

术中管理的气管导管套囊压力自动控制解决方案

Automatic Control Solution for Intraoperative Management of Endotracheal Tube Cuff Pressure

摘要：目前临床用气管导管球囊压力管理中缺乏操作简便和技术成熟的套囊压力自动控制仪器，现有压力测量和控制装置操作繁琐，存在充气增压和放气减压过程不及时和压力不稳定等问题。针对这些问题本文提出了球囊压力自动控制解决方案，采用动态平衡原理的球囊压力控制仪可根据设定压力自动排气和进气，快速抑制各种干扰，使球囊压力始终处于稳定状态。控制仪配有面板显示屏和微型气泵，并可连接外置压力传感器，使控制更准确和直观。

1. 问题的提出

气管导管套囊在机械通气中可起防止气道漏气，预防呼吸机相关性肺炎的作用，套囊压力管理是气管插管患者气道管理中的一个重要环节。由于气管导管套囊的压力异常与很多因素相关，如患者自身因素（肥胖、有吸烟史或合并哮喘、气管炎等）、麻醉医生因素和外在因素（体位、二氧化碳气腹、术中相关操作、笑气的应用等）以及呼吸机正常运行也会对套囊的压力产生影响。因此在套囊压力管理中，应当调节套囊中的压力以使其维持在一个稳定的水平，以避免漏气和其他潜在疾病的风险。套囊中压力过低可能产生漏气，而压力过高则可能对病人产生不适感。此外，在对套囊中压力进行调节时，也应当尽可能长时间维持套囊内压力稳定，降低套囊的不停膨胀和收缩的频率。但在目前的临床应用中套囊压力管理还无法达到稳定控制要求，所存在的问题主要体现在以下几个方面：

- (1) 外接压力测量和控制装置操作繁琐、器械及人力成本高。充气增压和放气减压过程用时长，压力调节缓慢，不利于抢救插管时快速操作，也不利于整个过程中的压力稳定。
- (2) 缺乏操作简便的套囊压力自动控制的成熟技术和相应仪器。

为了解决上述问题，基于快速闭环气体压力控制技术，本文提出了一种解决方案，可完美的实现套囊压力的快速自动调节和控制。

2. 解决方案

依据套囊的结构，临床气管导管套囊的压力控制，从理论上可以归结为对一个弹性体材质的密闭容器进行气压控制，此密闭容器只有一个对外进气或出气接口。由此，我们采用了动态平衡法进行压力控制，其基本原理如图1所示，即压力控制仪的核心是一个四通结构的小管件，其中管件的左右两端口分别作为进气和排风口，向上端口作为压力测量端口，向下端口作为工作压力输出口。

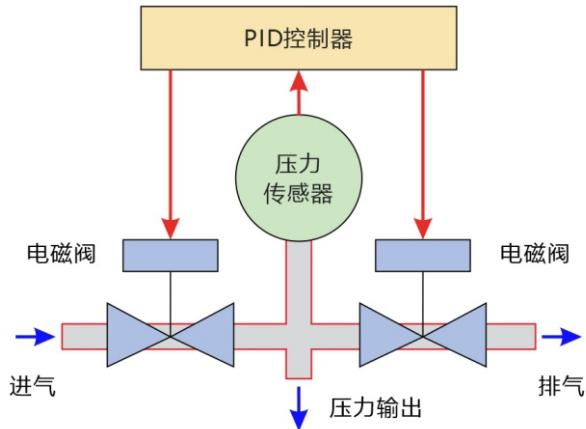


图1 套囊压力控制仪工作原理

在压力控制过程中，PID控制器采集压力传感器信号并与设定压力值进行比较，根据比较差值来驱动进气和出气电磁阀打开或关闭，由此来控制压力输出口处的压力快速达到设定压力值。

