵靠头部放置。在一些实施方案中,每个方向具有不同的阻抗。

[0092] 在一些实施方案中,软件被实现为限制探测器20的电机转矩和电机伺服刚度。在一些实施方案中,可以对于每个方向具有不同的限制,从而在不同的方向上产生不同的刚度。在一些实施方案中,横移和倾斜是非常柔顺的,而平移运动适度地较硬。在一些实施方案中,通过探测器20的刚度比X、Y平移自由度更柔顺。

[0093] 在一些实施方案中,软件被实现用于任务空间阻抗控制。换句话说,可以考虑探测器20的取向,以限定具有穿过探测器20的中心的Z轴的局部坐标系。代替通过调整电机伺服刚度和转矩限制来操纵探测器20的阻抗,在一些实施方案中,可以考虑整个自动控制装置的运动学,以设置探测器20的坐标系局部的五个方向X、Y、Z、平移和倾斜中的每一个方向的阻抗。这样,探测器20通过探测器20的中心线可以更加柔顺,但是仍然保持与皮肤表面的接触,而且具有精确地控制探测器20的位置的足够的局部X和Y刚度。

[0094] 根据各种实施方案,探测器20包括串联弹性致动器。在一些实施方案中,通过在机械设计中添加柔顺构件而改变设备的阻抗,或者作为弹性元件添加到电机中,或者作为自动控制装置的结构构件。在一些实施方案中,实施偏转量的测量以便测量探测器20的精确位置和取向。串联弹性致动器具有被设计至精确柔量的益处,并且甚至具有增加的阻尼元件,同时避免与编程阻抗有关的计算非线性和不稳定性。

[0095] 在一些实施方案中,探测器20与头部之间的相互作用力和转矩通过在探测器20后面放置力/转矩感测机构来控制。使用该信息,探测器20在软件中的阻抗使用闭环控制编程。

[0096] 在一些实施方案中,通过监测电机的施加电流来间接测量力。对于静态情况,考虑到自动控制装置的运动学,系统的力/力矩矢量由雅可比矩阵计算: $F = (J^T)^{-1} \tau$ 计算,其中 τ 是由施加到电机的电流所预测的电机转矩矢量。

[0097] 虽然以上仅描述了探测器20的支撑结构的一些配置并在附图中示出,但是本领域的普通技术人员将理解,许多其他配置是可能的,并且可以使用类似的方法来确定用于支撑系统的致动器的输入力,以在任何方向上实现期望的可变刚度。

[0098] 上文使用的术语,包括“附接”、“连接”、“紧固”等,可以互换使用。另外,虽然已经描述了某些实施方案包括第一元件被“耦接”(或“附接”、“连接”、“紧固”等)至第二元件,但是第一元件可以直接耦接至第二元件,或者可以通过第三元件间接耦接至第二元件。

[0099] 提供之前的描述是为了使本领域的任何技术人员能够实践本文描述的各个方面。这些方面的各种修改对于本领域的技术人员来说将是非常明显的,并且本文定义的一般原

理可以应用于其他方面。因此,权利要求并非旨在被限制于本文所示的方面,而是要符合与语言权利要求相一致的全部范围,其中提到单数形式的元件,除非具体地如此陈述,否则并非意在表示“一个且仅一个”,而是“一个或多个”。除非另有特别说明,否则术语“一些”是指一个或多个。在整个先前描述中描述的各个方面的元件的所有结构性和功能性等同物,对于本领域普通技术人员来说是已知的,通过引用明确地结合在本文,并且旨在被权利要求所涵盖。此外,本文中公开的任何内容都并非针对公众,不管这种公开是否明确地记载在权利要求中。除非使用短语“用于……的装置”来明确地叙述元素,否则任何权利要求元素都不应被解释为装置加功能。

[0100] 应该理解,所公开的过程中的步骤的具体顺序或层次是说明性方法的示例。基于设计偏好,可以理解的是,在保持在先前描述的范围内的情况下,可以重新布置过程中的步骤的具体顺序或层次。所附方法权利要求以示例顺序给出了各种步骤的要素,并不意味着限于所给出的具体顺序或层次。

[0101] 提供所公开的实现方式的先前描述是为了使本领域的任何技术人员能够制作或使用所公开的主题。对这些实现方式的各种修改对于本领域技术人员来说将是非常明显的,并且本文中定义的一般原理可以应用于其他实现方式,而不脱离先前描述的精神或范围。因此,先前的描述并非旨在限于本文所示的实现方式,而是应被赋予与本文公开的原理和新颖性特征一致的最宽范围。

