

气管切开术在神经重症中的应用价值

李荣鑫^{1,2}, 夏洪韬^{2*}

¹成都中医药大学医学与生命科学学院, 四川 成都

²遂宁市中心医院急危重症医学部, 四川 遂宁

收稿日期: 2026年2月16日; 录用日期: 2026年3月9日; 发布日期: 2026年3月18日

摘要

在神经重症医学领域, 气管切开术(Tracheostomy)是管理长期机械通气患者、优化气道保护及促进神经康复的关键手段。神经重症患者由于脑干功能受损、意识障碍(格拉斯哥评分(Glasgow coma scale, GCS)持续较低)以及延髓麻痹, 常面临气道防御机制丧失、排痰困难及中枢性呼吸衰竭的严峻挑战。随着重症监测技术的进步, 气管切开术已从单纯的急救技术演变为包含多学科决策、个体化时机评估及精细化术后管理的综合干预体系。本综述通过梳理现有的学术文献, 深入探讨了气管切开术在神经重症患者中的应用现状。重点分析了手术时机、手术方式及临床应用等多个研究方向。分析表明, 尽管早期气管切开(通常定义为机械通气后7~10天内)在改善长期神经功能预后(如改良Rankin量表——mRS评分)以及降低死亡率方面尚未显示出显著性的临床改善, 但其在缩短机械通气时长、降低呼吸机相关性肺炎(ventilator associated pneumonia, VAP)发生率及优化(intensive care unit, ICU)资源配置方面的优势具有稳健的证据支持。此外, 在手术方式上, 经皮扩张气管切开术(percutaneous tracheotomy, PDT)因其微创、床旁可操作性及成本效益, 已逐渐成为许多中心的首选, 但其在困难气道或特定解剖结构患者中的应用仍需谨慎评估。

关键词

气管切开, 神经重症, 时机, 并发症, 机械通气, 呼吸管理, 临床应用

Application Value of Tracheostomy in Neurocritical Care

Yingxin Li^{1,2}, Hongtao Xia^{2*}

¹School of Medicine and Life Sciences, Chengdu University of Traditional Chinese Medicine, Chengdu Sichuan

²Department of Emergency and Critical Care Medicine, Suining Central Hospital, Suining Sichuan

*通讯作者。

文章引用: 李荣鑫, 夏洪韬. 气管切开术在神经重症中的应用价值[J]. 临床医学进展, 2026, 16(3): 3086-3093.

DOI: 10.12677/acm.2026.1631114

Abstract

In the field of neurocritical care medicine, tracheostomy is a key method for managing patients on long-term mechanical ventilation, optimizing airway protection, and promoting neurological rehabilitation. Neurocritical patients often face severe challenges such as loss of airway defense mechanisms, difficulty clearing secretions, and central respiratory failure due to brainstem dysfunction, impaired consciousness (persistent decline in Glasgow Coma Scale, GCS), and bulbar paralysis. With advancements in critical care monitoring technologies, tracheostomy has evolved from a purely emergency procedure into a comprehensive intervention system that involves multidisciplinary decision-making, individualized timing assessment, and refined postoperative management. This review summarizes the existing academic literature and delves into the current application of tracheostomy in neurocritical patients. It focuses on analyzing various research directions including timing of surgery, surgical approaches, complications, and clinical applications. The analysis indicates that while early tracheostomy (usually defined as within 7~10 days after initiating mechanical ventilation) has not yet demonstrated significant clinical improvement in long-term neurological outcomes (such as modified Rankin Scale—mRS scores) or reduced mortality, it has robust evidence supporting its advantages in shortening the duration of mechanical ventilation, reducing the incidence of ventilator-associated pneumonia (VAP), and optimizing intensive care unit (ICU) resource allocation. Additionally, in terms of surgical approach, percutaneous dilatational tracheostomy (PDT) has gradually become the preferred choice in many centers due to its minimally invasive nature, bedside feasibility, and cost-effectiveness, although its use in patients with difficult airways or specific anatomical structures still requires careful evaluation.

