

• 综 述 • DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2025.04.024

麻醉中使用高流量鼻吸氧技术维持氧合的研究进展*

曲世界¹,白殊同²综述,陈艳^{1△}审校

重庆市中医院:1.麻醉科;2.基础研究室,重庆 400021

摘要:高流量鼻吸氧(HFNO)技术(以下简称 HFNO)是通过不需要密封的鼻塞导管,直接将一定浓度的氧气混合高流量气体输送给患者的一种氧疗方式,因其维持患者窒息氧合效果良好且简便易行,已在临床麻醉中受到广泛关注。该文从麻醉科临床实际应用的角度出发,对 HFNO 在麻醉科气道管理中的应用场景,包括涉及呼吸道的外科手术中窒息氧合、困难气道及清醒插管、拔管和术后支持、深度镇静中的呼吸支持和全身麻醉快速诱导中的相关研究进行文献综述,以方便同行了解该技术的应用场景和使用特点。当前,HFNO 在麻醉科使用场景下的深度开发和应用与临床需求仍存在较大差距,需要大量随机对照试验数据对该技术的短期和长期患者获益情况进行评价,但 HFNO 具备设置简单、患者接受度高、能够产生气道正压和高浓度的吸入氧气、冲洗鼻咽无效腔,并在一定程度上清除二氧化碳的特点。同时,HFNO 通过鼻插管的方式为能够自主呼吸的患者提供呼吸支持,为呼吸暂停患者提供窒息氧合,减少肺不张,并且 HFNO 具有可支持面罩通气、喉镜气管插管操作和呼吸道外科手术,并能够为患者提供稳定可靠的氧合等诸多优势,随着 HFNO 的进步,在解决其局限性之后,必将拓展其临床应用范围,造福患者。

关键词:高流量鼻吸氧; 麻醉; 呼吸; 窒息氧合; 困难气道

中图法分类号:R614.2;R459.6

文献标志码:A

文章编号:1672-9455(2025)04-0552-05

Research progress on the use of high-flow nasal oxygen therapy for maintaining oxygenation during anesthesia*QU Shijie¹, BAI Shutong², CHEN Yan^{1△}

1. Department of Anesthesiology; 2. Basic Research Laboratory, Chongqing Traditional Chinese Medicine Hospital, Chongqing 400021, China

Abstract: High-flow nasal oxygen therapy (HFNO) is a method of oxygen therapy that delivers oxygen mixed with high-flow gas directly to patients through a non-sealing nasal cannula, which does not require a sealed connection. Due to its advantages of maintaining adequate oxygenation in patients with respiratory distress and being simple to use, it has attracted significant attention in clinical anesthesia practice. This paper reviews the application scenarios of HFNO in airway management from the perspective of clinical anesthesia practice. It discusses its use in apneic oxygenation during airway surgeries, management of difficult airways and awake intubation, extubation and postoperative support, respiratory support during deep sedation and rapid induction of general anesthesia. The review aims to provide colleagues with a better understanding of the application scenarios and characteristics of this technique. Currently, there is still a significant gap between the in-depth development and application of HFNO in anesthesiology and clinical needs. Extensive randomized controlled trial data are needed to evaluate the short-term and long-term benefits of this technology for patients. However, HFNO offers advantages such as simple setup, high patient acceptance, the ability to generate positive airway pressure, deliver high concentrations of inhaled oxygen, wash out ineffective spaces in the nasopharynx, and remove carbon dioxide to a certain extent. Meanwhile, HFNO provides respiratory support for spontaneously breathing patients through nasal cannulas, asphyxia oxygenation for apnea patients, and helps reduce atelectasis. Moreover, HFNO supports mask ventilation, laryngoscopic tracheal intubation procedures and airway surgeries while offering stable and reliable oxygenation for patients. With continuous advancements in HFNO and overcoming its limitations, its clinical applications will undoubtedly expand, benefiting more patients.

