doi:10.11659/jjssx.01E021062

·综 述·

经鼻湿化快速充气交换通气:一种新的窒息氧合技术

邱 瑾,段光友,陈 兵,黄 河 (重庆医科大学附属第二医院麻醉科,重庆 400010)

[摘 要] 气道管理是临床麻醉、重症和急救过程中最常用的一项重要操作。经鼻湿化快速充气交换通气(THRIVE)是一种新的无创通气技术,可通过高流量加热加湿 O_2 为呼吸暂停患者提供足够的氧合,保证患者安全,在临床麻醉与重症患者治疗中得到越来越多的关注及应用。本文就 THRIVE 的发展、机制及其在临床麻醉和重症领域的应用情况进行综述。

[关键词] 经鼻湿化快速充气交换通气;窒息氧合;经鼻高流量湿化氧疗

[中图分类号] R459.6;R614 [文献标识码] A [收稿日期] 2021-01-15

Transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange:a new technique of apneic oxygenation

QIU Jin, DUAN Guang-you, CHEN Bing, HUANG He (Department of Anesthesiology, Second Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

Abstract: Airway management is an essential skill for clinical anesthesia, intensive treatment and emergency treatment. Transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange (THRIVE) is a new non-invasive ventilation technique that delivers continuous, warm and humidified oxygen at a high flow rate via nasal cannulae to apnea patients, and guarantee the safety of patients, which has been widely used in clinical anesthesia and intensive treatment. This article reviews the development, mechanism and application of THRIVE in clinical anesthesia and critical care medicine.

Keywords: transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange; apneic oxygenation; high-flow nasal cannula

气道管理是麻醉医生需要重点关注的一项基本技能,麻醉医生需要不断学习和更新各种气道设备和通气技术的新知识。近年来,经鼻湿化快速充气交换通气(transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange,THRIVE)作为一种新的无创呼吸支持技术,被越来越多地关注及使用。THRIVE 是一种新的窒息氧合技术,其结合了传统窒息氧合技术以及近年来在临

[基金项目] 国家重点研发计划项目(SQ2018YFC200044);重庆市科卫联合医学项目(2018ZDXM033)

[通信作者] 黄 河,E-mail:13708385559@163.com

[12] Xia P, Xu XY. PI3K/Akt/mTOR signaling pathway in cancer stem cells: from basic research to clinical application[J]. Am J Cancer Res, 2015, 5(5): 1602-1609.

[13] Wen Z, Hou W, Wu W, et al. 6'-O-Galloylpaeoniflorin attenuates cerebral ischemia reperfusion-induced neuroinflammation and oxidative stress via PI3K/Akt/Nrf2 activation[J]. Oxid Med Cell Longev, 2018, 2018: 1-14. doi: 10.1155/2018/8678267.

[14] 胡流芳,王 迎,任汝静,等. Keap1-Nrf2/ARE 信号通路的抗氧化应激作用及其调控机制[J]. 国际药学研究杂志, 2016, 43(1): 146-152. doi: 10.13220/j.cnki.jipr.2016.01.022.

[15] Itoh K, Wakabayashi N, Katoh Y, et al. Keap1 represses nuclear activation of antioxidant responsive elements by Nrf2 through binding to the amino-terminal Neh2 domain[J]. Genes Dev, 1999, 13(1): 76-86. doi: 10.1101/gad.13.1.76.

[16] 王亚楠,刘 佳,张 林,等. Keap1/Nrf2/ARE 信号通路调控线粒体分裂在脑缺血/再灌注损伤中的作用[J]. 国际麻醉学与复苏杂志, 2020, 41(4): 321-325. doi: 10.3760/cma.j.cn321761-20190415-00001.

[17] 王亚楠. KEAP1/NRF2/ARE 信号通路调控线粒体自噬在 SH-SY5Y 氧糖剥夺再灌注损伤中的作用[D]. 青岛:青岛大学, 2020: 22-24. doi: 10.27262/d.cnki.gqdau.2020.000804.

[18] Ooi BK, Goh BH, Yap WH. Oxidative stress in cardiovascular diseases: involvement of Nrf2 antioxidant redox signaling in macrophage foam cells formation[J]. Int J Mol Sci, 2017, 18(11): 2336. doi: 10.3390/ijms18112336.

[19] Loboda A, Damulewicz M, Pyza E, et al. Role of Nrf2/HO-1 system in development, oxidative stress response and diseases: an evolutionarily conserved mechanism[J]. Cell Mol Life Sci, 2016, 73(17): 3221-3247. doi: 10.1007/s00018-016-2223-0.

[20] 叶 胜,曹 钰. Nrf2-HO1 信号通路调控脑缺血-再灌注氧化应激损伤的研究进展[J]. 中华急诊医学杂志, 2019, 28(12): 1571-1575. doi: 10.3760/cma.j.issn.1671-0282.2019.12.026.

[21] 巩敏杰,安佳琪,吴 锋,等. 褪黑素通过 Nrf2/HO-1 信号通路减轻大鼠脑缺血再灌注损伤[J]. 西安交通大学学报(医学版), 2019, 40(6): 857-863. doi: 10.7652/jdyxb201906004.

[22] Gao K, Liu M, Ding Y, et al. A phenolic amide (LyA) isolated from the fruits of lyciumbarbarum protects against cerebral ischemia-reperfusion injury via PKCε/Nrf2/HO-1 pathway[J]. Aging (Albany NY), 2019, 11(24): 12361-12374. doi: 10.18632/aging.102578.