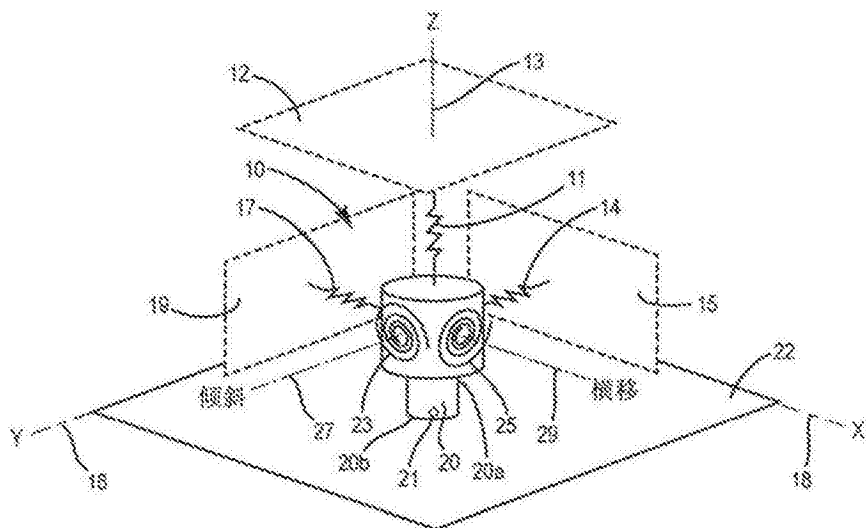


图 1

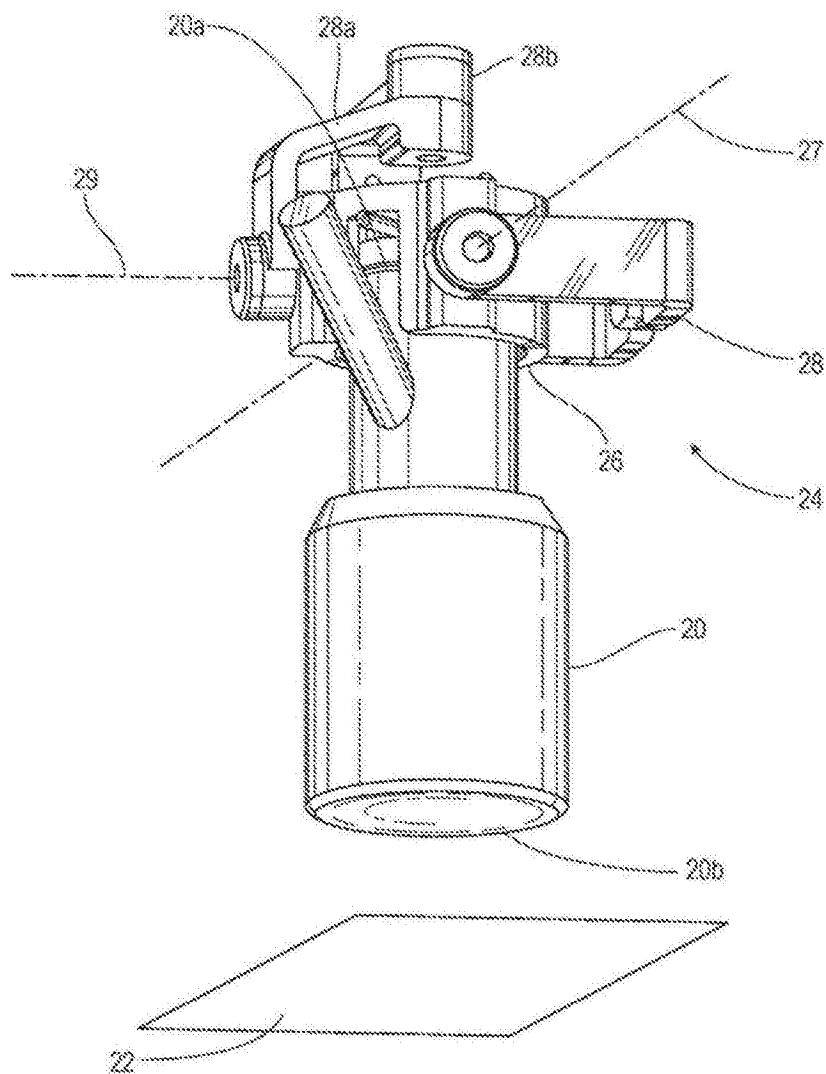


图 2

