



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 104684460 A

(43) 申请公布日 2015. 06. 03

(21) 申请号 201380046202. 3

A61B 1/04(2006. 01)

(22) 申请日 2013. 07. 31

(30) 优先权数据

61/697, 863 2012. 09. 07 US

(85) PCT国际申请进入国家阶段日

2015. 03. 04

(86) PCT国际申请的申请数据

PCT/IL2013/050649 2013. 07. 31

(87) PCT国际申请的公布数据

W02014/037934 EN 2014. 03. 13

(71) 申请人 切克 - 卡普有限公司

地址 以色列伊斯菲亚

(72) 发明人 约阿夫·金奇 沙伊·布伦纳

(74) 专利代理机构 上海申新律师事务所 31272

代理人 董科

(51) Int. Cl.

A61B 5/00(2006. 01)

A61B 5/07(2006. 01)

权利要求书1页 说明书6页 附图3页

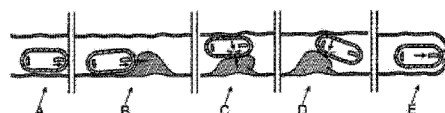
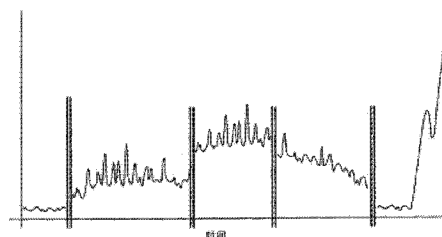
(54) 发明名称

具有应变式传感器感测胃肠道活动的胶囊

(57) 摘要

一种用于检查胃肠道的胶囊,包括:一胶囊壳,用于封闭胶囊,其中所述胶囊壳被设计成能被使用者吞咽,以便从内部穿过使用者的胃肠道;一应变仪,连接胶囊壳,用于测量施加于胶囊壳的应变力;一控件,用于接收来自应变仪的测量数据并响应此所述测量数据。

应变仪测定情况



1. 一种用于检查胃肠道的胶囊,包括:
 - 一胶囊壳,用于封闭胶囊;其特征在于,所述胶囊壳被设计成能被使用者吞咽,以便从内部穿过使用者胃肠道;
 - 一应变仪,连接所述胶囊壳,用于测量施加于所述胶囊壳的应变力;
 - 一控件,用于接收来自所述应变仪的测量数据并响应此测量数据。
2. 如权利要求 1 所述的胶囊,进一步包括一图像扫描器,所述图像扫描器利用辐射扫描所述胶囊周围的图像;其特征在于,所述的图像扫描器被响应了来自所述应变仪的测量数据的所述控件选择性地激活。
3. 如权利要求 1 所述的胶囊,进一步包括多个应变仪,各自监测所述胶囊壳的不同区域。
4. 如权利要求 3 所述的胶囊,其特征在于,所述控件追踪经过所述多个应变仪的应变力的移动。
5. 如权利要求 1 所述的胶囊,其特征在于,所述控件通过响应来自所述应变仪的测量数据识别胃肠道中的障碍。
6. 如权利要求 1 所述的胶囊,其特征在于,所述控件通过响应来自所述应变仪和至少一个其它传感器的测量数据识别胃肠道中的障碍物。
7. 如权利要求 6 所述的胶囊,其特征在于,所述至少一个其它传感器是一压力传感器,用于测量胶囊周围内容物产生的液体静压力。
8. 如权利要求 6 所述的胶囊,其特征在于,所述至少一个其它传感器是位置跟踪系统。
9. 如权利要求 6 所述的胶囊,其特征在于,所述至少一个其它传感器是一红外线传感器。
10. 如权利要求 6 所述的胶囊,其特征在于,所述至少一个其它传感器是一 3D 加速计。
11. 如权利要求 6 所述的胶囊,其特征在于,所述至少一个其它传感器是一 3D 指南针。
12. 如权利要求 1 所述的胶囊,其特征在于,所述胶囊的比重大于 1。
13. 如权利要求 1 所述的胶囊,其特征在于,所述应变仪连接所述胶囊壳的外部。
14. 如权利要求 1 所述的胶囊,其特征在于,所述应变仪连接所述胶囊壳的内部。
15. 一种检查胃肠道的方法,包括:
 - 吞咽一胶囊,所述胶囊由一胶囊壳封闭;
 - 用一应变仪测量施加于所述胶囊壳的应变力,所述应变仪连接所述胶囊壳;
 - 传送测量数据至一控件;以及
 - 通过测量数据识别障碍物。
16. 如权利要求 15 所述的方法,进一步包括:
 - 响应来自所述应变仪的测量数据,选择性地激活一图像扫描器,所述图像扫描器利用辐射扫描所述胶囊周围的图像。
17. 如权利要求 15 所述的方法,进一步包括:
 - 接受来自至少一个其它传感器的测量数据。
18. 如权利要求 17 所述的方法,其特征在于,所述其它传感器是一压力传感器,用于测量胶囊周围内容物产生的液体静压力。