(编辑:魏 源)

床广泛使用的经鼻高流量氧疗(high-flow nasal cannula,HFNC)技术的优点,能为呼吸暂停患者提供高流量湿化氧疗,延长安全的呼吸暂停时间。基于 THRIVE 的优点,其在气道管理、气道急救以及临床麻醉工作中得到了越来越多的应用,但目前其应用范围仍然局限在麻醉诱导、部分术中人群及特殊人群的气道管理中。为进一步加深对 THRIVE 的认识并拓展其应用范围,本文对 THRIVE 的发展、机制和临床应用进行综述。

1 THRIVE 的定义与发展

窒息氧合是指在没有自主呼吸或机械通气的情况下进行氧合[1]。在 Lyons 等[1]的综述里提到,最早关于窒息氧合现象的描述可能是 1667 年由 Hook 提出的,他通过刺破犬肺后给予持续充气来实现氧合。1949 年,Draper 等[2]的一项动物研究提出,在呼吸功能受到抑制的一段时间里可以维持充分氧合和其他重要功能的现象,被称为“扩散呼吸”或“窒息扩散氧合”。随后,1956 年,美国麻醉学者 Nahas 在以往研究的基础上又提出了“窒息氧合”[3]。尽管窒息氧合技术的相关研究从 20 世纪 40 年代就已开始,但由于技术的限制,直至 80 年代才逐渐被临床医生所关注。研究者们不断研发将 O_2 送入呼吸道的装置以实现窒息氧合,包括面罩、鼻导管、鼻咽导管、声门上气道装置、硬支气管镜等[1],这些窒息氧合技术多以低流量吸氧为主。

2012 年,Weingart 等[4]报道了经鼻窒息氧合技术的应用,即通过鼻导管为麻醉诱导期患者提供 12 L/min冷而干燥的 O_2 来延迟氧饱和度下降,但冷而干燥的高流量气体却容易导致患者气道黏膜损伤和疼痛。随着 HFNC 的发展[5-6],窒息氧合技术的应用也取得了突破性进展。2015 年,Patel 等[7]证实高流量加热加湿供氧系统用于窒息氧合技术可为呼吸暂停患者提供足够的氧合,并在此基础上提出了 THRIVE 这一概念。2020 年,Huang 等[8]将 THRIVE 定义为一种通过鼻导管以高流速(最高可达 120 L/min)向临床呼吸暂停的患者输送持续、温暖和 100% 湿化 O_2 的技术。2020 年,左明章等[9]提出,THRIVE 是在患者没有自主呼吸及机械通气的状态下应用 HFNC,以维持患者在无自主呼吸及无机械通气状态下的氧合和 CO_2 清除。

基于这些研究定义,我们可以发现,THRIVE 是一种应用于窒息患者的 HFNC 技术,也是一种新的窒息氧合技术,通过鼻导管以高流速向临床呼吸暂停患者输送持续加温加湿 O_2,并保证其相对浓度恒定,以延长安全呼吸暂停时间。

2 机制

2.1 持续正压效应

THRIVE 提供的高流速气体,可以产生持续性的正压,从而给上气道提供一种物理性的“压力”支撑,使口咽部压力升高。在对于 HFNC 的研究中,Groves 等[10]通过在志愿者口咽部放置压力测试端口测出,当流速为 60 L/min 时,女性受试者的闭口压力为 8.7 cmH_2O,张口压力为 3.1 cmH_2O,男性受试者闭口压力为 5.4 cmH_2O,张口压力为 2.6 cmH_2O,表明经鼻给予的高流量 O_2 会为患者提供一定水平的持续正压。Corley 等[11]和 Parke 等[12]用胸部电阻抗断层成像仪(EIT)以及口咽部压力监测器测量证明,高流量 O_2 可以增加气道压力和呼气末期的肺容积并减少呼吸频率,流速每增加 10 L/min,咽腔压力增加 0.5 ~ 1 cmH_2O,气道压力和气体流速呈正相关。高流量 O_2 产生的正压可以促进肺泡复张[11]。

2.2 声门上涡流和强湍流

湍流是流体的一种流动状态,在平静呼吸以及低流量吸氧时,气体以层流的形式进入气道,而当流速增加到很大时,流场中产生许多小旋涡,层流被破坏,相邻层流间不但有滑动,还有混合,形成湍流,其基本特征是湍流微团不仅有横向脉动,而且有相对于流体总运动的反向运动。Hermez 等[13]通过建立 THRIVE 模型,应用 THRIVE,同时模拟心源性振荡,并在气道二维模型中使用粒子图像速度测量来可视化流体的流动。由粒子图可见气管和喉部之间的夹带乱流(图 1a ~ c);THRIVE 的高流速气体从口咽延伸到声门,产生一系列强且相连的涡旋,从而产生大量湍流(图 1d)[13]。