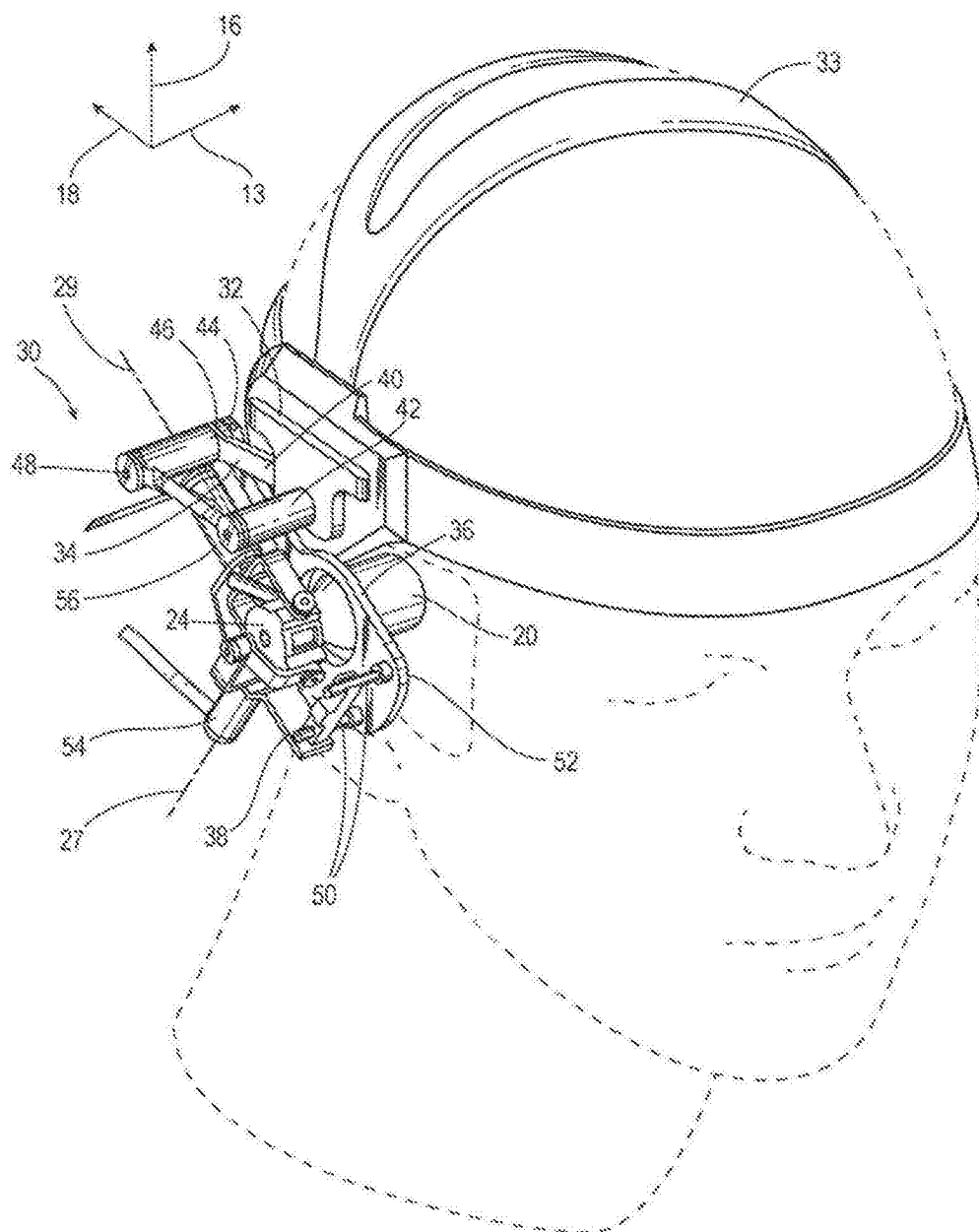


图3

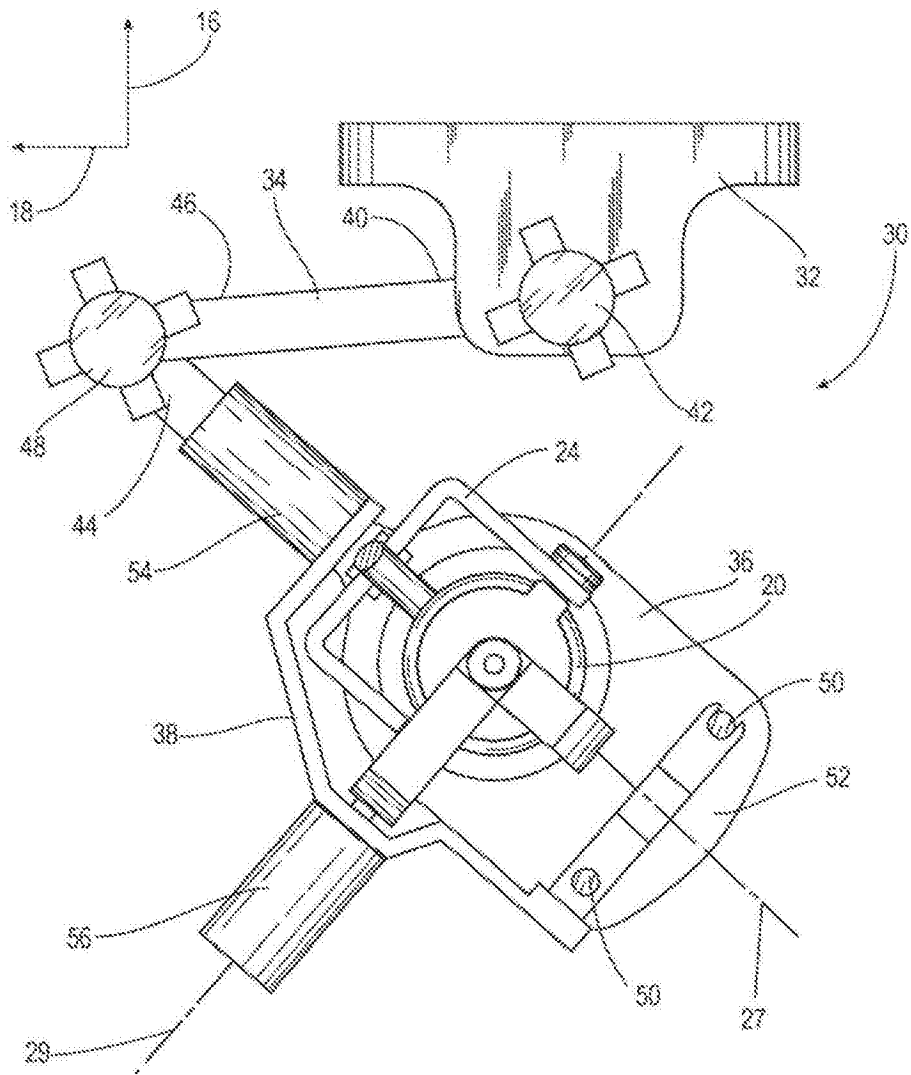


图4