Keywords

Tracheostomy, Neurocritical Care, Timing, Complications, Mechanical Ventilation, Respiratory Management, Clinical Application

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

神经重症患者常面临呼吸衰竭、误吸、气道分泌物潴留等气道问题，传统气道管理方法如鼻导管吸氧、面罩吸氧等在维持患者呼吸功能方面存在局限性。气管切开术作为一种有效的气道管理手段，在神经重症患者中的应用逐渐增加。其应用历史可追溯至多年前，随着医学技术的发展，气管切开的技术和术后管理虽然不断改进，不断创新，但其存在的诸多的临床问题也逐渐凸显出来。

2. 气管切开术

气管切开术是已知最古老的外科手术之一，也是重症监护病房中应用最广泛的手术之一[1]。在医学文献中，气管切开术的古老历史已经被详尽地记录下来。其最早可追溯到公元前 2000 年前，古印度青铜时代的《Rig Veda》是目前已知的最早有记录的口头相传的书籍；公元前 1500 年前，埃及医生首次以书面的形式记录了关于气管切开术用于解决上呼吸道阻塞；在 20 世纪 40 年代，气管切开术的适应症和方

法被普遍接受。随后的几十年中, 气管切开术逐渐趋向现在的操作步骤转变[2] [3]。

3. 气管切开术的适应症和禁忌症

3.1. 适应症

目前, 气管切开术的最佳适应症尚不明确, 因为不同疾病对于气管切开的需求并不相同。对于一般重症患者, 适应症[4]包括保护和方便气道清除分泌物、缩短经口气管插管时间、缩小死腔以方便通气和脱机。而对于神经重症患者, 尤其是急性脑损伤患者(acute brain injury, ABI), 欧洲重症监护学会的专家组认为[5], 气管切开需基于一次或多次拔管失败: ① ABI 的患者, 有一次或多次拔管尝试失败后才考虑气管切开术。(强推荐) ② ABI 的患者, 也可以事先没有任何拔管尝试(即直接气管切开术)。③ ABI 的患者, 如果存在持续降低的意识状态, 推荐气管切开。(弱推荐) ④ ABI 的患者, 肺部情况需长期保持人工气道或者机械通气。⑤ 重度颅脑损伤患者(trumatic brain injury, TBI), 定义为格拉斯哥昏迷量表 ≤ 8 以及依赖机械呼吸机超过 7 天的患者。

3.2. 禁忌症

随着新的仪器出现和已有仪器的改进发展以及技术的标准化, 气管切开术的手术风险已经得到了极大的降低, 因此没有绝对的禁忌症。但存在相对禁忌症[6]-[8]: 颈部短(颈围 > 46 厘米, 环状软骨与胸骨切迹之间距离 < 2.5 厘米)、肥胖、甲状腺或峡部肿大、颈部软组织感染、无法伸展的颈部、该区域有搏动血管、该区域存在恶性肿瘤、颈椎手术或气管切开术史、颈椎放疗史(最近 4 周内)、需要高通气支持(吸入氧分数 $N70\%$, 呼气末正压 > 10 cmH₂O)。而神经重症患者需注意以下几点[9] [10]: ① 无法控制的颅内高压; ② 血流动力学不稳定; ③ 需要吸入高浓度氧气($FiO_2 > 50\%$)和高呼气末正压(PEEP > 10 cmH₂O)的严重呼吸衰竭。

4. 手术时机的争议: 早期 vs. 晚期

在一般重症监护人群中进行的随机对照试验(randomized controlled trial, RCTs)中并没有发现不同时期进行气管切开术后的差异[4] [11], 但相关的结论并不能简单推广到神经重症领域。神经重症患者由于自身疾病的病理生理机制, 常出现延髓的功能下降、气道保护性反射和呛咳反射减弱以及肌肉无力等临床表现, 理论上不同时机下进行相关气道干预, 是会导致不同的治疗结局的。目前, 国内外关于神经重症患者气管切开时机的研究众多, 包括随机对照试验、队列研究、病例对照研究等, 但结果彼此矛盾, 使决策者难以据此做出结论。早期气管切开与晚期气管切开的研究结果存在差异, 主要体现在患者死亡率、住院时长、ICU 时长、并发症、神经功能的结局等方面。