具有应变式传感器感测胃肠道活动的胶囊

[0001] 相关申请

本申请要求享有 2012 年 9 月 7 日递交的美国临时专利申请序列第 61/697,863 号的优先权,此专利申请以引用的方式并入本文。

技术领域

[0002] 本发明主要涉及使用腔内胶囊探查患者结肠内情况,尤其涉及基于胶囊测量的传感器读数识别目标位置。

背景技术

[0003] 在存在息肉和其它可能提示癌症潜在风险的相关临床症状时,有一种检查胃肠道的方法,它是通过吞入可经过胃肠(GI)道的摄像胶囊观察患者内部情况而实现的。在通常的情况下此过程耗时约 24-48 小时,在此之后,摄像胶囊随患者排泄物排出。通常患者会吞咽造影剂以增强摄像胶囊的成像能力。然后患者吞咽摄像胶囊,在其流经造影剂时检查胃肠道情况。摄像胶囊通常包括辐射源,例如包括放射 X 射线或伽玛射线的放射性同位素。所述辐射通常是准直的,以允许它在成像过程中可控地指向一个特定方向。在一些情况下摄像胶囊被设计成用于测量康普顿反向散射或 X 射线荧光,并通过无线传输将测量数据(例如,计数率)传至外部分析设备,例如计算机或其它专用仪器。

[0004] 一种典型的实施情况就是使用放射不透明造影剂,如此有息肉的位置会具有更少的造影剂并能测量到较大的反向散射数值,以提高测量的准确度。或者,其它方法也可用于成像胃肠道。

[0005] Kimchy 拥有的美国专利号为 7787926 的专利,其公开内容在此引入作为参考,它描述了制造和使用此种摄像胶囊的相关细节。

[0006] 使用摄像胶囊使得使用者暴露于辐射中,这具有潜在的伤害。因此,在非必要时限制使用者暴露于辐射中是有益的,例如,仅在需要时进行辐射并在不需要进行测量的位置阻止胶囊辐射的释放。摄像胶囊可设计成具有能在不需要扫描时指示阻止辐射的隐藏机制。可选地,隐藏机制通常处于关闭位置,从而防止在未扫描时辐射从胶囊中发出。

[0007] 典型的实施例的理想情况是,由于没有必要重复地扫描相同的位置,摄像胶囊被选择性地指示仅当它在结肠中运动时发射辐射进行扫描。利用选择性扫描也可以保存能量,从而延长了电池的寿命和 / 或使得它能够使用较小尺寸的电池。

[0008] 因此,有必要在不激活辐射扫描机制的情况下确定在结肠中的疑似病患位置。另外,还需要感测结肠收缩以确定胶囊是在行进还是被阻塞,从而帮助确认疑似病患位置和 / 或可决定是否激活辐射扫描机制以产生结肠图像。

发明内容

[0009] 本发明的实施例的目的是涉及一种胶囊,配备有一个或多个应变仪,以感测经过胃肠道时施加于胶囊的应力和应变力。该胶囊被封闭于连接有应变仪的胶囊壳中。在本发

明的一些实施例中,应变仪连接于胶囊壳的外侧。或者,应变仪与其它在胶囊内部的装置连接于胶囊的内侧。应变仪记录的测量数据传输到胶囊内的控件以用于分析。控件分析测量数据,并识别那些怀疑干扰胶囊运动的障碍物的位置。

[0010] 本发明的一些实施例中,胶囊可以接受来自其它传感器的测量数据,以提高分析的精确度。其它传感器包括压力传感器、位置跟踪系统、3D 加速计、3D 指南针、电极、光传感器或红外传感器。可选地,其它传感器可以与应变仪同时工作。或者,其它的传感器也可由应变仪获得的测量数据激活。在本发明的一些实施例中,控件可以响应应变仪获得的测量数据并激活辐射图像扫描仪,以扫描和提供可疑区域图像。

[0011] 在本发明的典型的实施例中,胶囊内的控件可与外部的控件进行无线通信,例如通过从内部控件接收信息传输的通用计算机实现。可选地,外部控件可根据内部控件提供的信息向胶囊提供指令。

[0012] 因此根据本发明的典型的实施例,提供一种用于检测胃肠道的胶囊,包括有:

一胶囊壳,用于封闭胶囊;其中所述的胶囊壳被设计成能被使用者吞咽以在内部穿过使用者胃肠道;