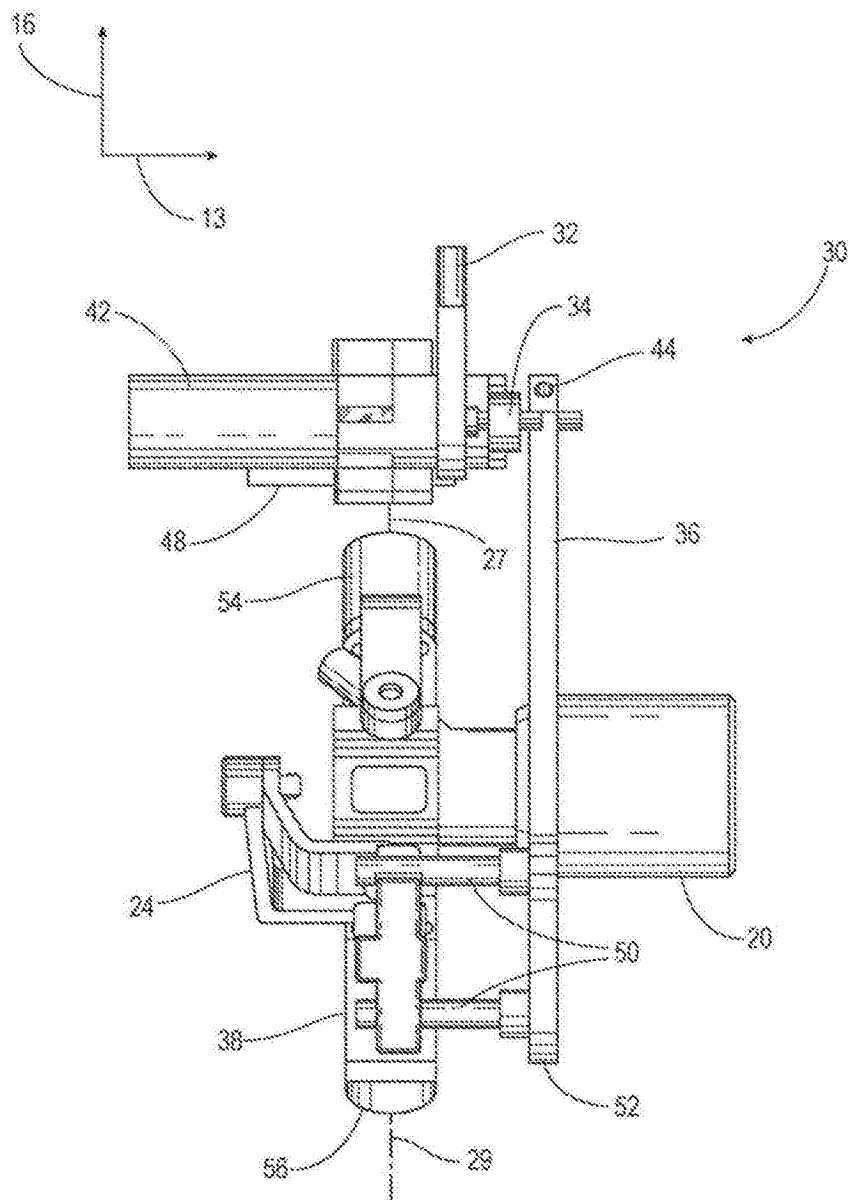


图5

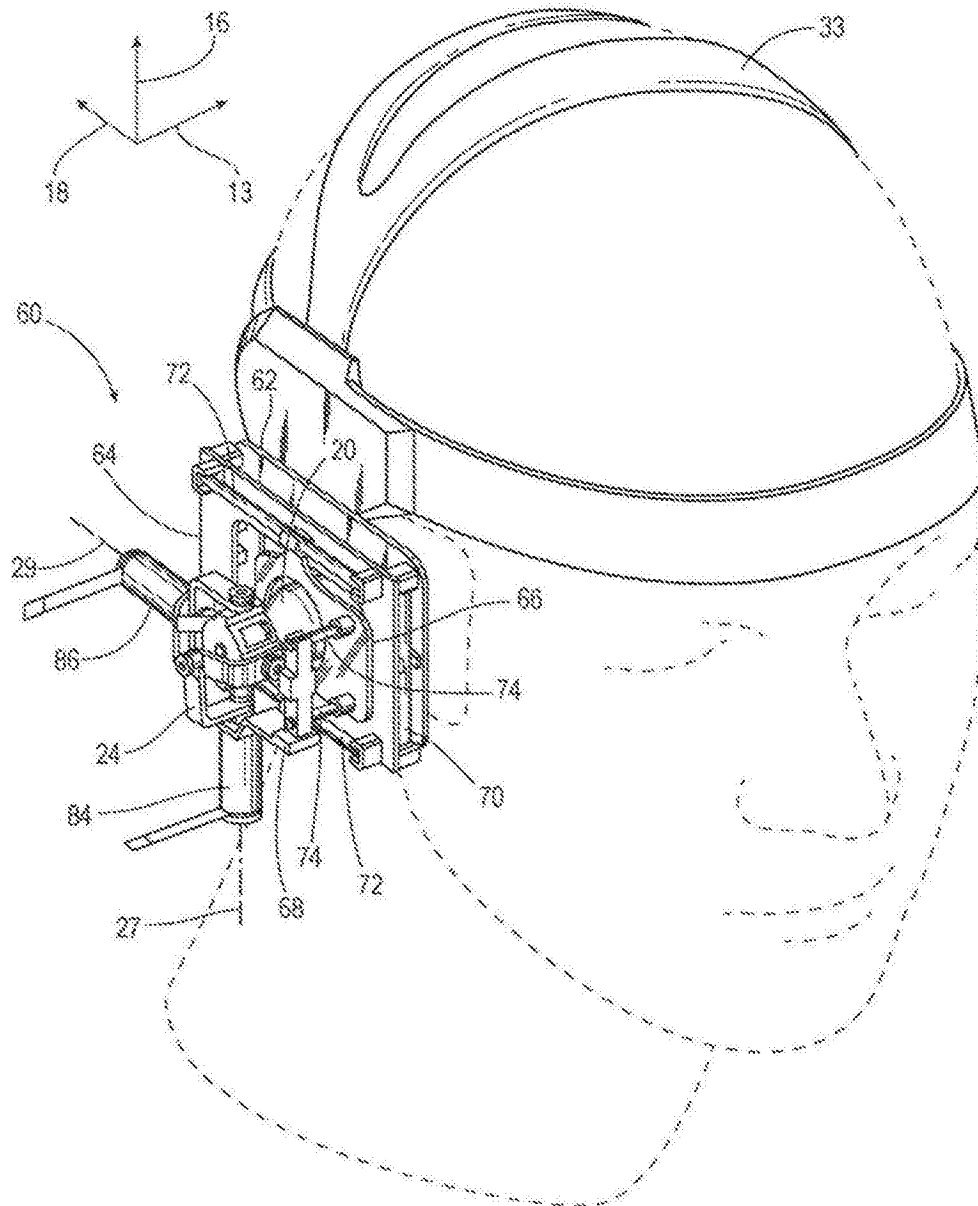


图6

