

便携式智能人工鼻的设计研究

朱华麟 唐世雄 张建华 姚寿国 陈 星

摘要 目的 为研制一款小型化的,可随身携带,操作简单,具有自动加温加湿功能的,并能精确控制的,能模拟鼻腔部分功能的替代产品——便携式智能人工鼻。**方法** 通过对加温加湿度器及中央控制器的设计制作,再将人工鼻,流量传感器 呼吸管路等进行有机的系统整合,并通过温湿度仪对加温加湿性能效果进行测试。**结果** 常温下(在外界温度为 12℃,湿度为 40% 的测得其数据),温湿度分别在第 22,29min 是到达理想的目标值,分别比外界的温湿度提高 20℃ 及 58%。**结论** “便携式智能人工鼻”具有良好的加温加湿度性能,使得最终为研制一款真正可应用于临床的医疗装置迈出了关键的一步。

关键词 加温加湿 自动控制 便携式 人工鼻

Design of Portable and Intelligent Artificial Nose. Zhu Hualin, Tang Shixiong, Zhang Jianhua, Yao Shouguo, Chen Xing. The First Hospital of Ningbo, Zhejiang 315010, China

Abstract Objective To design a small, simple, easy to be carried, alternative product surrogating the upper airway with accurate control performance and ability to provide an autocontrolled heating and humidifying function called portable and intelligent artificial nose. **Methods** After designing the implement with heating and humidifying function and the central controller, we integrated the artificial nose, flow sensor, breathing pipeline into an organic systemic constellation, and tested its function of heating and humidifying through thermograph and hygromom. **Results** Below room temperature(the data was got under the condition where the outside temperature was 12℃ and humidity was 40%), the temperature and the humidity of the artificial nose reached the ideal desired value at 22min, 29min respectively, which were higher than the outside temperature and humidity by 20℃ and 58% respectively. **Conclusion** The “portable and intelligent artificial nose” has better function of heating and humidifying, which makes the key progress of turning the design of a real medical device used for clinical work into reality.

Key words Heating and humidifying; Autocontrolled; Portable; Prtificial nose

正常人的鼻腔具有加温,加湿,过滤等功能。当外界的温度为 -8 ~ 40℃ 度时,鼻腔黏膜可将摄入的空气温度调节到 32 ~ 34℃。另据微型热电偶检测,吸入气体为 23℃ 时,经过鼻腔到达声门下区时,气温可上升到 32℃,据测量,当吸入鼻腔空气湿度为 40% 时,经鼻腔吸入到咽部的湿度已提高到 75%,到达声门下时,湿度上升达 98%,这极其有利于呼吸道纤毛运动^[1]。据美国呼吸护理协会加温,加湿的判断标准,适宜的加温温度为 33 ± 2℃,适宜的加湿绝对湿度为 29 ~ 32mg/L 而对于气管切开建立人工气道的患者,则将未经鼻腔过滤,加温、加湿的空气直接被吸入到下呼吸道,这在临床上会导致下呼吸道大量干痂形成,气道阻力增加,气道积痰严重,并易引发下呼吸道感染,并使氧合能力大为下降^[2]。相对湿度 < 75%、温度 32℃ 以下时,上呼吸道黏膜上皮细胞纤毛功能停止,吸入的气体会变得极为干燥无法补偿呼出

的热量和水分,使肺泡的氧合能力大为下降,气道积痰严重,且干稠^[3]。现今国内外在临床上常用人工方法来代替模拟鼻腔部分功能:①人工鼻:其基本原理是将呼出的气体的温度和水分对吸入气体进行湿热交换,并通过静电纤维构成密集网,将阻挡和吸附细菌和病毒,以达到过滤的目的,然人工鼻本身不提供额外的热量和水分,故温湿化能力相当有限;②电热恒温湿化器:该装置多装备在新型呼吸机上,它能提供良好的加温、加湿功能,能较好地模拟上呼吸道功能,然而其体积较大,不能携带,操作时需要专业医务人员,它只适合于住院病人使用。目前国内外尚无一款可随身携带的,集过滤,能自动控制的,有加温加湿功能为一体的装置。我们设计研制了一款小型化的,可随身携带,操作简单,具有自动加温加湿功能的,并能精确控制的,能模拟上呼吸道功能的替代产品——便携式智能人工鼻。它由人工鼻(过滤器)、加温器、温湿化器、及各种传感器、中央控制器、高容量电池及呼吸管道构成(图 1)。这将弥补了现被广