一应变仪,连接胶囊壳,用于测量施加于胶囊壳的应变力;

一控件,用于接收来自应变仪的测量数据并响应所述测量数据。

[0013] 在本发明的典型的实施例中,所述的胶囊进一步包括有利用辐射扫描胶囊周围图像的图像扫描器;其中所述的图像扫描器可以被控件选择性地激活,其中控件响应了来自应变仪的测量数据。可选地,所述的胶囊进一步包括有能够分别监测所述的胶囊壳不同区域的多个应变仪。在本发明的典型的实施例中,所述的控件可以追踪经过所述的多个应变仪的应变力活动。可选地,所述的控件通过响应来自应变仪的测量数据来识别胃肠道中的障碍。在本发明的典型的实施例中,所述的控件通过响应来自应变仪和至少一个其它传感器的测量数据来识别胃肠道中的障碍物。

[0014] 在本发明的典型的实施例中,所述至少一个其它传感器是用于测量胶囊周围的液体静压力的压力传感器。可选地,所述至少一个其它传感器是位置跟踪系统。在本发明的典型的实施例中,所述至少一个其它传感器是红外线传感器。在本发明的典型的实施例中,所述至少一个其它传感器是 3D 加速计。可选地,所述至少一个其它传感器是 3D 指南针。在本发明的典型的实施例中,所述的胶囊比重大于 1。可选地,所述的应变仪连接所述的胶囊壳的外部。或者,所述的应变仪连接所述的胶囊壳的内部。

[0015] 根据本发明的典型的实施例,进一步提供一种检查胃肠道的方法,包括:

吞咽由胶囊壳封闭的胶囊;

用连接胶囊壳的应变仪测量施加于胶囊壳的应变力;

传送测量数据至控件;以及

通过测量数据识别障碍物。

[0016] 在本发明的典型的实施例中,所述的方法进一步包括响应来自应变仪的测量数据、选择性地激活利用辐射扫描胶囊周围图像的图像扫描器的步骤。可选地,所述的方法进一步包括有接受来自至少一个其他传感器的测量数据的步骤。在本发明的典型的实施例中,其中所述的其它传感器是用于测量胶囊周围的液体静压力的压力传感器。

附图说明

[0017] 结合附图,以下详细描述可用于理解和更好地领会本发明。在不止一幅图中出现的相同的结构、元件或部件,一般用相同或相似的数字在它们出现的图中标出,其中:

根据本发明的典型的实施例,图 1 是胶囊壳上安装有应变仪的胶囊的示意图。

[0018] 根据本发明的典型的实施例,图 2B-2J 是安装于胶囊不同位置及各种形状的应变仪的胶囊示意图。

[0019] 根据本发明的典型的实施例,图 3A-3C 是胶囊受到多个应变力时的示意图。

[0020] 根据本发明的典型的实施例,图 4 是胶囊壳的内表面或外表面安装有阵列的应变仪的胶囊的示意图。

[0021] 根据本发明的典型的实施例,图 5 是胶囊与障碍物碰撞的示意图。

[0022] 根据本发明的典型的实施例,图 6 是胶囊滑过障碍物的示意图。

[0023] 根据本发明的典型的实施例,图 7 是胶囊在结肠内与障碍物相互作用及对应的应变仪读数的示意图。

具体实施方式

[0024] 如图 1 所示,在本发明的典型的实施例中,有一胶囊 100,具有一壳 110,配备有一应变仪 120,安装在胶囊壳 110 的表面上。可选地,应变仪 120 感测当胶囊穿过胃肠道时,其受到的使之运动或阻止其运动的应力与应变。在本发明的典型的实施例中,应变计 120 位于胶囊 100 的内部,壳 110 的内壁上。或者,应变计 120 位于胶囊 100 的外部,壳 110 的外壁上。在本发明的一些实施例中,胶囊 100 包括利用辐射扫描并提供所扫描位置图像的图像扫描器 135。可选地,图像扫描器 135 能被来自应变仪 120 采集的测量数据选择性地激活。

[0025] 一个典型的应变仪由美国北卡罗来纳州罗利市的 Vishay Precision 集团公司制造,例如,微测 SR-4 型应变仪。或者,也可使用其它兼容的应变仪。可选地,应变仪 120 通过适当的电子设备连接至控件 130,控件 130 通过激活或关闭胶囊 100 的元件控制胶囊 100 的功能。在本发明的典型的实施例中,适当的电子设备可包括放大器,维氏电桥,模数转换器和/或其它电气元件。