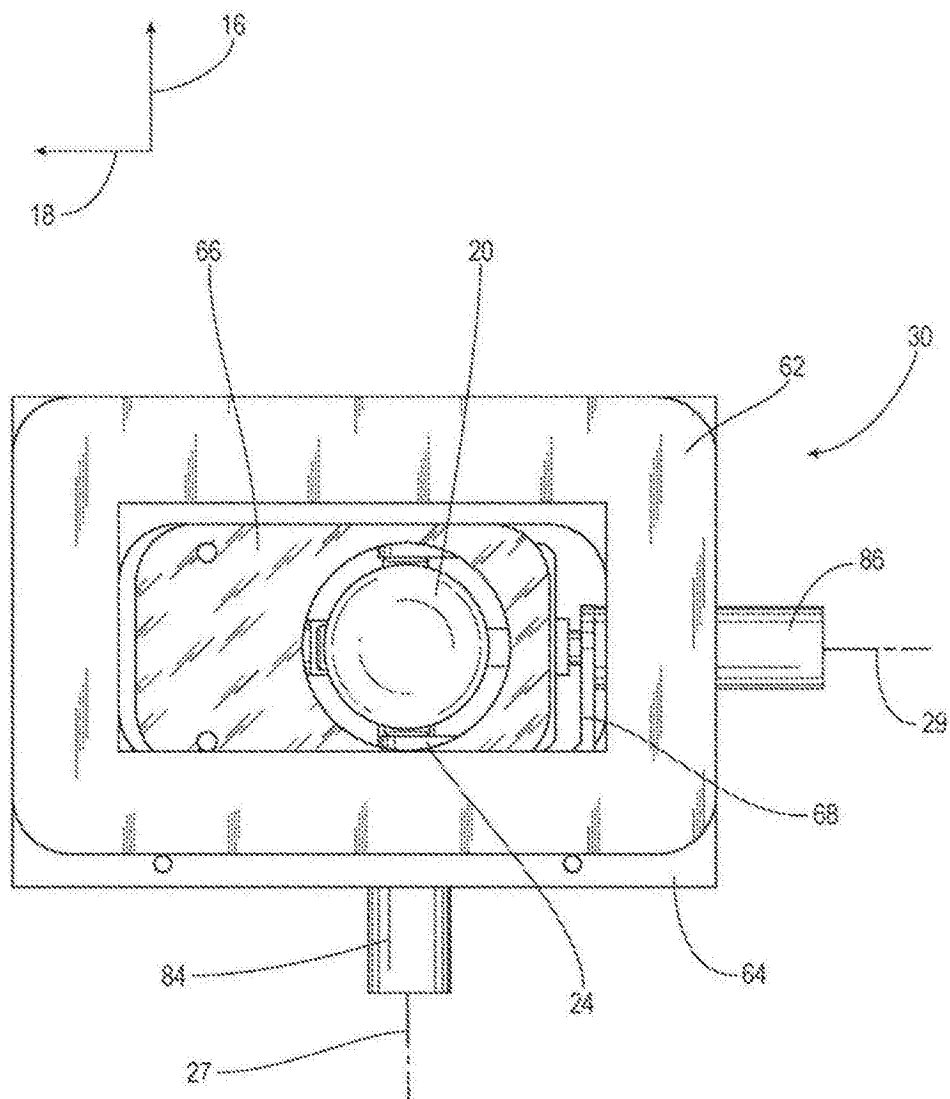


图7

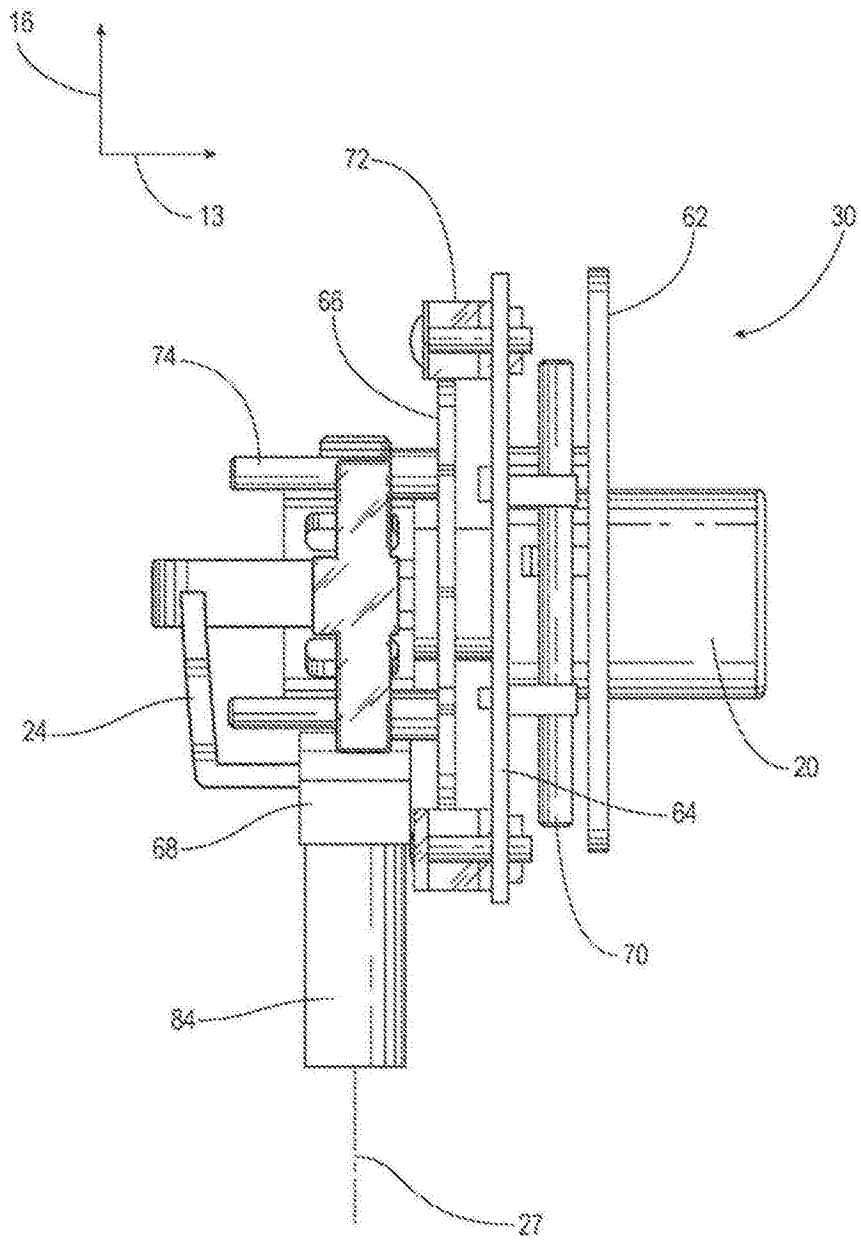


图8