Key words: high flow nasal oxygen; anesthesia; respiratory; asphyxia oxygenation; difficulty airway

* 基金项目:重庆市科卫联合医学科研项目(2024MSXM134)。

△ 通信作者, E-mail: ssschen136@163.com。

高流量鼻吸氧(HFNO)技术(以下简称 HFNO)对麻醉学科来说是一种新型呼吸维持技术,是对传统氧疗技术(COT)的补充,该技术能够提供加热和增湿的受控氧/空气混合气流,其速率高达 70 L/min,吸入氧浓度为 21%~100%。该技术早期用于治疗严重上呼吸道阻塞的早产儿呼吸暂停,2015 年开始用于麻醉过程中气管插管困难患者的窒息氧合^[1-2],现常用于重症监护病房(ICU)中急性呼吸衰竭患者的治疗^[3]。HFNO 在麻醉实践中可提供约 25 min 的窒息氧合^[4],较 COT 安全窒息时间明显延长^[5],这一优势对麻醉术中窒息氧合、困难气道处理、清醒纤维支气管镜插管、拔管后的呼吸支持、深度镇静中的呼吸支持、全身麻醉诱导插管前的氧合等具有良好的支撑作用。有研究表明,HFNO 适用于择期和急诊手术的麻醉、重症监护和紧急气道的管理,凭借以上优势,HFNO 让患者比 COT 获益更多^[6]。

1 HFNO 在临床麻醉中的应用实践

1.1 涉及呼吸道外科手术中窒息氧合 持续为窒息患者提供氧气以维持足够的血氧水平称为窒息氧合。在窒息患者中,从肺泡提取氧气进入血液会导致肺泡压力小于大气压,从而产生压力梯度,将口咽中的气体移动到肺泡^[7]。不断变化的压力梯度导致气体流量的非线性增加,通常在呼吸暂停后 20 s 开始,并在 150 s 时达到最大^[8]。同时,心源性振荡也可能是另一潜在机制,其原理是心脏收缩引起的气流改变,可能有助于呼吸暂停期间的气体交换^[9]。HFNO 可对鼻咽部持续给予 100% 氧气,并在闭口时对咽部产生小于 10 cmH₂O 的压力^[1],低于食管括约肌开放压力,避免胃胀气^[10]。有研究证明 HFNO 可为健康成年患者提供 21~25 min 的窒息氧合^[11],此外,儿童随着年龄的增长安全窒息氧合时间随之延长^[12],对于重度肥胖患者[体质量指数(BMI)≥40 kg/m²]也可有效延长窒息氧合时间^[13]。但上述研究都存在单中心研究、样本量较少的局限性,证据力度稍显不足。然而,在没有呼吸运动的情况下,HFNO 的局限性之一是它会随着呼吸暂停时间的延长导致二氧化碳分压(PaCO₂)持续增加和加重呼吸性酸中毒。虽然 HFNO 有一定局限性,但其具有提供窒息氧合、适用于各类患者、可多场景应用等优点,使其临床使用价值仍值得肯定。

1.2 困难气道及清醒插管 经过几十年的发展,麻醉安全虽得到很大程度的提升,但仍存在大量的严重呼吸道相关并发症和较高病死率,低氧血症占并发症的 20%^[14]。全身麻醉顺序诱导后,从患者呼吸停止到建立气道留给麻醉医生的时间有限,因此,能预氧合和窒息氧合的 HFNO 就显得更为重要,可给予麻醉医生更多的应对时间。在困难气道患者处理中,清

醒的纤维支气管镜插管是主要的应对手段。2022 年美国麻醉师学会困难气道管理实践指南提到,在开始困难气道管理前需预充氧,并在管理中持续补充氧气,88%~100% 预期的困难气道患者可成功实施清醒插管^[15]。在一项包括 600 例清醒纤维支气管镜插管患者的前瞻性队列研究中,49% 的患者使用 HFNO (高流量鼻氧疗组),其余患者使用面罩或常规鼻吸氧(常规组),结果显示高流量鼻氧疗组并发症发生率(9.2% vs. 12.7%)和血氧饱和度降低率(1% vs. 2%)比常规组均降低,但差异无统计学意义($P > 0.05$)^[16],尽管结果缺乏统计学意义,但作者表示高流量鼻氧疗仍可作为该研究中清醒纤维支气管镜插管患者使用的标准氧合策略,这与 HIGGS 等^[17]提出的清醒插管的氧合建议一致。