[0026] 图 2A-2J 显示了应变仪 120 各种可能的位置和形状。在本发明的典型的实施例中,胶囊壳 110 为两端具有拱形结构的细长圆筒体,且无锐利边缘。或者,胶囊壳 110 可以是椭圆形,具有类似蛋的形状或任何其它形状,例如盒子的形状。可选地,胶囊 100 在使用时可以包括多种不同位置、方向和/或形状的应变仪 120 的组合,以便在胶囊穿过患者胃肠道时帮助正确地探测施加于胶囊 100 的力的来源和性质。

[0027] 根据本发明的典型的实施例,图 3A-3C 是胶囊受到各种应变力的示意图。例如该力可被施加到胶囊 100 的端部,胶囊 100 的两侧或壳 110 的各种曲线位置。可选地,各种应变力产生于胶囊 100 通过患者身体的器官时发生的不同的生理事件,例如通过胃、括约肌(例如食道括约肌,幽门括约肌)、小肠、结肠、乙状结肠和穿出直肠时的生理事件。

[0028] 在本发明的典型的实施例中,胶囊壳 110 由半柔性材料制成,例如聚碳酸酯或类似的塑料材料。可选地,壳的厚度小于 1mm,例如 0.2 毫米到 0.7 毫米之间。可选地,壳的厚度允许其轻微变形以应对施加胶囊壳 110 上的外部应变和/或压力。可选地,胶囊壳 110

在应变力被去除时基本上可以恢复至其初始状态。在本发明的典型的实施例中,应变力被应变仪 120 转换为传输至控件 130 的电子信号。可选地,控件 130 可传输(170)电子信号至外部控件 160 以用于分析,或对此电子信号提供一内部响应,例如在被施加力的位置启动图像扫描器或者利用定位系统记录其相对或绝对位置。

[0029] 在本发明的典型的实施例中,电子信号的分析可以用于确定产生应变力的可能相关的生理事件,例如结肠的大规模运动、通过括约肌和其它事件。在本发明的一些实施例中,基于应变仪 120 的结果可以与胶囊内获取的或者患者身体外部获得的其他测量数据相结合,以决定胶囊的行动,例如使用其它传感器 144,诸如倾斜传感器、3D 加速计或 3D 指南针,以提供测量数据。

[0030] 在本发明的一些实施例中,胶囊壳 110 由诸如硅树脂或其它类似材料的软性材料制成,以便于在胶囊 100 上的微弱压力或胶囊 100 的运动可被应变仪 120 感测。可选地,壳的厚度可以为例如 0.2mm 至 2mm 之间。

[0031] 根据本发明的典型的实施例,图 4 是胶囊 100 的示意图,它具有应变仪 120 的阵列 150,应变仪 120 安装于胶囊壳 110 的内表面或外表面。可选地,使用应变仪 120 的阵列 150 能够形成施加于胶囊 100 外表面的应变力的像素化感测阵列。在本发明的典型的实施例中,阵列的设置可用于由柔性材料或半柔性材料制成的胶囊壳。可选地,使用应变仪的阵列 150 可以提供相关于施加于胶囊上的应力与应变的附加信息,例如追踪穿过胶囊壳 110 的应变力活动。在本发明的典型的实施例中,使用应变仪 120 的阵列能够提供更精确的信息,以便于控件 130 可以通过胶囊 100 在启动和停止图像扫描时变得更加精确。

[0032] 在本发明的典型的实施例中,由多个应变仪 120 通过接触结肠壁、息肉或者其他结肠内变形物提供的信息,可以有或无附加地结合使用辐射进行结肠成像或者通过减少扫描的量,用于构建结肠内部图像(例如息肉,变形和其他的突起)。

[0033] 在本发明的典型的实施例中,应变仪 120 的阵列 150 通过使用诸如美国新泽西州麦迪逊 Sensor Products 公司销售的电子触觉表层覆盖胶囊壳 110 的至少部分外表面来实现。可选地,触觉表层与控件 130 上适当的解码电子设备连接,使之能够感测胶囊壳 110 上至少一部分的压力测量和压力分布的接触信息。可选地,控件 130 或外部控制器可以利用接触信息,以确定胶囊 100 是否由胶囊壳 110 的外表面的结肠壁的压力而运动。

[0034] 在本发明的一些实施例中,胶囊 100 被设计成比重(克/立方厘米)高于水(1 克/立方厘米),例如 2 至 5 克/立方厘米,以使得胶囊 100 在结肠内容物中下沉并特定地处于盲肠底部结肠入口处。当盲肠发生大规模运动时,结肠肌使胶囊勉强通过,使胶囊从盲肠移动至结肠的其它部分。可选地,由于施加于胶囊 100 的应变力,应变仪 120 能够感测上述事件并报告给控件 130。