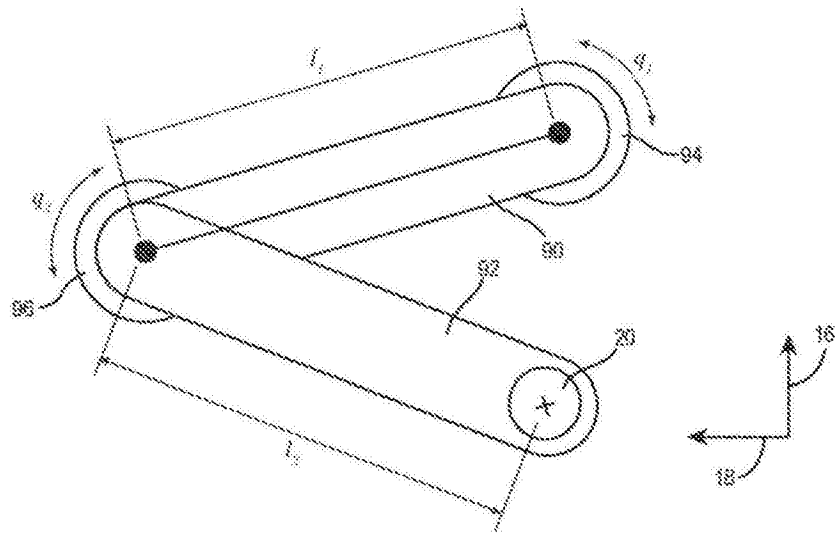


图9

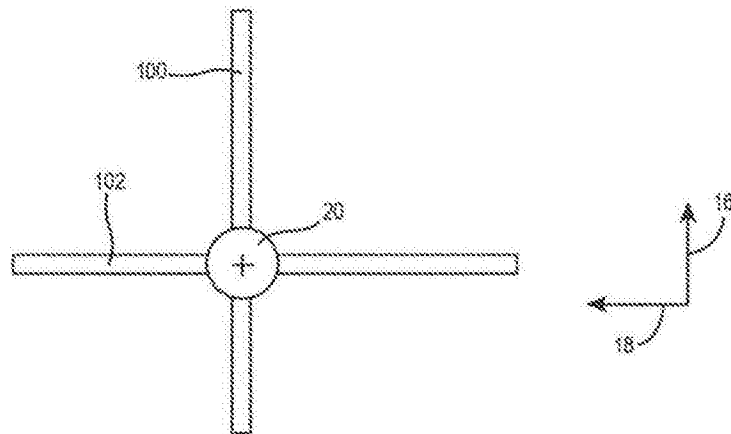


图10