4.1. 患者的 ICU 时间和住院总时间

有文献表明[9] [12]-[14], 早期气管切开术与机械通气持续时间显著缩短和 ICU 住院时间缩短相关, 但其结论的可靠性均存在质疑, 因为他们均未使用标准化呼吸机脱机方案, 使得纳入研究的患者的呼吸机持续通气时间和 ICU 住院结局容易受到临床诊疗实践的偏倚影响。但其中一项研究结果值得关注: 气管切开术的具体时间(早期与晚期)和患者疾病原因(内科危重症、外科危重症、烧伤、颅脑损伤患者)存在重大差异。2016 年 Schöenberger 等人进行了一项关于机械通气卒中患者的气管切开时机的研究[15], 他们发现早期气管切开可以减少患者的 ICU 入住时间和总住院时间。同时, 这也在 Robba 等人[16]关于创伤性颅脑损伤患者的试验中得到了验证。但在创伤性颅脑的指南[5]中指出尚没有足够的证据表明早期气管切开术可以降低创伤性脑损伤患者的 ICU 入住时间和总住院时间。

4.2. 呼吸机相关性肺炎

2010 年意大利学者[17]进行了一项关于早期气管切开与晚期气管切开的多中心随机实验, 其试验的主要结局指标为 VAP 发生率。他们发现早期(40%内科, 8%择期手术, 41%急诊手术, 11%创伤急救)与晚期(36%内科, 10%择期手术, 45%急诊手术, 9%创伤急救)气管切开组 VAP 发生率没有统计学差异(即早期气管切开组 30 例患者出现 VAP(14%; 95%可信区间 CI, 10%~19%), 晚期气管切开术组 44 例(21%; 95%可信区间 CI, 15%~26%))($P=0.07$)。但是, Huang 等人[7]在神经外科重症监护病房进行了一项回顾性队列研究, 主要是关于脑幕下损伤患者的气管切开时机的研究。其主要结局指标同样是 VAP 发生率, 但他们发现早期气管切开术是降低 VAP 发生率的独立变量(25%; 95%可信区间 CI, 0.09~0.73; $P=0.011$)。造成如此差异性结果的原因可能是: 首先, 意大利学者的试验使用临床肺部感染评分(clinical pulmonary infection score, CPIS)诊断 VAP, CPIS 评分的特异性较低, 可能无法准确区分肺部感染与其他肺部病变(如肺不张、心力衰竭导致的肺水肿等)。一些非感染性因素也可能导致评分升高, 从而出现假阳性结果; 反之, 部分早期或轻度感染患者可能因评分未达到阈值而被漏诊; 其次, Huang 等人研究的人群主要是神经重症患者, 意大利学者则是多系统患者的研究, 而疾病本身的病理机制可能会影响 VAP 的发展。另外, 有学者[16]推断早期气管切开可以使患者住院时间或 ICU 时长缩短, 将经口气管插管的时间变短, 减少了机械通气及气道暴露的时间, 进而降低 VAP 发生风险。有文献记载[18], 有创机械通气使 VAP 发生风险每天增加 10%。

4.3. 患者死亡率

由于气管切开术主要应用于可能需要长时间有创机械通气的患者, 且此类患者一般病情危重且疾病进展较快, 因此气管切开术患者的死亡率高具有一定合理性。尤其是神经重症的患者, 病情进展更为复杂, 所以考虑气管切开时机对死亡率是否有影响至关重要。Jafari 等人[19]他们发现早期气管切开组的死亡率(8.69%)可能高于晚期气管切开组(6.07%)($P<0.001$)。而 McCredie 等人[20]对 503 名气管切开的 TBI 患者研究后指出早期气管切开术并没有降低短期死亡率(RR 1.25, 95%CI, 0.68~2.30; $P=0.47$; $n=301$), 并增加了患者接受气管切开术的概率(RR 1.58, 95%CI, 1.24~2.02; $P<0.001$, $n=377$)。这似乎提示早期气管切开在短期内并没有降低患者死亡率, 甚至还有可能增加了患者的手术风险。有文献指出[5][21], 在 TBI 后的前 75 天内, 早期气管切开的死亡率较晚期高, 但晚期气管切开患者的生存率在 120 天后开始下降即死亡率上升, 死亡率高于早期切开组, 早期气管切开可以降低长期死亡率。但目前已有的试验结果证据并不充分, 需进一步探究论证。