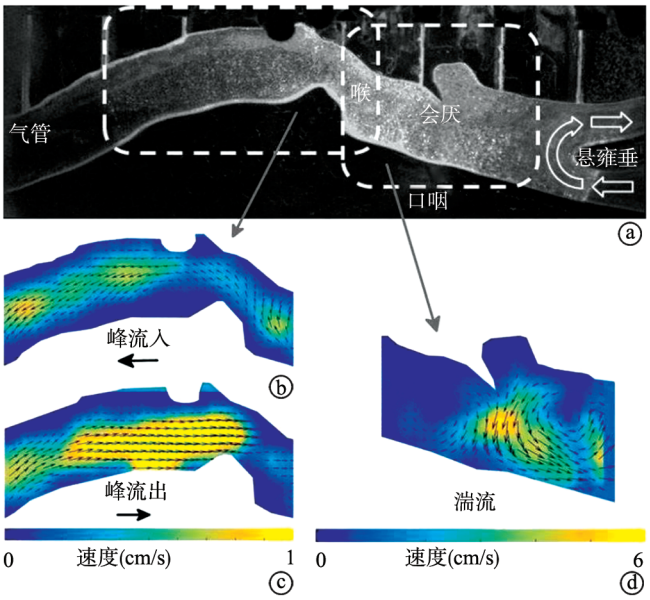
2.3 通气质量流效应

在患者呼吸暂停之前,通过适当时间的吸氧,达到肺部的去氮作用,从而促进窒息氧合的产生。呼吸暂停期间,肺泡中的 O_2 被抽到血液中,导致肺泡压力降至低于大气压,产生一个高达 20 cmH_2O 的负压梯度,驱动 O_2 从解剖死腔进入肺泡,这种现象称为通气质量流[7-8]。在这一现象中,肺泡压力也促进 CO_2 从血液到肺泡的排出。肺泡吸氧程度超过 CO_2 排出程度,压力梯度则不会立即消除。然而,随着时间的推移,肺泡中 CO_2 的蓄积减少了 O_2 进入肺泡的压力梯度,从而限制通气质量流[14]。

2.4 心源性振荡

心源性振荡被认为是窒息氧合时的另一个气流动力来源。在 20 世纪 80 年代初,有学者提出,心源性振

荡可能是窒息氧合和气体交换的主要动力[15-16]。心源性振荡是指心脏收缩引起的气流变化。气道内气体流量和压力的变化与心脏周期同步,被认为是由心脏体积变化改变胸内压来促进气体运动。此外,肺血管中的血液运动也会引起小气道的压缩和扩张运动[17-19]。同时,心源性振荡的气流还能辅助 THRIVE 的湍流流体流动。在 Hermez 的模型研究中,心源性吸气时,最低的旋涡被拉向声门深处,旋涡产生的湍流被带入气管,增强了声门下方的混合(图 1b);心源性呼气时,混合气管液体通过声门向上喷射进入喉头上方的旋涡(图 1c),旋涡将其运送到口咽的冲洗区[13]。然而,心源性振荡对窒息氧合的作用尚不清楚[1]。



a:模型中的粒子快照;b:心源性吸气峰值时的气体流向;c:心源性呼气峰值时的气体流向;d:口咽内的流向

图 1 气道模型粒子图(图片引自文献[13])

2.5 CO_2 清除

Patel 等[7]对三项经典的窒息氧合研究进行系统回顾发现,窒息氧合几乎不提供 CO_2 的清除。因此,随着呼吸暂停时间的推移,高碳酸血症也会随之发生。在自主通气中,混合 $PVCO_2$ 最高,其次是 $PACO_2$,然后是 $PaCO_2$。在呼吸暂停初期,静脉、肺泡和动脉的 CO_2 分压瞬间达到平衡[20]。此后,动静脉 CO_2 梯度发生逆转,$PaCO_2$ 超过 $PVCO_2$,这一现象称为 CO_2 分压的逆转[21]。这种逆转的发生是由于气体交换作用被减弱,导致 CO_2 在肺循环中滞留,并被 Haldane 效应加重,动脉血氧合从而使 CO_2 从血红蛋白中置换出来[11]。Stock 等[22]通过夹闭气管导管模拟呼吸暂停状态,结果显示择期手术患者在发生呼吸暂停时,第 1 分钟平均血 CO_2 分压升高 1.6 kPa,随后每分钟平均升高 0.45 kPa。

Hermez 等[13]通过 3 个实验室气道模型来研究心源性振荡条件下给予 THRIVE 时 CO_2 清除的机制发现,在没有心源性振荡的情况下,气体流速从20 L/min 增至 70 L/min 时,CO_2 清除率从 0.29 mL/min 增至 1.34 mL/min,在逐步施加 0 ~ 40 mL 的心源性振荡后,CO_2 清除率从 11.9 mL/min 增至 17.4 mL/min。Patel 等[7]和 Gustafsson 等[23]研究证明,THRIVE 技术能明显减慢 CO_2 分压上升,其呼气末 CO_2 分压上升至 0.975 ~ 1.125 mmHg/min。Möller 等[24]对 HFNC 的研究也显示,CO_2 清除率和高流量气体流速和使用时间呈正相关。

2.6 其他作用机制

Möller 等[24]通过对模拟气道解剖学的模型中注入示踪气体观察鼻腔内气体清除的试验显示,高流量气体流速每增加 1 L/min,鼻腔气体清除率增加 1.8 mL/s,表明高流量的气体可以冲洗患者口腔、鼻腔、咽腔的生理死腔,减少患者吸入的 CO_2。另外,高流量气体相对精确的恒温恒湿状态更符合人体生理情况下的呼吸道需求,可以降低患者鼻、口、咽、喉的干燥评分,改善分泌物清除,修复和维持气道黏膜纤毛功能,减轻气道炎症,还可以减少能量消耗[25-26]。

3 THRIVE 的临床应用情况

3.1 THRIVE 在围术期的应用

3.1.1 THRIVE 在麻醉诱导期的应用

术前预氧是目前 THRIVE 技术在围术期最为广泛的应用。预氧技术旨在增加体内 O_2 储存,延缓呼吸暂停期间动脉血红蛋白去饱和的发生,从而提高手术患者插管的安全性。由于通气和插管困难难以预测,所以患者均需要预氧。