[0035] 在本发明的一些实施例中,除应变仪 120 外,压力传感器 140 也被加入胶囊 100。可选地,压力传感器 140 测量由结肠 180 内容物产生的液体静压力。可选地,控件 130 接收应变仪 120 和压力传感器 140 的测量数据以提高探测息肉和其他障碍物(如癌变组织块)的精确度。控件 130 可以传输(170)位置和事件的细节信息给外部控件 160,以为医师提供信息。可选地,医师可利用关于疑似病患位置的信息进行进一步的检查,如结肠镜检查。

[0036] 在本发明的典型的实施例中,至少一个附装于胶囊壳 110 的应变仪 120 和压力传感器 140 的结合有助于对结肠 180 壁的压力和结肠 180 内容物的压力进行区分。应变仪

120 用于感测胶囊壳上的应变,例如结肠壁施加的胶囊圆柱形部分的应变。可选地,压力传感器 140 位于胶囊的端部,并适用于感测结肠内容物的液体静压力而不受结肠壁应变的影响,这是由于结肠壁和胶囊的圆柱形状使得胶囊 100 与其前端和后端在其运动方向或反运动方向对准,因此胶囊的端部可以避免压力传感器受结肠壁应变的影响。

[0037] 使用两个独立的信号,一个来自应变仪 120 而另一个来自压力传感器 140,能够使控件 130 和外部控件 160 区分由胶囊壁施加于胶囊导致的应变事件(在这种情况下,仅应变仪能感测这些事件)和由胶囊 100 周围内容物产生的液体静压力导致的事件(在这种情况下,压力传感器和应变仪都可以感测上述压力)。

[0038] 控件 130 区分这两种类型事件的能力使其能够识别结肠壁施压胶囊的情况和结肠内容物的液体静压力产生应变信号的情况。

[0039] 在本发明的典型的实施例中,结合上述的来自应变仪 120 及压力传感器 140 的信息和来自位置跟踪系统 142 (图 1) 的位置信息,使得胶囊受结肠壁压力时离线分析结肠内(障碍物)长度和位置,因此可得到在结肠 180 壁上有障碍物突出的地方的结肠覆盖度。

[0040] 根据本发明的典型的实施例,图 6 是胶囊 100 滑过障碍物 190 的示意图。在本发明的典型的实施例中,胶囊 100 可能会在结肠 180 的腔内卡住,例如在结肠 180 壁和各种障碍物 190 之间。可选地,腔内壁的压力使结肠的压力受体引导压力波穿过结肠的障碍位置,障碍位置引起压力受体收缩和扩张,以移动障碍物体前进(例如胶囊 100)。在本发明的典型的实施例中,应变仪 120 和 / 或压力传感器 140 会识别不同情况的收缩并使控件 130 作出相应反应。

[0041] 根据本发明的典型的实施例,图 7 是胶囊 100 在结肠 180 与障碍物 190 相互作用及对应的应变仪 120 读数的示意图。实施例 A 示意了胶囊 100 在无障碍物的结肠 180 中的情况。实施例 B 示意了胶囊 100 遇到障碍物 190 的情况。实施例 C 示意了胶囊 100 攀越障碍物 190 的情况。实施例 D 示意了胶囊 100 由攀越障碍物 190 下来恢复正常运动的情况。实施例 E 示意了胶囊 100 在结肠末端准备退出结肠的情况。

[0042] 在本发明的典型的实施例中,胶囊 100 包括位置跟踪系统 142 (图 1) 例如电磁位置跟踪系统,以便于为医师提供位置信息,帮助疑似病患位置定位以实施其他检查。

[0043] 在本发明的典型的实施例中,胶囊壳 110 可以是可膨胀的,例如类似气球,这样胶囊壳可以在结肠中扩大以检测更小的障碍物或刺激结肠 180 移动胶囊 100。可选地,胶囊 100 可以附带可充气气球或囊袋,这样在穿过结肠探测更小的障碍物和加强结肠 180 对胶囊的反应的刺激时,可以使他们膨胀。

[0044] 在本发明的一些实施例中,在患者吞咽胶囊 100 前施用超摩尔渗透压化合物或其它类型的化合物,用以引导排空或者部分排空结肠。可选地,这使得结肠直径减小,以提高胶囊被结肠内的障碍物阻碍的概率。

[0045] 在本发明的一些实施例中,超摩尔渗透压化合物也可以用作 X 射线造影剂,例如荷兰霍林赫姆 Guerbet 公司销售的 Telebrix Gastro。可选地,患者可以在吞咽胶囊 100 前数小时内服上述化合物,以增强排空结肠并加强胶囊 100 中的扫描器的成像能力。