4.4. 神经预后功能

神经功能预后情况是评价神经重症患者治疗情况的重要指标之一。有试验[17][22][23]指出早期气管切开在 TBI 患者的 6 月预后上有促进作用, 早期气管切开可能减少患者机械通气时间, 从而致使患者更早地下床进行康复训练, 对于神经功能的恢复起到促进作用。Robba 等[16]研究提示晚期气管切开可能导致较差的神经功能预后(死亡和不良的神经后遗症(OR = 1.69, 95%CI = 1.07~2.67, $P=0.018$))。但是, Huang 等人[7]则认为早期气管切开并不影响患者的神经预后情况(早期和晚期气管切开术组在 6 个月后的 mRS 评分($P=0.543$)上无显著差异)。基于存在如此试验结果的差异, 目前专家认为仍需更多的 RCT 试验去验证。

4.5. 治疗费用

在临床决策中, 对于实行早期行气管切开术还是晚期行气管切开术, 经济效益是考量的重要一环。

一项通过调查美国医疗保健的分析显示[24], 晚期气管造口术策略的成本为 45943.81 美元。早期气管切开术策略的成本为 31979.12 美元。早期气管切开术策略与晚期气管切开术策略相比, 早期气管切开术策略更具成本效益, 更能被医生和患者选择。

5. 气管切开术的手术方式

我们常见的手术方式主要是传统的直视外科气管切开术(surgical tracheostomy, ST)和经皮扩张性气管造口术(percutaneous dilatational tracheostomy, PDT)两类。ST 包括气管前组织的剥离和气管造口导管的插入, 需直视下进行气管的切开以及气管导管的插入。PDT 则是一种微创技术, 通过气管导丝等的引导, 通过钝性分离组织, 进去气管导管的插入, 它可以在手术室或病人的床边进行。

在气管切开术的使用方法上, 一直到 2000 年代中期, ST 一直是金标准。然而, 自从 PDT 于 1985 年由 Ciaglia 等[25]人首次引入以来, 它可以直接从床边进行, 可以减少运送患者的风险, 并且具有成本降低和相对简单的优点[10], 已经慢慢从一些领域逐渐取代 ST。至于选择何种方式进行气管切开术, 需要考虑到的因素可以概括为以下几种[26]: 解剖关系、患者的年龄、气管切开术的适应症以及气管切开术的预期使用时间。因此选择何种方法需视患者具体情况而定。目前随着越来越多的仪器应用于重症医学领域, 气管切开手术的方式也变得多样化起来。比如重症超声技术的广泛应用, 使用超声可视化引导下的经皮扩张性气管切开也是一种新的方式。

气管切开术对颅内压的影响

神经重症患者, 尤其是 ABI 患者常伴有颅内压(intracranial pressure, ICP)增高。但有关气管切开术对颅内压影响的研究较少。有研究学者发现, 在 PDT 时, 从摆体位至气管切开的不同时间段, ICP 有升高趋势。德国卡塞尔神经科学中心在研究 PDT 手术对 ICP 的影响时得出结论, 经皮气管切开术可导致短暂的颅内压升高。基线 ICP 超过 15 mmHg 时, PT 存在一定的风险。并建议此类患者推迟进行气管切开[27]。

6. 气管切开术的并发症

6.1. 短期并发症

既往研究已明确[28], PT 术中或术后即刻出血的发生率约为 5%, 主要出血部位涉及颈前静脉、甲状腺峡部、高位无名动脉及甲状腺上动脉, 其中浅表血管损伤为最主要诱因。对于该类出血事件, 加压止血通常可实现有效控制, 部分复杂病例需进一步行手术探查与缝合处理。PT 术的术中并发症还包括气胸/纵隔气肿(发生率 2%~5%)、喉返神经损伤、气管辨认困难、导管异位(如误入支气管或气管腔外)及气道烧伤等。术后早期并发症则更为多样, 包括血管侵蚀引发的大出血、感染、气胸、皮下气肿、纵隔气肿、导管异位及气道梗阻等。Chen 等[29]报道 1 例 PT 术后早期并发气管食管瘘的病例, 尽管患者接受了手术修补治疗, 但最终因胸腔出血死亡, 提示该类并发症可能伴随严重不良预后。