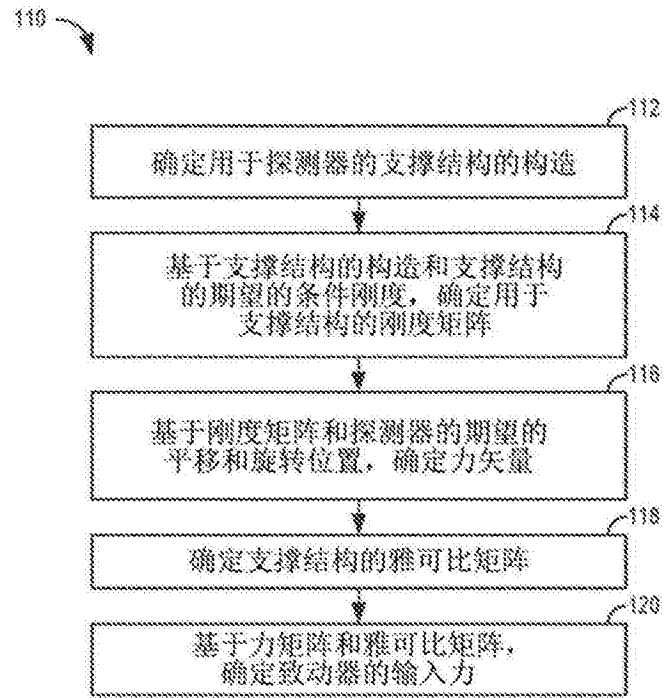


图11

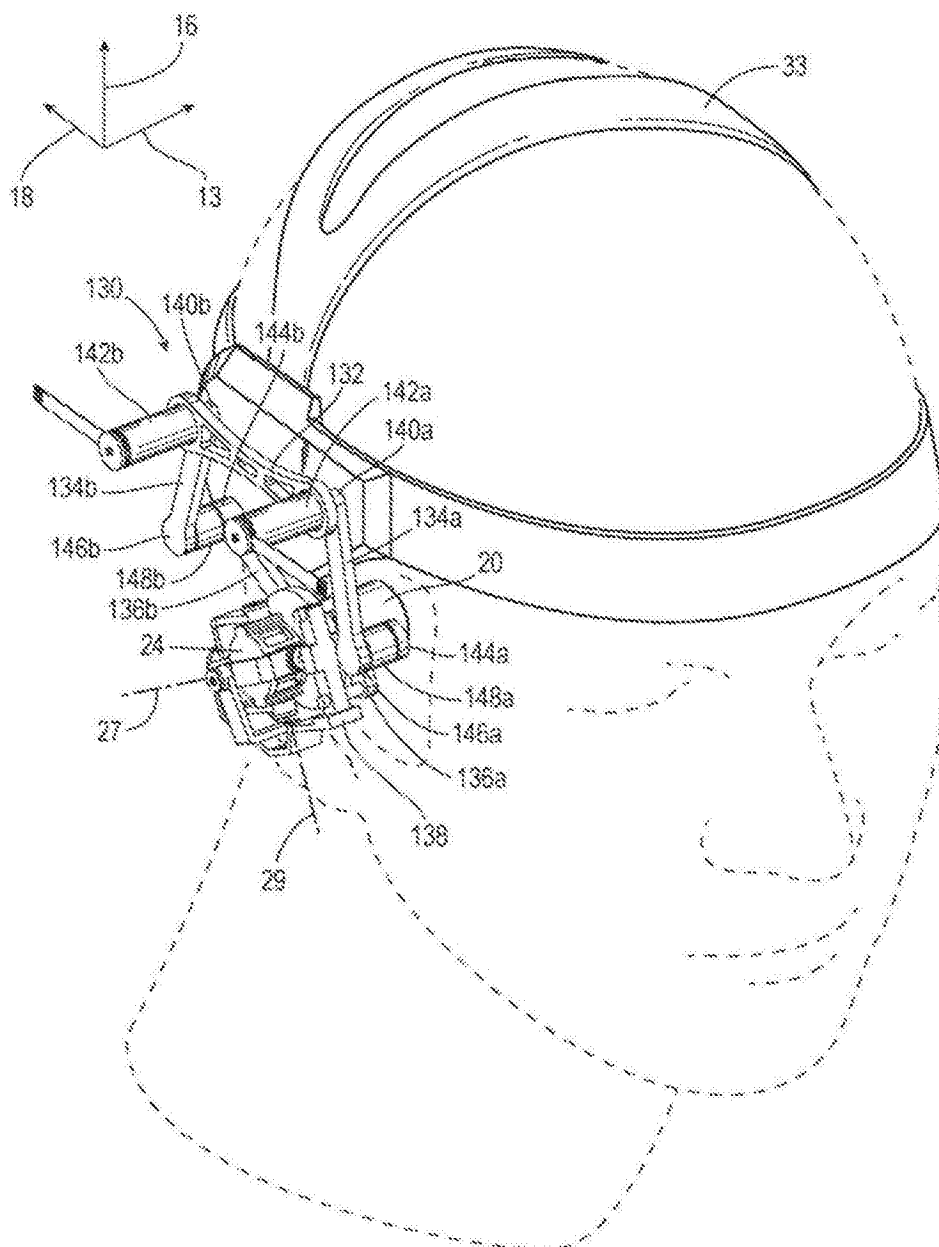


图12