1.3 拔管和术后支持 拔管前应充分预氧合,尤其是对高危患者^[18]。拔管后常见的呼吸窘迫和低氧血症会对患者的身体健康造成严重影响,增加病死率和延长住院时间^[19]。HFNO 可以在拔管后立即使用,以提供氧气,作为传统面罩氧疗的替代方法^[20]。现已有多中心、大样本的临床试验证明了 HFNO 的有效性,可降低再插管和呼吸衰竭比例,且证据可信度较高^[21]。

然而,已发表的文献主要集中在 ICU 中拔管后使用 HFNO,这并不等同于直接推断麻醉后拔管的情况。鉴于麻醉后拔管使用 HFNO 的数据相对较少,这一领域显然还有进一步研究的必要。至少,现有的证据表明,HFNO 并不逊色于 COT,从理论上讲,它可能为麻醉后拔管带来一定的益处^[22]。

1.4 深度镇静中的呼吸支持 随着时间短、难度小的手术和门诊内窥镜检查在临床开展得越来越多,静脉镇静麻醉也被广泛应用^[23]。在深度镇静的情况下,上呼吸道肌肉松弛会引起上呼吸道阻塞,这可能需要一定的呼吸道或呼吸机支持^[24]。VIJITPAVAN 等^[25]将 36 例接受血管内手术的患者随机分为常规鼻吸氧组(NC2 组)和 HFNO 组,在丙泊酚深度镇静下观察患者血氧饱和度和呼吸道阻塞情况,结果显示 HFNO 组血氧饱和度和下降事件及需要干预的次数均较 NC2 组减少,差异均有统计学意义($P < 0.05$),且 2 组动脉血气分析指标和口腔干燥发生率比较,差异无统计学意义($P > 0.05$)。另一项随机对照研究显示,HFNO 可改善深度镇静后的肺不张^[26]。SANTER 等^[23]的研究显示,由于 HFNO 的成本较高,不建议将其常规应用于健康人群胃镜、肠镜等检查中,但在低氧血症高危患者的胃肠内窥镜手术中使用 HFNO 或可带来较高收益。

1.5 全身麻醉快速诱导中的应用 全身麻醉快速诱导是指在使用全身麻醉药物时,使用肌松剂让患者从

清醒到意识消失的过程中保持咽喉部肌肉松弛,短时间内进行气管插管,缩短诱导时间。在手术室快速麻醉诱导过程中, HFNO 可用于插管前预氧合。插管前的预氧合是指快速诱导前给患者 100% 的氧气, 尽量使肺内的氮气排出, 提高肺内氧浓度, 从而在呼吸暂停后、低氧血症发生之前保障了进行气道保护操作的时间, 因此, 麻醉诱导前的预氧合是至关重要的^[27]。传统的方法是嘱患者通过面罩呼吸纯氧或插管前的正压通气来达到排氮给氧、延长患者安全呼吸暂停时间的目的。现有研究表明, HFNO 并不逊色于面罩预氧合^[28]。

2 HFNO 的机制与应用潜力

2.1 窒息氧合机制 尽管现在还缺乏大样本、多中心的随机对照试验来验证, 但 HFNO 在麻醉中的作用和地位已然确立, 并且它的安全性、有效性和实用性已被证实^[29]。HFNO 最突出的优点是在短时间手术或共用气道手术期间提供窒息氧合, 其作用机制可能涉及多个方面: (1) 高流量给氧与患者的吸气流速相匹配, 从而产生正压效应, 并减少解剖无效腔; (2) HFNO 闭口时可提供稳定的呼气末正压; (3) 吸入的加热和湿化的气体可以改善黏液纤毛运动和促进排痰; (4) 上呼吸道阻力减少, 呼吸做功减少^[30-33]。

2.2 气道正压的产生因素及作用 值得一提的是, HFNO 所输送的高流量氧气能够高效冲洗鼻腔及口咽部的二氧化碳(CO₂), 从而最大限度地减少 CO₂ 复吸, 减少无效腔, 使每分通气量超过肺泡通气量^[34]。高流量气体可产生一定的气道正压(平均值 2.7~7.4 cmH₂O), 这一压力水平的高低受到多种因素的影响, 包括气体流速、上呼吸道的几何形状、是否张口呼吸以及鼻孔和口腔的渗漏程度等^[35]。若自主呼吸, 气道正压可减少呼吸做功, 减少吸气阻力, 进而提升动态肺顺应性。同时, 它还能增加吸入气量并通过减少肺不张和改善氧合降低呼吸-血流灌注失调比例。另外, 加热和加湿的气体可提高患者的耐受性, 并保持了纤毛功能, 有助于清除呼吸道分泌物, 进一步提升治疗效果^[36]。