6.2. 远期并发症

相关文献指出, 远期并发症包括移位/假腔形成、黏液栓、气管皮肤瘘、气管食管瘘、气管狭窄、气管软化、吞咽困难、气管损伤等。直接压力性坏死一般发生导管的气囊或尖端位置, 另外黏膜溃疡导致软骨暴露, 也会导致细菌定植、狭窄和软化。呼吸机管路连接及患者体动对气管切开导管过度牵拉可能导致皮肤坏死[30] [31]。

6.3. 神经重症相关并发症

一项前瞻性的 TBI 患者队列研究[26]显示, TBI 患者发生阵发性交感神经兴奋过度(Paroxysmal

sympathetic hyperactivity, PSH)的可能与气管切开的时机相关。阵发性交感神经兴奋过度, 又称“交感神经风暴”, 是 TBI 的常见并发症, 多见于 TBI 早期, 尤其是在伤后 1 周内。晚期气管切开的治疗时间通常需要 1~2 周, 而早期气管切开术的治疗时间一般在 7 天以内的时间。因此, 晚期气管切开的患者可能需要更长的时间去脱离机械通气, 这可能是晚期气管切开更易发生 PSH 的原因。Ringrose 等人[22]分析了接受气管切开术的 TBI 患者的数据, 并比较了发生 PSH 和未发生 PSH 的患者在气管切开术后脱离呼吸机所需要的时间, 分析气管切开术在其中可能产生的影响。他们得出的结论是, PSH 可能与气管切开后脱离机械通气的时间延长有关。而 Li 等人[32]进行进一步研究并探讨了气管切开术时机对阵发性交感神经过度活动发展的作用。根据单因素分析, PSH 组较非 PSH 组气管切开更频繁, 且气管切开时间更晚, 差异具有统计学意义。多因素分析还确定晚期气管切开术是 PSH 的独立风险因素。

7. 拔管评估与康复

拔管是气管切开管理的关键环节。目前尚无统一的拔管指征, 但通常要求患者生命体征平稳、意识改善(GCS ≥ 8 分)、氧合良好、肺部感染控制, 并能耐受堵管 24 小时以上。拔管前需全面评估吞咽功能(如纤维内镜吞咽功能检查 FEES)、咳嗽能力(峰值咳嗽流量 PCF ≥ 160 L/min)、气道通畅性(有无狭窄)等。2024 年发布的《神经重症气管切开患者气道功能康复与管理专家共识》强调了多学科团队在气道康复、拔管前评估及拔管后监测中的作用[33]。

8. 新时代的技术结合

人工智能(Artificial Intelligence, AI)工具的使用

随着 AI 技术的进步, 其在气道管理领域的作用也日益凸显。临床研究提示 AI 可以辅助诊断困难气道[34], 联合其他影像技术, 可以进一步提高 PT 的安全性。

9. 研究局限与未来研究方向

本研究作为一篇叙述性综述, 不可避免地存在一些局限性。首先, 纳入分析的原始研究在设计上存在高度异质性, 包括患者人群(TBI、脑出血、蛛网膜下腔出血等混合)、对“早期”与“晚期”气管切开的定义不统一、对照组的设置差异(如晚期切开 vs. 始终不切开)以及预后评估工具和时间点的不同。这种异质性使得进行强有力的定量合并分析(Meta 分析)变得困难, 从而限制了得出确定性结论的能力。其次, 大多数现有研究, 尤其是关于时机问题的 RCT, 样本量相对有限, 可能效能不足以检测出在神经功能预后等关键终点上的细微但重要的差异。第三, 本文的综述性质决定其证据主要来源于已发表的文献, 可能存在发表偏倚, 即阳性结果的研究更容易被发表。最后, 医疗技术和管理理念在快速演进, 一些较早的研究结论(特别是关于并发症发生率)可能无法完全反映当前在超声引导、规范化操作流程下的真实情况。