根据上述原理制造的套囊压力控制仪实际上是一个自动控制的压力源，此压力源直接连接到气管导管上就能实现对套囊压力的准确控制。整个套囊压力控制装置结构如图2所示。

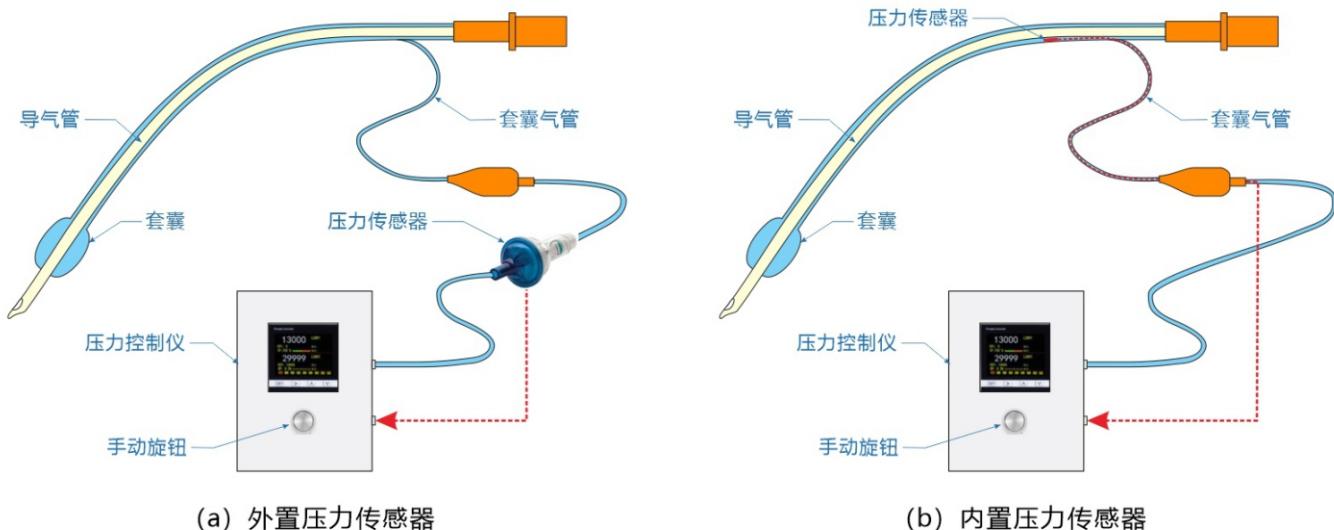


图2 两种形式气管导管套囊的自动压力控制结构示意图

在压力控制过程中，PID控制器采集压力传感器信号并与设定压力值进行比较，根据比较差值来驱动进气和出气电磁阀打开或关闭，由此来控制压力输出口处的压力快速达到设定压力值。

这里需要说明的是，标准的压力控制仪是在控制仪中内置了一个高精度压力传感器，但在实际应用中压力传感器更靠近被控容器以准确测量容器压力，所以球囊压力控制器提供了一个外置压力传感器的接口，由此可更准确的调节和控制球囊内压力，如图2(a)所示。

由于气管导管往往较细较长，图2(a)所示的外置压力传感器形式因距离球囊较远，往往也不能很准确和及时的监测和控制球囊压力。为此，目前新型气管导管球囊往往会内置一个微型压力传感器，如图2(b)所示，此内置传感器连接到球囊压力控制器可进行更准确和快速的压力控制。

在球囊压力控制仪中集成了一个微型气泵以始终提供正压压力，在控制仪面板上还提供了一个手动调节旋钮。在具体使用过程中，操作人员可根据面板上显示的压力数值来调整旋钮以设定球囊所需要稳定控制的压力值，设定完毕后，按动执行按钮，控制仪就可以全程的进行球囊压力自动控制，无论其他形式的各种干扰，球囊压力始终稳定在设定的压力值上。

3. 总结

综上所述，本解决方案所采用的球囊压力自动控制仪，基于动态平衡的压力控制方法，可很方便的实现球囊进气和排气的自动控制，使球囊压力始终保持稳定，具有很强的各种压力干扰的抑制性和恢复性。并且此球囊压力控制仪进行了最大程度的集成，内置了压力传感器和气泵，并具有很强的适用性，可连接各种气管导管球囊和外部压力传感器。整个操作极为简便，仅需通过面板旋钮进行操作，压力监测和控制结果直观面板数字显示。