泛使用的“人工鼻”其本身不能进行主动加温加湿这

一缺陷。

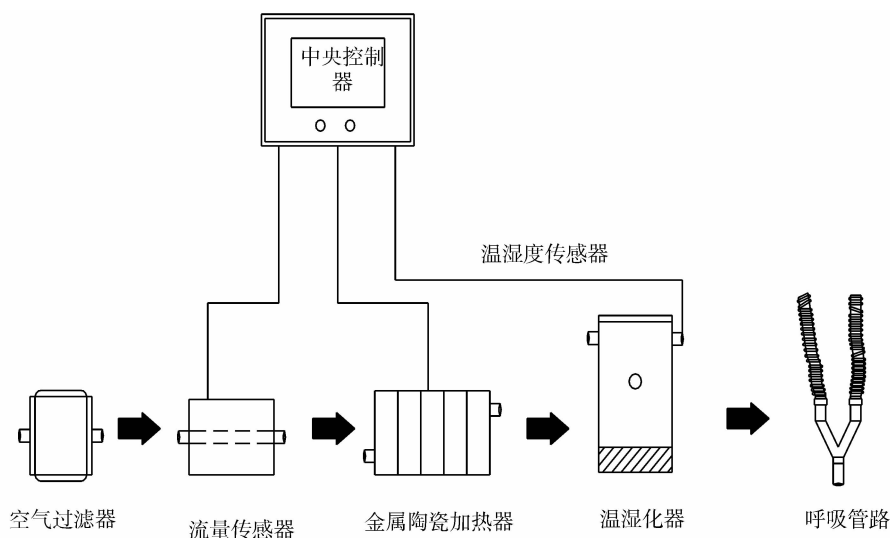


图1 便携式智能人工鼻的结构

材料与方法

1. 实验制作材料: (1) 温湿度仪器: 流量传感器选用美国 Siargo 公司的 MF4008 传感器, 该流量计专为小流量气体的测量和过程控制而设计, 采用微机电系统 (MEMS) 流量传感芯片来制作, 测量精度 $\pm (1.5 + 0.2FS)\%$ 。(2) 人工鼻: 选用 DAR 人工鼻系列中的静电式过滤器, 其过膜为疏水性聚无纺布材料, 此纤维具有永久电极性。由于细菌、病毒表面具备永久电极性, 从而将其俘获到过滤膜上。其细菌、病毒滤过超过 99.99%。(3) 微电脑温湿度控制器: 选用 Cygnal 公司的 C8051F330 芯片, 该器件是完全集成的混合信号片上系统型单片机。在本系统中, 控制器实时采集传感器数据, 并根据设定参数, 有效控制加热器和加湿器的运行状态。同时, 微控制器将采集信息通过液晶显示输出, 以使用户实时观测。(4) 温湿度传感器: 温度传感器选用 PT100 热电阻传感器, 0℃ 时阻值误差为 $\pm 0.06\%$ 。湿度传感器选用瑞士 Sensirion 公司的 SHT11 传感器, 测湿精度为 $\pm 3.0\% RH$ 。(5) 铝合金材料: 用于制作加温加湿器。(6) 直流电池: 选用双鹿 CR123A1 一次性锂电池, 卷绕式结构独有的低内阻、大电流的特点。采用 12V 并联二组电池进行供电。

2. 设计原理: 加热器与加湿器的设计。(1) 加热器: 通过设计研制了一具具有良好热传导效率金属外壳制作的, 内置陶瓷加热片形成管道回路加热器, 使得空气可在管道上流通来进行加温。这样的设计增加了散热表面积, 节约了空间。(2) 加湿器: 其设计原理是利用陶瓷电热板在湿化罐的底部加温, 其湿化罐内部中央的底部放置海绵储水, 罐中央置中空网眼状海绵, 于湿化罐的中央。这样的设计大大有利于提高水分增发的表面积, 有助于湿化效率的提高, 也有利于对空气进行再次加温。当底部加热板开始加热时, 储仓水温增加, 使得水汽蒸发, 使得空气湿度增加。(3) 参数的设定: 设定的

温度参数的理想目标值为 32℃。湿度上限为 98%, 下限为 75%。当摄入的气体温度低于设定值时, 加热器自动开始工作, 对其进行加温, 当其达到设定的温度时, 加热器停止加热。当湿度低于设定的值时, 湿度传感器会将信号传给中央控制器, CPU 输出信号, 加湿器开始加热, 使得储水罐的水温及气体温度升高。

3. 实验方法: 在其加湿器的出口处放置温湿度传感器, 对气体的温湿度进行实时监测。当外界的空气分别通过人工鼻及流量传感器后, 进入到加热器中进行加温, 再进入到加湿器中进行加湿, 在加湿器的出口处安装了温湿度传感器, 并可在液晶屏上显示, 以对吸入的空气中的温湿度进行实时检测。以外界温度为 12℃, 湿度为 42% RH (相对湿度) 为例, 用呼吸气囊模拟人体自然呼吸, 以每分钟 12 次的呼吸频率, 使用流量传感器测得潮气量, 即每次吸入的空气为 400 ~ 600ml 进行测试。