基于这些局限, 未来的研究方向应聚焦于以下几个方面: 第一, 迫切需要开展大规模、多中心、针对特定神经重症亚群(如重度 TBI、脑干卒中)的随机对照试验。这些试验应采用共识化的“早期”定义(如机械通气后 ≤ 7 天), 并设定以患者为中心的主要终点, 如功能独立性生存率、健康相关生活质量等, 而不仅仅是中间指标(如 VAP 发生率、ICU 天数)。第二, 研究应深入探索生物标志物或临床评分在预测“哪些患者最能从早期气管切空中获益”方面的作用。例如, 结合连续脑电图、颅内压监测、血清神经损伤标志物及呼吸力学参数, 可能有助于识别出高风险与高获益人群, 实现真正意义上的个体化决策。第三, 需要进一步优化和完善拔管决策支持工具。未来的研究可以致力于开发并验证一个整合了意识水平、咳嗽强度、吞咽功能、气道通畅性及并发症风险的多维度预测模型, 以标准化和客观化拔管流程。第四,

技术创新与整合的研究至关重要。应继续探索超声、支气管镜实时导航、光学成像以及人工智能辅助决策系统在提高 PDT 安全性、尤其是处理困难解剖结构患者中的应用价值。最后, 应开展更多关于长期结局的研究, 包括气管切开术后患者的嗓音、吞咽功能、心理健康及社会回归情况, 以全面评估该干预措施的长期影响, 从而为患者和家属提供更全面的咨询和更有效的长期支持计划。

10. 总结

气管切开术是神经重症患者救治中的重要手段, 但其临床应用仍面临时机选择、术式决策、并发症防治以及拔管评估等多重挑战。近年来, 随着早期气管切开的获益证据积累、微创术式的普及以及多学科康复模式的推广, 该领域的研究不断深入, 气管切开术必将在实现精准、个体化、安全的气管管理上扮演愈加核心的角色, 推动重症医学向更高水平迈进。

参考文献

- [1] Pratt, L.W., Ferlito, A. and Rinaldo, A. (2008) Tracheotomy: Historical Review. *The Laryngoscope*, **118**, 1597-1606. <https://doi.org/10.1097/mlg.0b013e3181783a4c>
- [2] Bair, A.E., Panacek, E.A., Wisner, D.H., Bales, R. and Sakles, J.C. (2003) Cricothyrotomy: A 5-Year Experience at One Institution. *The Journal of Emergency Medicine*, **24**, 151-156. [https://doi.org/10.1016/s0736-4679\(02\)00715-1](https://doi.org/10.1016/s0736-4679(02)00715-1)
- [3] Szmuk, P., Ezri, T., Evron, S., Roth, Y. and Katz, J. (2007) A Brief History of Tracheostomy and Tracheal Intubation, from the Bronze Age to the Space Age. *Intensive Care Medicine*, **34**, 222-228. <https://doi.org/10.1007/s00134-007-0931-5>
- [4] Szakmany, T., Russell, P., Wilkes, A.R. and Hall, J.E. (2015) Effect of Early Tracheostomy on Resource Utilization and Clinical Outcomes in Critically Ill Patients: Meta-Analysis of Randomized Controlled Trials. *British Journal of Anaesthesia*, **114**, 396-405. <https://doi.org/10.1093/bja/aeu440>
- [5] Carney, N., Totten, A.M., O'Reilly, C., Ullman, J.S., Hawryluk, G.W.J., Bell, M.J., et al. (2017) Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury, Fourth Edition. *Neurosurgery*, **80**, 6-15. <https://doi.org/10.1227/neu.0000000000001432>
- [6] Pelosi, P. and Severgnini, P. (2004) Tracheostomy Must be Individualized! *Critical Care*, **8**, Article No. 322. <https://doi.org/10.1186/cc2966>
- [7] Huang, C., Chen, P., Cheng, S., Chen, C., Hsu, P., Hsieh, C., et al. (2013) Relative Contraindications for Percutaneous Tracheostomy: From the Surgeons' Perspective. *Surgery Today*, **44**, 107-114. <https://doi.org/10.1007/s00595-013-0491-y>
- [8] Nun, A.B., Altman, E. and Best, L.A. (2005) Extended Indications for Percutaneous Tracheostomy. *The Annals of Thoracic Surgery*, **80**, 1276-1279. <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2005.02.007>
- [9] Ahmed Bouderkha, M., Fakhir, B., Bouaggad, A., Hmamouchi, B., Hamoudi, D. and Harti, A. (2004) Early Tracheostomy versus Prolonged Endotracheal Intubation in Severe Head Injury. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, **57**, 251-254. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000087646.68382.9a>
- [10] Freeman, B.D., Isabella, K., Lin, N. and Buchman, T.G. (2000) A Meta-Analysis of Prospective Trials Comparing Percutaneous and Surgical Tracheostomy in Critically Ill Patients. *Chest*, **118**, 1412-1418. <https://doi.org/10.1378/chest.118.5.1412>
- [11] Andriolo, B.N., Andriolo, R.B., Saconato, H., Atallah, A.N. and Valente, O. (2015) Early versus Late Tracheostomy for Critically Ill Patients. *Cochrane Database of Systematic Reviews*, No. 1, CD007271. <https://doi.org/10.1002/14651858.cd007271.pub3>
- [12] Rumbak, M.J., Newton, M., Truncale, T., Schwartz, S.W., Adams, J.W. and Hazard, P.B. (2004) A Prospective, Randomized, Study Comparing Early Percutaneous Dilational Tracheotomy to Prolonged Translaryngeal Intubation (Delayed Tracheotomy) in Critically Ill Medical Patients. *Critical Care Medicine*, **32**, 1689-1694. <https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000134835.05161.b6>
- [13] Rodriguez, J.L., Steinberg, S.M., Luchetti, F.A., Gibbons, K.J., Taheri, P.A. and Flint, L.M. (1990) Early Tracheostomy for Primary Airway Management in the Surgical Critical Care Setting. *Journal of British Surgery*, **77**, 1406-1410. <https://doi.org/10.1002/bjs.1800771228>
- [14] Saffle, J.R., Morris, S.E. and Edelman, L. (2002) Early Tracheostomy Does Not Improve Outcome in Burn Patients. *The Journal of Burn Care & Rehabilitation*, **23**, 431-438. <https://doi.org/10.1097/00004630-200211000-00009>