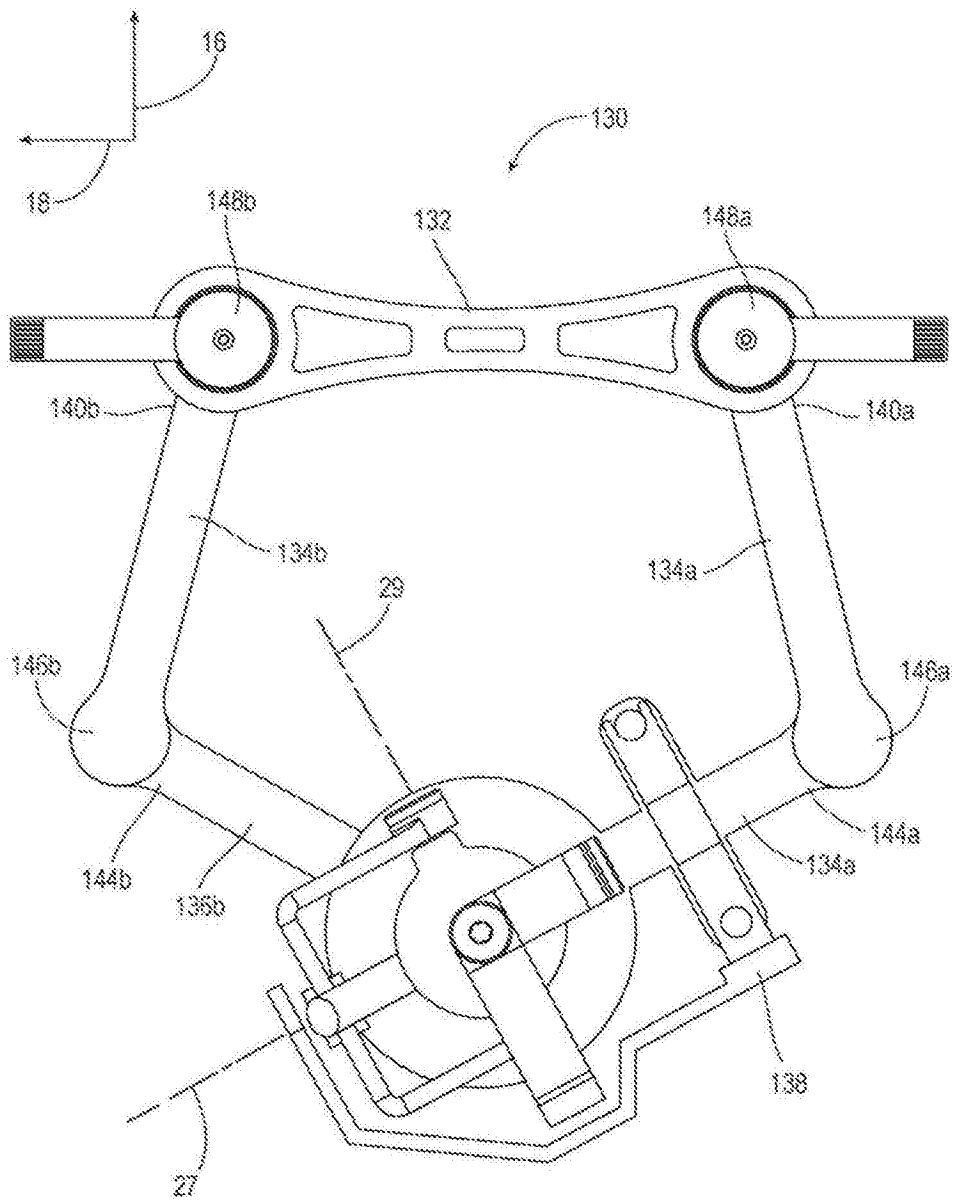


图13

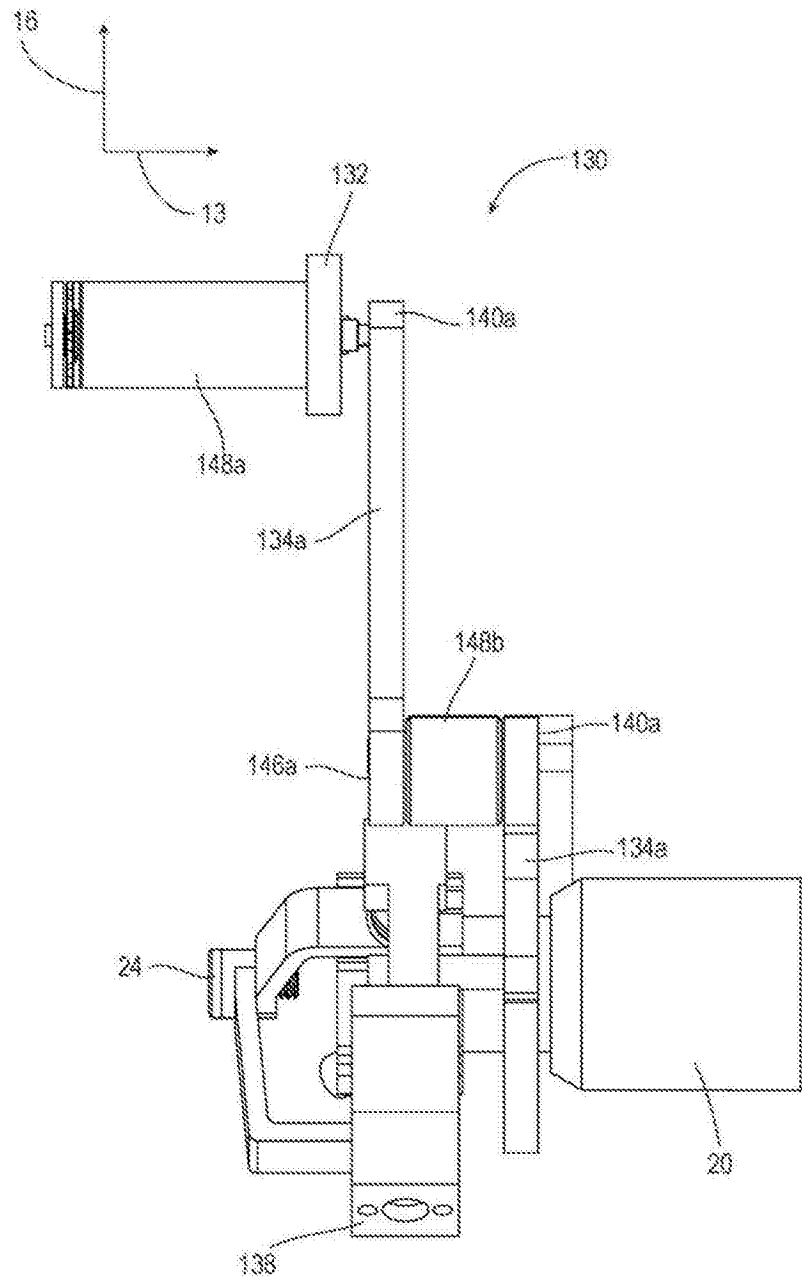


图14