Mir 等[27]的一项随机对照试验比较了 40 例急诊手术患者的 THRIVE 预氧(THRIVE 组)和标准面罩预氧(对照组),动脉血气在 THRIVE 组和对照组之间没有显著差异;但 THRIVE 组平均呼吸暂停时间(248 ± 71)s 明显长于对照组(123 ± 55)s。Lodenius 等[28]的一项随机对照试验比较了患者插管时使用传统面罩和 THRIVE 预氧时最低的 SpO_2,80 例接受紧急手术快速顺序诱导麻醉的成人患者在预氧并插管后 1 min,面罩预氧组有 5 例患者(12.5%)SpO_2 低于 93%,而 THRIVE 组则没有(P = 0.019);2 组间插管时间和呼吸暂停时间无差异,研究者认为 THRIVE 在患者氧合状态上仍有潜在优势。然而,也有研究认为,THRIVE 虽然在诱导插管期 PaO_2 升高,但随后会出现 PaO_2 下降和 $PaCO_2$ 上升快[29]。Ng 等[29]对比 50 例拟行神经外

科择期手术的患者行 THRIVE 预氧和标准面罩预氧，预氧后面罩组 PaO_2 中位数为357 mmHg，而 THRIVE 组为471 mmHg（$P=0.01$）；与面罩组相比，THRIVE 组在窒息氧合期后 PaO_2 水平下降更显著；患者完全肌肉松弛后，THRIVE 组的 $PaCO_2$ 水平明显高于面罩组（52 mmHg *vs.* 43 mmHg）；面罩组有 7 例患者需要使用气道辅助器具，THRIVE 组则没有（$P=0.004$）。提示 THRIVE 在预氧后产生较高的 PaO_2，插管时是安全有利的；然而，插管后 PaO_2 下降、$PaCO_2$ 上升，表明在神经肌肉阻滞后，THRIVE 在维持氧合和通气方面不如面罩有效。

Hua 等[30]的一项随机对照试验比较了 60 例择期手术的全身麻醉老年患者行 THRIVE 预氧和标准面罩预氧，THRIVE 组呼吸暂停时间显著延长；而 2 组间 PaO_2、$PaCO_2$ 等其他重要参数无明显的差异；2 组血流动力学不稳定、耐药心律失常或鼻部不适等并发症情况无明显差异。

上述研究表明，与标准的预氧技术相比，THRIVE 预氧在常规全身麻醉患者、急诊手术患者、老年患者中都有更大的优势，能更好地延长安全的呼吸暂停时间。需要注意的是，在上述预氧研究中，均强调了预氧应用 THRIVE 时应注意双手托颌，建立通畅的气道。

3.1.2 THRIVE 在术中的应用 Patel 等[7]提出 THRIVE 并应用于 25 例已知或预估困难气道患者的全身麻醉，患者的 BMI 中位数为 30 kg/m^2，Mallampati 分级中位数为 3 级，直接喉镜分级中位数为 3 级，呼吸暂停时间平均为 14 min；呼吸暂停期间患者均未出现 SpO_2 低于 90%，最长呼吸暂停时间为 65 min。Yang 等[31]对 23 例患者应用 THRIVE 进行择期喉显微外科非插管麻醉，所有患者先进行 20 L/min 100% O_2 的预氧，并于麻醉后调整 THRIVE 流速至 50 L/min，平均手术时间为 12.4 min，平均麻醉时间为 24.1 min，仅 1 例行喉肿瘤切除的患者发生了 SpO_2 下降（最低 72%）。在一项关于 105 例上气道内窥镜手术患者应用 THRIVE 的研究中，THRIVE 持续时间中位数为 20 min，呼吸暂停期结束时，呼气末 CO_2 分压的中位数为 60 mmHg，其中 10 例患者出现 SpO_2 低于 92%，在给予适当气道处理后有 3 例患者因 SpO_2 未恢复而给予气管插管（失败率 2%），其余患者均顺利完成手术麻醉[32]。Huang 等[8]综合分析了 15 项共享气道手术的研究发现，应用 THRIVE 可以延长安全窒息时间至 13～27 min，且未出现相关并发症。To 等[33]对 17 例声门下狭窄的患者应用 THRIVE 行球囊扩张术，THRIVE 初期所有患者的 SpO_2 均得到提高，中位呼吸暂停时间为 18 min，其中 2 例患者在 THRIVE 期间出现了 SpO_2 下降，1 例患者在呼吸暂停 25 min 后，SpO_2 降至 80%，停用 THRIVE，使用面罩通气后恢复，另 1 例患者在球囊扩张时 SpO_2 降至 83%，缩小球囊后缓解，2 例患者术后均无并发症或后遗症发生。Jonker 等[34]对 13 例抑郁患者使用 THRIVE 进行了 20 次电休克治疗发现，在手术过程中没有患者出现 SpO_2 下降，而且相较于面罩组，其在清除 CO_2 方面更有优势，因此，作者提出，THRIVE 是电休克治疗术中一种新颖、安全的氧合方法。

THRIVE 作为一种新的无创麻醉通气技术，可以显著延长安全呼吸暂停时间，为短小手术提供无管麻醉，减少了有创操作的刺激，提高了患者舒适度；不占用气道，为气道手术提供更好的视野和可操作空间；还可以为困难气道患者争取更长的插管时间及提供无管麻醉。需要强调的是，应用 THRIVE 时需保持患者气道通畅，如在咽喉手术中，可通过悬吊喉镜保持气道畅通。

3.2 THRIVE 在手术室外的应用

3.2.1 气道急救 在 Doyle 等[35]的前瞻性研究中，在 ICU、手术室和急诊科对 71 例缺氧高危患者进行紧急插管时应用 THRIVE，患者呼吸暂停时间延长和 SpO_2 下降的四分位数范围分别为 60～125 s 和 0～3%；5 例（7%）患者出现明显的 SpO_2 下降；呼吸暂停时间和 BMI 与 SpO_2 之间没有相关性。该研究还发现，对于 ICU、手术室和急诊科缺氧风险高的患者，THRIVE 有潜力将患者的缺氧风险降至最低。Pavlov 等[36]研究显示，与常规给氧组比较，THRIVE 组使紧急插管期间低氧血症的相对风险降低 30%。此外，有研究表明，在 ICU 紧急气管插管中使用 THRIVE 是预防显著低氧血症的独立保护因素[37]。