- [15] Schönerberger, S., Niesen, W., Fuhrer, H., Bauza, C., Klose, C., Kieser, M., *et al.* (2016) Early Tracheostomy in Ventilated Stroke Patients: Study Protocol of the International Multicentre Randomized Trial SETPOINT2 (Stroke-Related Early Tracheostomy vs. Prolonged Orotracheal Intubation in Neurocritical Care Trial 2). *International Journal of Stroke*, **11**, 368-379. <https://doi.org/10.1177/1747493015616638>
- [16] Robba, C., Galimberti, S., Graziano, F., Wieggers, E.J.A., Lingsma, H.F., Iaquaniello, C., *et al.* (2020) Tracheostomy Practice and Timing in Traumatic Brain-Injured Patients: A CENTER-TBI Study. *Intensive Care Medicine*, **46**, 983-994. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-05935-5>
- [17] Terragni, P.P., Antonelli, M., Fumagalli, R., Faggiano, C., Berardino, M., Pallavicini, F.B., *et al.* (2010) Early vs Late Tracheotomy for Prevention of Pneumonia in Mechanically Ventilated Adult ICU Patients: A Randomized Controlled Trial. *JAMA*, **303**, 1483-1489. <https://doi.org/10.1001/jama.2010.447>
- [18] Papazian, L., Klompas, M. and Luyt, C. (2020) Ventilator-Associated Pneumonia in Adults: A Narrative Review. *Intensive Care Medicine*, **46**, 888-906. <https://doi.org/10.1007/s00134-020-05980-0>
- [19] Azari Jafari, A., Mirmoeeni, S., Momtaz, D., Kotzur, T., Murtha, G., Garcia, C., *et al.* (2023) Early versus Late Tracheostomy in Patients with Traumatic Brain Injury: A US Nationwide Analysis. *Neurocritical Care*, **40**, 551-561. <https://doi.org/10.1007/s12028-023-01778-2>
- [20] McCredie, V.A., Alali, A.S., Scales, D.C., Adhikari, N.K.J., Rubenfeld, G.D., Cuthbertson, B.H., *et al.* (2016) Effect of Early versus Late Tracheostomy or Prolonged Intubation in Critically Ill Patients with Acute Brain Injury: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Neurocritical Care*, **26**, 14-25. <https://doi.org/10.1007/s12028-016-0297-z>
- [21] Frontera, J.A., Gilmore, E.J., Johnson, E.L., Olson, D., Rayi, A., Tesoro, E., *et al.* (2024) Guidelines for Seizure Prophylaxis in Adults Hospitalized with Moderate-Severe Traumatic Brain Injury: A Clinical Practice Guideline for Health Care Professionals from the Neurocritical Care Society. *Neurocritical Care*, **40**, 819-844. <https://doi.org/10.1007/s12028-023-01907-x>
- [22] Ringrose, H., Brown, M., Walton, K. and Sivan, M. (2018) Association between Paroxysmal Sympathetic Hyperactivity and Tracheostomy Weaning in Traumatic Brain Injury. *NeuroRehabilitation: An International, Interdisciplinary Journal*, **42**, 207-212. <https://doi.org/10.3233/nre-172276>