[0046] 在本发明一些实施例中,障碍物 190 可单独地根据应变仪 120 的测量数据探测到。或者,疑似病患位置也可以被 X 射线成像器扫描以产生疑似病患位置的图像。进一步可选地或附加地,也可考虑使用压力传感器 140 或其他传感器 144,例如通过放置在胶囊壳 110

外表面的电极测量胶囊 100 附近的阻抗变化。

[0047] 附加测量可以包括在接近胶囊壳 110 外表面的光学或近红外光变化,例如使用光学或近红外光传感器。可选地,胶囊壳 110 外表面附近的电容变化可以使用电极探测,因为癌变障碍物和正常组织通常具有不同的密度而导致的电容的差异。

[0048] 在本发明的典型的实施例中,多个传感器的组合用于探测结肠 180 的息肉或者疑似病变,例如,将 3D 加速计检测到的胶囊倾斜、电磁位置跟踪系统检测到的胶囊位置变化和至少一个应变仪 120 测得的信号结合起来,可以察觉遇到结肠内息肉或疑似病变的可能性。在胶囊行进过程中,结肠壁通常贴近胶囊并沿结肠推进胶囊,因此当遇到息肉或者其他病变时,胶囊绕过或越过息肉和病变部位而改变方向。由于胶囊 100 绕过了息肉,在胶囊经过其路径几毫米后,应变仪 120 就可探测到强烈的应变力。因此,基于在结肠 180 的位置、行进方向和来自应变仪 120 的读数,人们可以有把握地确定关于息肉和一些其他病变的存在情况。这些信息被控件 130 或外部控件 160 所使用,以告知医师和 / 或激活胶囊扫描机制记录相关位置图像。

[0049] 在本发明的典型的实施例中,由应变仪 120 所提供的信号可以被用来确定胶囊 100 是否离开了患者的身体,例如在厕所里。可选地,当它排出时直肠在胶囊 100 上的压力会记录一个强力的应变信号。此信号通常会跟随应变仪 120 的信号缓慢变化,这是由于周围环境温度的变化,例如由体内的 36-37°C 变为室内的不同温度(例如,20°C)而产生的。

[0050] 信号序列可被控件 130 或外部控件 160 所使用,以告知患者胶囊已排出,也可以启动胶囊内的程序,例如发送胶囊内最后的数据到外部控件 160。

[0051] 应当理解的是以上描述的方法和装置可以在许多方面进行变化,包括省略及增加步骤、变化步骤顺序和使用的设备型号。应当理解,不同的技术特征可以在不同的方式下组合。特别地,并不是所有上述特定实施例中技术特征在公开的每个实施例中都是必要的。上述技术特征的进一步组合也限于本发明的一些实施例的范围中。