3.2.2 门诊麻醉 随着舒适化医疗的发展和无痛诊疗技术的推广，高流量氧疗技术在门诊麻醉的应用也日益增多。肥胖患者在无痛检查时，因中度镇静麻醉容易引起呼吸抑制，给予患者 15 L/min 高流量 O_2，其 SpO_2 可明显上升[38]。而 Riccio 等[39]的研究发现，对于接受异丙酚镇静结肠镜检查的病态肥胖患者，在相似的氧浓度水平下，HFNC 组与低流量吸氧组在预防动脉氧饱和度降低方面没有显著差异。Chung 等[40]对 10 例低氧血症患者行纤维支管镜检查时应用 THRIVE，不仅安全地完成了检查，还改善了患者的低氧状态。基于以上研究，我们可以发现，目前 THRIVE 的应用和 HFNC 没有严格应用上的区分，临床工作中，根据手术需要，患者处于不同深度的镇静状态，会产生

不同程度的呼吸抑制,这导致我们给予患者的治疗实际上是 THRIVE 和 HFNC 交替进行的。

3.3 THRIVE 在特殊人群中的应用

3.3.1 肥胖患者 肥胖患者常合并困难气道,且对于缺氧的耐受性差,因此,肥胖患者的气道管理存在特殊性。有研究报道了 1 例病态肥胖(BMI 40 kg/m^2)患者在全身麻醉下行喉镜检查和左侧声带病变活检时,应用 THRIVE(20 ~ 60 L/min)成功完成了手术,该患者气道评估显示,张口度两横指,马氏分级Ⅳ级;手术时间 14 min,术中患者血流动力学稳定,SpO_2 全程大于 98%,术后苏醒好,无并发症发生[41]。Wong 等[42]对 40 例 BMI≥40 kg/m^2 的择期手术患者进行随机对照研究发现,THRIVE 预氧组的安全呼吸时间较面罩预氧组显著延长(261.4 s *vs.* 185.5 s)。然而,一项对 29 例行咽喉手术的肥胖患者应用 THRIVE 的研究发现,有 7 例(24.1%)患者需要进行插管支持,而 2 例(6.9%)需要术后入院观察[43]。该研究提出,肥胖患者(BMI >30 kg/m^2)对喉部手术耐受 THRIVE 的可能性较小,应谨慎使用[43]。关于 THRIVE 应用于肥胖患者尚无一致意见,还需大样本量研究验证。

3.3.2 妊娠患者 全印度困难气道协会建议产科全身麻醉常规使用 15 L/min 经鼻高流量氧疗[44]。Pillai 等[45]对虚拟产妇进行了 THRIVE 的计算建模发现,THRIVE 使去饱和时间从 4.5 min 增加到 58 min。然而,这种结果在临床实践中尚未被观察到[46]。Hengen 等[47]报道了 1 例 27 岁、妊娠 29 周(BMI 19.5 kg/m^2)的患者,因严重的急性呼吸窘迫综合征入院并需紧急手术,患者面罩吸氧 9 L/min 时,pH 7.38,PaO_2 105 mmHg,$PaCO_2$ 27 mmHg;改为 THRIVE 后,SpO_2 由 95% 升至 98%,并全程维持 98%。目前 THRIVE 在产科麻醉中的研究较少,虽然上述个案报道[47]显示,THRIVE 对产妇手术的氧合是安全的,但考虑到 THRIVE 可能引起 CO_2 分压升高,不利于产妇和胎儿,因此,THRIVE 在产科麻醉的应用上需慎重。

3.3.3 儿童患者 儿童对缺氧的耐受较差,因此,对于儿童麻醉的气道管理也是麻醉医生重点关注的内容。Humphreys 等[48]的一项随机对照试验对 48 例呼吸道和心肺功能正常的儿童患者应用 THRIVE 预氧和标准面罩预氧,面罩组双手托下颌开放气道,THRIVE 组根据体质量采用 2 $L \cdot kg^{-1} \cdot min^{-1}$ 的流量,并在呼吸暂停期间开放气道,结果显示,THRIVE 组安全呼吸暂停时间是面罩组的 2 倍。然而,Riva 等[49]的研究将 60 例年龄 1 ~ 6 岁、体质量 10 ~ 20 kg、拟行择期全身麻醉手术的患儿分为低流量 100% 供氧组(0.2 L/min)、THRIVE 100% 供氧组(2 L/min)和 THRIVE 30% 供氧组(2 L/min),结果显示,低流量 100% 供氧组和 THRIVE 100% 供氧组的呼吸暂停时间无显著差异,THRIVE 30% 供氧组的窒息时间显著缩短。由此可见,THRIVE 应用于儿童也存在争议,还需进一步的研究。在儿童应用 THRIVE 和 HFNC 的研究中,均有出现气道损伤、张力性气脑、气眶、鼻出血、皮下气肿、纵隔气肿、气胸、胃破裂等并发症的报道[50-53]。所以,儿童在应用 THRIVE 时,应严格执行其使用标准以预防及减少并发症的发生。同时,虽然有胃破裂的个案报道,但也有研究表明,使用高流量吸氧后,用超声扫描评估胃体积并没有观察到胃内充气[54]。因此,高流量气体是否会引起胃胀气还有待进一步的探索。