- [23] Barquist, E.S., Amortegui, J., Hallal, A., Giannotti, G., Whinney, R., Alzamel, H., *et al.* (2006) Tracheostomy in Ventilator Dependent Trauma Patients: A Prospective, Randomized Intention-to-Treat Study. *The Journal of Trauma: Injury, Infection, and Critical Care*, **60**, 91-97. <https://doi.org/10.1097/01.ta.0000196743.37261.3f>
- [24] Liu, C.C. and Rudmik, L. (2016) A Cost-Effectiveness Analysis of Early vs Late Tracheostomy. *JAMA Otolaryngology-Head & Neck Surgery*, **142**, 981. <https://doi.org/10.1001/jamaoto.2016.1829>
- [25] Nieszkowska, A., Combes, A., Luyt, C., Ksibi, H., Trouillet, J., Gibert, C., *et al.* (2005) Impact of Tracheotomy on Sedative Administration, Sedation Level, and Comfort of Mechanically Ventilated Intensive Care Unit Patients. *Critical Care Medicine*, **33**, 2527-2533. <https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000186898.58709.aa>
- [26] Oppert, M., Jungehülsing, M. and Nibbe, L. (2024) Tracheotomie: Indikation und Durchführung. *Medizinische Klinik - Intensivmedizin und Notfallmedizin*, **119**, 694-702. <https://doi.org/10.1007/s00063-024-01184-2>
- [27] Kleffmann, J., Pahl, R., Ferbert, A. and Roth, C. (2020) Factors Influencing Intracranial Pressure (ICP) during Percutaneous Tracheostomy. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **195**, Article 105869. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2020.105869>
- [28] Al-Ansari, M.A. and Hijazi, M.H. (2005) Clinical Review: Percutaneous Dilatational Tracheostomy. *Critical Care*, **10**, 202. <https://doi.org/10.1186/cc3900>
- [29] Chen, Y., Guo, R., Rao, L. and Ye, H. (2021) Early Tracheoesophageal Fistula after Tracheotomy: A Case Report with Literature Review. *Asian Journal of Surgery*, **44**, 1227-1228. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2021.06.014>
- [30] Khaja, M., Haider, A., Alapati, A., Qureshi, Z.A. and Yapor, L. (2022) Percutaneous Tracheostomy: A Bedside Procedure. *Cureus*, **14**, e24083. <https://doi.org/10.7759/cureus.24083>
- [31] Hixson, R., Jensen, K.S., Melamed, K.H. and Qadir, N. (2024) Device Associated Complications in the Intensive Care Unit. *BMJ*, **386**, e077318. <https://doi.org/10.1136/bmj-2023-077318>
- [32] Li, Z., Chen, J., Zhang, D., Lv, L. and Hou, L. (2019) Tracheostomy as a Risk Factor for Paroxysmal Sympathetic Hyperactivity in Severe Traumatic Brain Injury. *World Neurosurgery*, **123**, e156-e161. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.11.101>
- [33] 中国残疾人康复协会神经康复专业委员会, 中国康复研究中心. 神经重症气管切开患者气道功能康复与管理专家共识(2024) [J]. 中国康复理论与实践, 2024, 30(8): 869-881.
- [34] De Rosa, S., Bignami, E., Bellini, V. and Battaglini, D. (2025) The Future of Artificial Intelligence Using Images and Clinical Assessment for Difficult Airway Management. *Anesthesia & Analgesia*, **140**, 317-325. <https://doi.org/10.1213/ane.0000000000006969>