结 果

通过出口端的温湿度传感器将测得的数据显示在屏幕上, 每隔 2min 将测得的温湿度的结果记录下来 (表 1)。

讨 论

上述的实验数据表明, 外界温度在 12℃ 时, 其加温效果达到目标值需 26min, 其后在该温度点徘徊, 直到电压小于额定的值时。而湿度在第 22min 达到设定目标值, 可见湿度到达目标值的速度较快。然当外界温度 < 10℃ 时, 加热的气体温度会随之有所下降而达不到理想值。由于加湿器的加湿效果也有赖于储仓水温度提升, 外界温度越低, 其加湿效果同样也趋于下降。通过多组实验数据显示, 外界温度范围在

表 1 便携式智能人工鼻效果测试

时间 (min)	温度 (℃)	湿度 (% RH)
0	12	42
2	17.9	78
4	19.4	81.2
6	20.5	84.7
8	22.0	85.0
10	24.7	91.9
12	26.6	92.3
14	28.6	96.0
16	28.7	97.6
18	29.0	97.3
20	29.4	97.9
22	30.8	98.0
24	31.8	97.5
26	32.0	97.9
28	32.1	97.9
30	31.9	97.3

0 ~ 25℃, 湿度在 38% ~ 62% RH 时, 其平均温度实际提高 18℃, 湿度提高 48% RH。比较电热恒温加湿器, 一般都为安装在进口呼吸器上, 目前以 Fisher & Paykei 品牌加热湿化器居多。

据黄桃^[4]报道: 加热湿化器能够使呼吸机输送的温度控制在 32 ~ 36℃, 气体的相对湿度保持在 95% 以上, 绝对湿度 ≥ 30mgH₂O/L。电热恒温加湿器相对于“便携式智能人工鼻”有两大不同点: ①以交流电作为电源, 不存在供能不足的问题; ②在体积上没有特定的限制, 使得它具有很高的加温加湿效率。故此比较可发现便携式智能人工鼻的设计难点之一是“小”, 二是它的供电是直流电, 其输出的功率相当有限, 二者均制约了其加温加湿的效果。

实际上空气的加温过程是在一个狭小的管道中进行, 在吸气时以约以每秒 200ml 多的空气流量通过, 大量外界空气如此快速通过狭小加热管道而想要使其快速达到加温加湿的理想效果需要有两个前提: ①加温表面积的大小; ②加热系统的功率来决定。而“便携式”这一小型化的前提要求使得该装置的加温加湿的有效表面积受到限制, 从而制约了加温、加湿

效率的提高。测量气体通过管道系统加热的有效加热表面积约为 40cm², 而直流电池 12V 的工作电压使得其功率相对较小, 这两方面制约了加温加湿效率, 再比较鼻腔的加热结构, 表面黏膜有众多的细微绒毛, 其表面积大约 150cm², 如此大的有效表面积使得加热加湿效率大大地增加。事实上该装置的加温加湿效果不但受到产品本身空间大小及电池供能等多方面的因素的影响, 外界温湿度、呼吸频率、潮气量对其也有显著的影响。作为一种全新设计研制的新颖人工鼻, 通过对吸入气体进行有效的过滤、加温、加湿, 相当程度上模拟了鼻腔的主要功能, 为患者营造一个理想的呼吸生理环境具有积极的临床意义: 减少的下呼吸道的感染率, 提供适宜的温湿度, 减少了水分的蒸发和热能丢失。

一个安全、可靠的新颖人工鼻最终研制成功需要有多学科, 多部门的通力合作, 对其进一步的设计研究包括对现有的装置进行设计改进以进一步缩小体积, 提高温湿化效率, 延长电池工作时间, 并对传感器进行改进以提高其可靠性和灵敏度; 通过临床实验来调整各项参数, 使得其参数设置更符合人体生理要求。另外由于外界的温差, 气体通过呼吸管道时会有水凝集, 这些将在今后的研究设计中加以改进解决。倘若一个气道开放的患者通过携带这种新颖的人工鼻使得其也能象正常人一样在寒冷, 干燥的环境下自由地呼吸, 这将大大提高患者生活质量和生存质量。

参考文献

1 黄选兆, 汪吉宝. 实用耳鼻咽喉科学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 1998: 10
2 谢仙萍. 人工呼吸机的临床应用管理[J]. 国外医学. 环路学分册, 2003, 22(5): 204 - 207
3 林颐胜. 对湿化器人工鼻的应用探讨[J]. 中国医疗器械杂志, 2005, 26(7): 38 - 39
4 黄桃. MR410 加热湿化器在呼吸机临床治疗中的使用价值[J]. 医疗卫生装备, 2010, 31(02): 83 - 84

(收稿: 2011 - 02 - 09)

(修回: 2011 - 03 - 23)