3.4 THRIVE 的使用禁忌和注意事项

THRIVE 存在 CO_2 蓄积的风险,需要关注其可能引起的高碳酸血症、酸中毒和低氧血症。有研究证明了 THRIVE 延长呼吸暂停时间是安全的,即使有个例出现血 CO_2 分压高至 100 mmHg,也是可以容忍并纠正的[7]。但是,临床上也有 THRIVE 失败的病例报道,因此,需准备好气道应急预案并严密监测发生高碳酸血症、酸中毒和低氧血症的相关指标,一旦发生严重的低氧血症或高碳酸血症,应立即终止 THRIVE,调整通气支持模式。同时,在不能保证气道通畅、反流误吸风险高、气道出血风险高的患者中,应禁止或慎重使用 THRIVE 技术。

4 总结

THRIVE 技术可以显著延长安全的呼吸暂停时间,作为一种有效的非侵入性通气支持模式,在临床麻醉领域的应用中,可以尝试替代部分有创通气模式,此技术操作简单,患者耐受性好,舒适度高,在近年得到了越来越多的关注及广泛的使用。目前,THRIVE 和 HFNC 没有严格应用上的区分,临床上更倾向于根据患者需要随时调整通气方案,对于手术患者,术前 HFNC 治疗、术中及术后 HFNC 和 THRIVE 的交替应用将为患者有效的气道管理提供更多策略。

本文对 THRIVE 的可能机制和临床应用进行总结,以加深对 THRIVE 的认识。但是,目前的研究中对于 THRIVE 这一新技术的应用样本量偏少,以致部分研究结论截然相反,同时,相关并发症的研究也不多。所以,我们还需要更多更严格的证据来建立一些标准,如 THRIVE 的适用范围、启动和停止 THRIVE 的标准等;同时也需要更多的实验研究来检验 THRIVE 的有效性和安全性,拓宽其临床应用范围,研究减少其可能

并发症发生的方法,使 THRIVE 能够在麻醉领域中更广泛、更安全、更有效地发挥其临床价值。

[参考文献]

[1] Lyons C, Callaghan M. Uses and mechanisms of apnoeic oxygenation: a narrative review[J]. Anaesthesia, 2019, 74(4): 497 – 507. doi: 10.1111/anae.14565.

[2] Draper WB, Whitehead RW. The phenomenon of diffusion respiration[J]. Curr Res Anesth Analg, 1949, 28(6): 307 – 318. doi: 10.1213/00000539 – 194901000 – 00077.

[3] Nahas GG. Influence of low oxygen tension on pulmonary circulation after temporary arrest of ventilation in curarized dogs[J]. J Appl Physiol, 1956, 9(3): 352 – 358. doi: 10.1152/jappl.1956.9.3.352.

[4] Weingart SD, Levitan RM. Preoxygenation and prevention of desaturation during emergency airway management[J]. Ann Emerg Med, 2012, 59(3): 165 – 175. doi: 10.1016/j.annemergmed.2011.10.002.

[5] Helviz Y, Einav S. A systematic review of the high-flow nasal cannula for adult patients[J]. Crit Care, 2018, 22(1): 71. doi: 10.1186/s13054 – 018 – 1990 – 4.

[6] Ischaki E, Pantazopoulos I, Zakynthinos S. Nasal high flow therapy: a novel treatment rather than a more expensive oxygen device[J]. Eur Respir Rev, 2017, 26(145): 170028. doi: 10.1183/16000617.0028 – 2017.

[7] Patel A, Nouraei SAR. Transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange (THRIVE): a physiological method of increasing apnoea time in patients with difficult airways[J]. Anaesthesia, 2015, 70(3): 323 – 329. doi: 10.1111/anae.12923.

[8] Huang L, Dharmawardana N, Badenoch A, et al. A review of the use of transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange for patients undergoing surgery in the shared airway setting[J]. J Anesth, 2020, 34(1): 134 – 143. doi: 10.1007/s00540 – 019 – 02697 – 3.

[9] 左明章,苏殿三,孙晓璐. 安全气道管理是麻醉医师的永恒主题:第二届世界气道管理大会热点的解读与剖析[J]. 中华麻醉学杂志, 2020, 40(1): 13 – 17. doi: 10.3760/cma.j.issn.0254 – 1416.2020.01.004.

[10] Groves N, Tobin A. High flow nasal oxygen generates positive airway pressure in adult volunteers[J]. Aust Crit Care, 2007, 20(4): 126 – 131. doi: 10.1016/j.aucc.2007.08.001.

[11] Corley A, Caruana LR, Barnett AG, et al. Oxygen delivery through high-flow nasal cannulae increase end-expiratory lung volume and reduce respiratory rate in post-cardiac surgical patients[J]. Br J Anaesth, 2011, 107(6): 998 – 1004. doi: 10.1093/bja/aer265.

[12] Parke RL, Bloch A, McGuinness SP. Effect of very-high-flow nasal therapy on airway pressure and end-expiratory lung impedance in healthy volunteers[J]. Respir Care, 2015, 60(10): 1397 – 1403. doi: 10.4187/respcare.04028.

[13] Hermez LA, Spence CJ, Payton MJ, et al. A physiological study to determine the mechanism of carbon dioxide clearance during apnoea when using transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange (THRIVE)[J]. Anaesthesia, 2019, 74(4): 441 – 449. doi: 10.1111/anae.14541.

[14] Höstman S, Engström J, Sellgren F, et al. Non-toxic alveolar oxygen concentration without hypoxemia during apnoeic oxygenation: an experimental study[J]. Acta Anaesthesiol Scand, 2011, 55(9): 1078 – 1084. doi: 10.1111/j.1399 – 6576.2011.02499.x.