[0052] 本领域技术人员应当理解本发明的文本并不局限于上文具体展示和描述的内容。

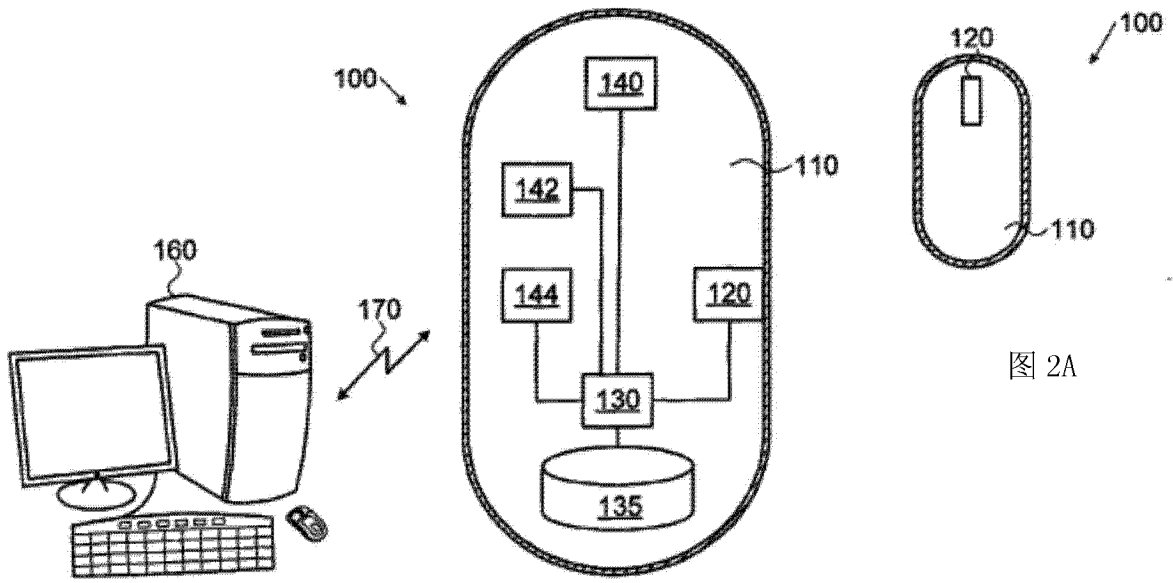


图 1

图 2A

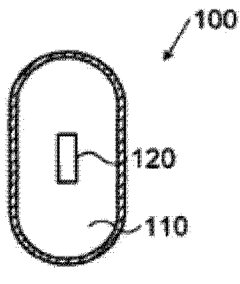


图 2B

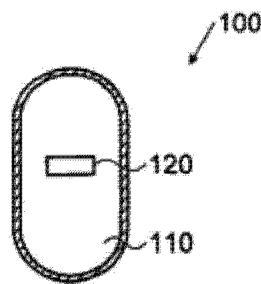


图 2C

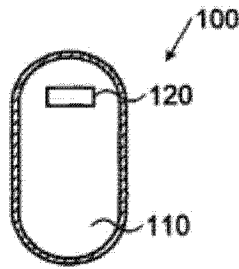


图 2D

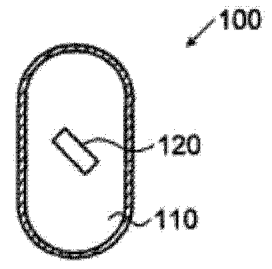


图 2E

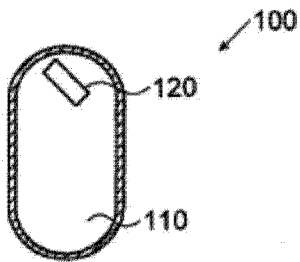


图 2F

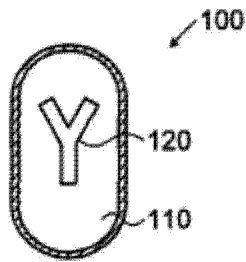


图 2G

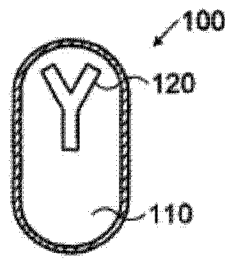


图 2H