[15] Slutsky AS. Gas mixing by cardiogenic oscillations: a theoretical quantitative analysis[J]. J Appl Physiol Respir Environ Exerc Physiol, 1981, 51(5): 1287 – 1293. doi: 10.1152/jappl.1981.51.5.1287.

[16] Slutsky AS, Brown R. Cardiogenic oscillations: a potential mechanism enhancing oxygenation during apneic respiration[J]. Med Hypotheses, 1982, 8(4): 393 – 400. doi: 10.1016/0306 – 9877(82)90032 – 9.

[17] Plens GM, Morais Caio CA, Nakamura MA, et al. Effect of cardiogenic oscillations on trigger delay during pressure support ventilation[J]. Respir Care, 2018, 63(7): 865 – 872. doi: 10.4187/respcare.05995.

[18] Schumann S, Vimlati L, Kawati R, et al. Cardiogenic oscillations to detect intratidal derecruitment and overdistension in a porcine model of healthy and atelectatic lungs[J]. Br J Anaesth, 2018, 121(4): 928 – 935. doi: 10.1016/j.bja.2018.02.068.

[19] Suarez-Sipmann F, Santos A, Peces-Barba G, et al. Pulmonary artery pulsatility is the main cause of cardiogenic oscillations[J]. J Clin Monit Comput, 2013, 27(1): 47 – 53. doi: 10.1007/s10877 – 012 – 9391 – 8.

[20] Gentz BA, Shupak RC, Bhatt SB, et al. Carbon dioxide dynamics during apneic oxygenation: the effects of preceding hypocapnia[J]. J Clin Anesth, 1998, 10(3): 189 – 194. doi: 10.1016/s0952 – 8180(98)00005 – 1.

[21] Rudlof B, Hohenhorst W. Use of apneic oxygenation for the performance of pan-endoscopy[J]. Otolaryngol Head Neck Surg, 2013, 149(2): 235 – 239. doi: 10.1177/0194599813486248.

[22] Stock MC, Schisler JQ, McSweeney TD. The $PaCO_2$ rate of rise in anesthetized patients with airway obstruction[J]. J Clin Anesth, 1989, 1(5): 328 – 332. doi: 10.1016/0952 – 8180(89)90070 – 6.

[23] Gustafsson IM, Lodenius Å, Tunelli J, et al. Apnoeic oxygenation in adults under general anaesthesia using Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) -a physiological study[J]. Br J Anaesth, 2017, 118(4): 610 – 617. doi: 10.1093/bja/aex036.

[24] Möller W, Feng S, Domanski U, et al. Nasal high flow reduces dead space[J]. J Appl Physiol (1985), 2017, 122(1): 191 – 197. doi: 10.1152/japplphysiol.00584.2016.

[25] Pillow JJ, Hillman NH, Polglase GR, et al. Oxygen, temperature and humidity of inspired gases and their influences on airway and lung tissue in near-term lambs[J]. Intensive Care Med, 2009, 35(12): 2157 – 2163. doi: 10.1007/s00134 – 009 – 1624 – z.

[26] Nishimura M. High-flow nasal cannula oxygen therapy in adults: physiological benefits, indication, clinical benefits, and adverse effects[J]. Respir Care, 2016, 61(4): 529 – 541. doi: 10.4187/respcare.04577.

[27] Mir F, Patel A, Iqbal R, et al. A randomised controlled trial comparing transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange (THRIVE) pre-oxygenation with facemask pre-oxygenation in patients undergoing rapid sequence induction of anaesthesia[J]. Anaesthesia, 2017, 72(4): 439 – 443. doi: 10.1111/anae.13799.

[28] Lodenius Å, Piehl J, Östlund A, et al. Transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange (THRIVE) *vs.* facemask breathing pre-oxygenation for rapid sequence induction in adults: a prospective randomised non-blinded clinical trial[J]. Anaesthesia, 2018, 73(5): 564 – 571. doi: 10.1111/anae.14215.

[29] Ng I, Krieser R, Mezzavia P, et al. The use of Transnasal Humidified

Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange (THRIVE) for pre-oxygenation in neurosurgical patients: a randomised controlled trial[J]. Anaesth Intensive Care, 2018, 46(4): 360 - 367. doi: 10.1177/0310057X1804600403.

[30] Hua Z, Liu Z, Li Y, et al. Transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange vs. facemask oxygenation in elderly patients undergoing general anaesthesia: a randomized controlled trial[J]. Sci Rep, 2020, 10(1): 5745. doi: 10.1038/s41598 - 020 - 62716 - 2.

[31] Yang SH, Wu CY, Tseng WH, et al. Nonintubated laryngomicrosurgery with transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange: a case series[J]. J Formos Med Assoc, 2019, 118(7): 1138 - 1143. doi: 10.1016/j.jfma.2018.

[32] Waters E, Kellner M, Milligan P, et al. The use of transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange (THRIVE) in one hundred and five upper airway endoscopies. A case series[J]. Clin Otolaryngol, 2019, 44(6): 1115 - 1119. doi: 10.1111/coa.13408.

[33] To K, Harding F, Scott M, et al. The use of Transnasal Humidified Rapid-Insufflation Ventilatory Exchange in 17 cases of subglottic stenosis[J]. Clin Otolaryngol, 2017, 42(6): 1407 - 1410. doi: 10.1111/coa.12921.

[34] Jonker Y, Rutten DJ, van Exel Eric R, et al. Transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange during electroconvulsive therapy: a feasibility study[J]. J ECT, 2019, 35(2): 110 - 114. doi: 10.1097/YCT.0000000000000556.