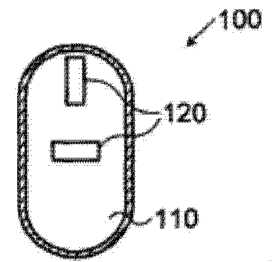


图 2I

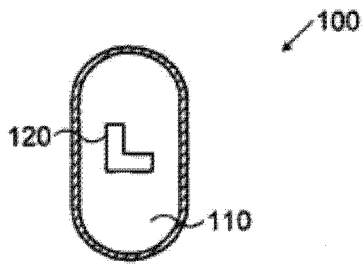


图 2J

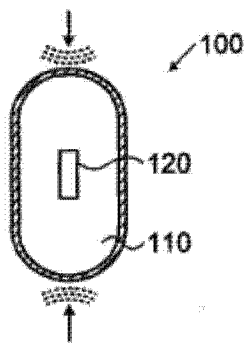


图 3A

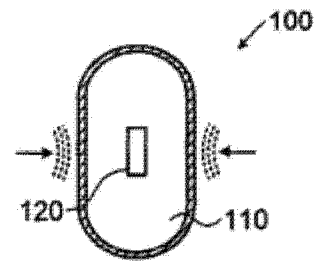


图 3B

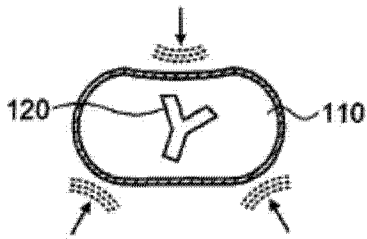


图 3C

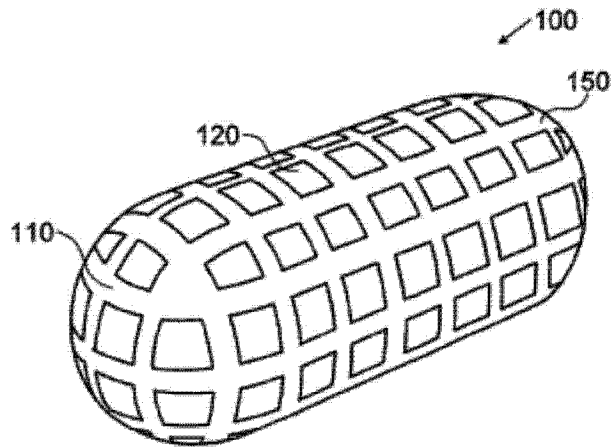


图 4

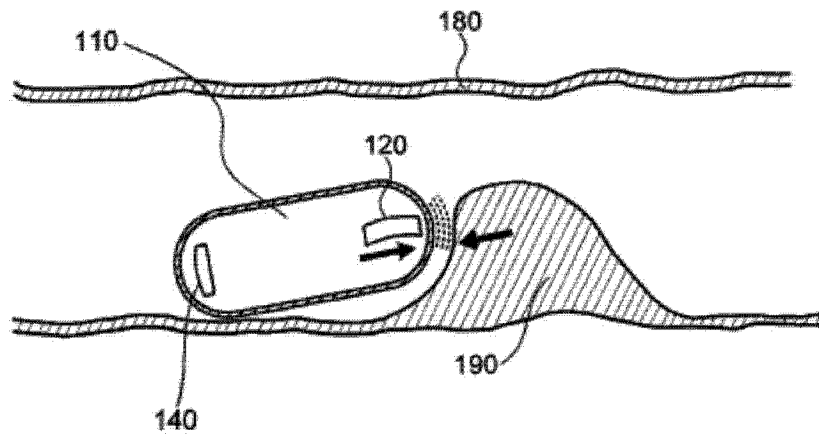


图 5

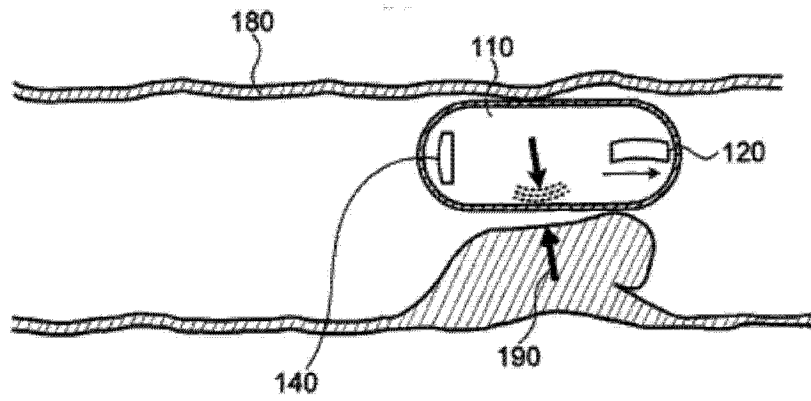


图 6

应变仪测定情景

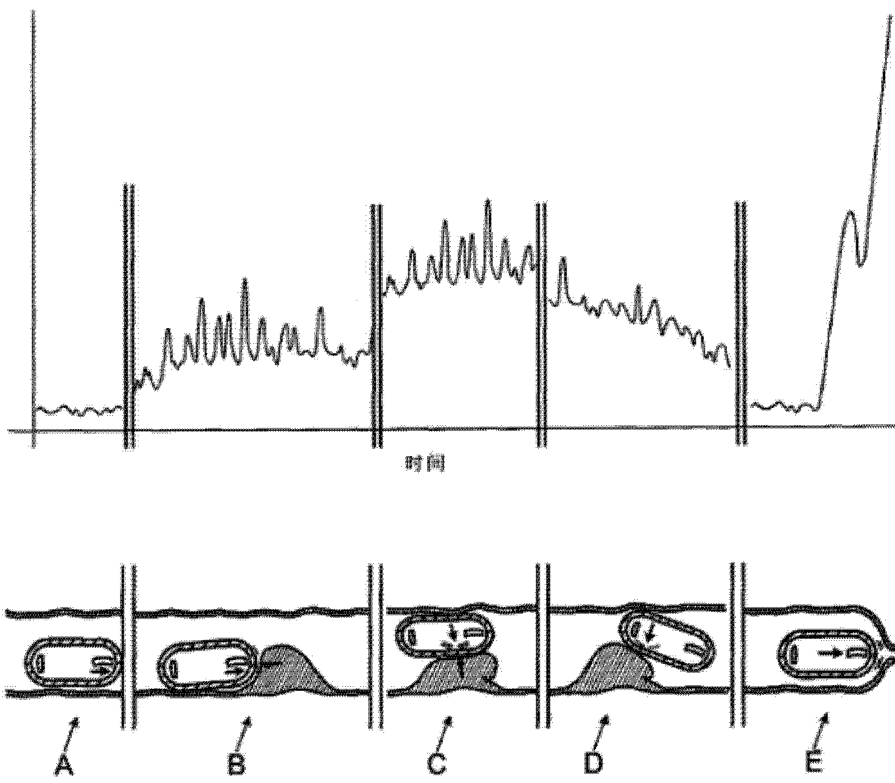


图 7