[35] Doyle AJ, Stolady D, Mariyaselvam M, et al. Preoxygenation and apneic oxygenation using transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange for emergency intubation[J]. J Crit Care, 2016, 36: 8 - 12. doi: 10.1016/j.jcrc.2016.06.011.

[36] Pavlov I, Medrano S, Weingart S. Apneic oxygenation reduces the incidence of hypoxemia during emergency intubation: a systematic review and meta-analysis[J]. Am J Emerg Med, 2017, 35(8): 1184 - 1189. doi: 10.1016/j.ajem.2017.06.029.

[37] Miguel-Montanes R, Hajage D, Messika J, et al. Use of high-flow nasal cannula oxygen therapy to prevent desaturation during tracheal intubation of intensive care patients with mild-to-moderate hypoxemia[J]. Crit Care Med, 2015, 43(3): 574 - 583. doi: 10.1097/CCM.0000000000000743.

[38] 汤 健,黄杰峰,徐伟松,等. 预给氧联合窒息氧合技术在肥胖患者无痛胃镜检查中的应用[J]. 交通医学,2019,33(5):495 - 497. doi:10.19767/j.cnki.32 - 1412.2019.05.024.

[39] Riccio CA, Sarmiento S, Minhajuddin A, et al. High-flow versus standard nasal cannula in morbidly obese patients during colonoscopy: a prospective, randomized clinical trial[J]. J Clin Anesth, 2019, 54: 19 - 24. doi: 10.1016/j.jclinane.2018.10.026.

[40] Chung SM, Choi JW, Lee YS, et al. Clinical effectiveness of high-flow nasal cannula in hypoxaemic patients during bronchoscopic procedures[J]. Tuberc Respir Dis (Seoul), 2019, 82(1): 81 - 85. doi: 10.4046/trd.2017.0104.

[41] Lee SJ, Quek KH. Facilitating airway surgery in a morbidly obese patient using transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange (THRIVE)[J]. Case Rep Anesthesiol, 2018, 2018: 5310342. doi: 10.1155/2018/5310342.

[42] Wong DT, Dallaire A, Singh KP, et al. High-flow nasal oxygen improves safe apnea time in morbidly obese patients undergoing general anesthesia: a randomized controlled trial[J]. Anesth Analg, 2019, 129(4): 1130 - 1136. doi: 10.1213/ANE.0000000000003966.

[43] Zee HJ, Song SA, Song PC, et al. Failure to THRIVE: non-intubated patients with elevated BMI are associated with increased desaturation events during transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange (THRIVE)[J]. J Clin Anesth, 2020, 63: 109793. doi: 10.1016/j.jclinane.2020.109793.

[44] Ramkumar V, Dinesh E, Shetty SR, et al. All India Difficult Airway Association 2016 guidelines for the management of unanticipated difficult tracheal intubation in obstetrics[J]. Indian J Anaesth, 2016, 60(12): 899 - 905. doi: 10.4103/0019 - 5049.195482.

[45] Pillai A, Chikhani M, Hardman JG. Apnoeic oxygenation in pregnancy: a modelling investigation[J]. Anaesthesia, 2016, 71(9): 1077 - 1080. doi: 10.1111/anae.13563.

[46] Jones A. Apnoeic oxygenation in pregnancy[J]. Anaesthesia, 2016, 71(12): 1491. doi: 10.1111/anae.13698.

[47] Hengen M, Willemain R, Meyer A, et al. Transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange for preoxygenation before cesarean delivery under general anesthesia: a case report[J]. A A Case Rep, 2017, 9(7): 216 - 218. doi: 10.1213/XAA.0000000000000571.

[48] Humphreys S, Lee-Archer P, Reyne G, et al. Transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange (THRIVE) in children: a randomized controlled trial[J]. Br J Anaesth, 2017, 118(2): 232 - 238. doi: 10.1093/bja/aew401.

[49] Riva T, Pedersen TH, Seiler S, et al. Transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange for oxygenation of children during apnoea: a prospective randomised controlled trial[J]. Br J Anaesth, 2018, 120(3): 592 - 599. doi: 10.1016/j.bja.2017.12.017.

[50] Iglesias-Deus A, Pérez-Muñuzuri A, López-Suárez O, et al. Tension pneumocephalus induced by high-flow nasal cannula ventilation in a neonate[J]. Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed, 2017, 102(2): F173 - F175. doi: 10.1136/archdischild - 2015 - 309777.

[51] O'Brien BJ, Rosenfeld JV, Elder JE. Tension pneumo-orbitus and pneumocephalus induced by a nasal oxygen cannula: report on two paediatric cases[J]. J Paediatr Child Health, 2000, 36(5): 511 - 514. doi: 10.1046/j.1440 - 1754.2000.00550.x.

[52] Hegde S, Prodhan P. Serious air leak syndrome complicating high-flow nasal cannula therapy: a report of 3 cases[J]. Pediatrics, 2013, 131(3): e939 - e944. doi: 10.1542/peds.2011 - 3767.

[53] Baudin F, Gagnon S, Crulli B, et al. Modalities and complications associated with the use of high-flow nasal cannula: experience in a pediatric ICU[J]. Respir Care, 2016, 61(10): 1305 - 1310. doi: 10.4187/respcare.04452.

[54] Riva T, Pedersen TH, Seiler S, et al. Transnasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange for oxygenation of children during apnoea: a prospective randomised controlled trial[J]. Br J Anaesth, 2018, 120(3): 592 - 599. doi: 10.1016/j.bja.2017.12.017.

(编辑:杨 颖)