2.3 特定场景下的应用 HFNO 与 COT 的应用场景和临床效果具有相似之处, 但在以下几种特定场景下, HFNO 具有突出优势和潜在应用潜力: (1) 窒息氧合应用场景下可提供 19~25 min 的窒息氧合时间, 可为时间短、难度小的气道手术提供术中氧合, 虽然 HFNO 存在导致动脉血 PaCO₂ 增加和呼吸性酸中毒的风险, 但其在突发的困难气道处理中, 能够持续维持患者氧合, 有利于为患者争取治疗时间, 挽救生命。(2) 在深度镇静的情况下, 患者的呼吸会受到不同程度的影响, 甚至停止呼吸动作, 在此种情况下 HFNO 可有效维持氧饱和, 减少肺不张。(3) 在胸科手术中的应用, 例如, 时间短、难度小的胸科手术中仍需肺隔

离的情况下, 插入双腔管会不可避免对气道造成一定程度的损伤, 若采用保留患者自主呼吸的方法进行肺部分切除术, HFNO 可对患者受抑制的自主呼吸提供氧合支持, 此方法可避免机械通气, 明显减少呼吸道相关并发症发生风险。

3 结论与展望

3.1 现有成果总结 本文对 HFNO 在麻醉领域的研究进展进行简要总结, HFNO 作为一种新型的呼吸维持技术, 在麻醉学科中的应用已得到广泛认可。它能够为患者提供加热和湿化的受控氧/空气混合气流, 有效延长窒息氧合时间, 适用于各类手术和呼吸困难的患者。多项研究表明, HFNO 在窒息氧合、困难气道处理、清醒纤维支气管镜插管、拔管后的呼吸支持、深度镇静中的呼吸支持及全身麻醉快速诱导等方面具有明显优势, 能够为患者提供更安全的氧合保障^[37-39]。未来的麻醉临床实践中, HFNO 必将起到重要作用。

3.2 现阶段所面临的问题 虽然 HFNO 具有诸多优势, 但其在临床中的推广应用仍面临诸多的问题与挑战, 例如: (1) 氧气浓度控制不稳定, 可能低于预期; (2) 患者适应性差异, 可能影响依从性; (3) 需要充分湿化与加热, 增加处理工序; (4) 设备成本高, 操作复杂, 需专业人员维护。

3.3 应用前景 笔者相信随着 HFNO 的不断发展和完善, 其在麻醉学科中的应用前景将更加广阔。期待更多的大样本、多中心、随机对照试验来验证 HFNO 的效果和安全性, 进一步明确其适应证和禁忌证。同时, 随着 HFNO 使用成本的逐步降低, 其将有望成为更多合并严重心脏疾病和肺部疾病并发症患者的首选通气方式, 尤其是对于儿童、高龄患者、肥胖患者、合并严重呼吸道疾病患者等特殊群体。此外, HFNO 作为一种无创的呼吸支持手段, 未来有可能成为无创机械通气的替代方法, 为患者提供更加舒适、安全的呼吸支持。

参考文献

- [1] KLEIN M, REYNOLDS L G. Relief of sleep-related oropharyngeal airway obstruction by continuous insufflation of the pharynx[J]. *Lancet*, 1986, 1(8487): 935-939.
- [2] PATEL A, NOURAEI S A R. 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.
- [3] GRIECO D L, MAGGIORE S M, ROCA O, et al. Non-invasive ventilatory support and high-flow nasal oxygen as first-line treatment of acute hypoxemic respiratory failure and ARDS[J]. *Intensive Care Med*, 2021, 47(8): 851-866.
- [4] PIOSIK Z M, DIRKS J, RASMUSSEN L S, et al. Exploring the

- limits of prolonged apnoea with high-flow nasal oxygen; an observational study[J]. *Anaesthesia*, 2021, 76(6):798-804.
- [5] CARRON M, TAMBURINI E, SAFAEE FAKHR B, et al. High-flow nasal oxygenation during gastrointestinal endoscopy: systematic review and meta-analysis[J]. *BJA Open*, 2022, 4:100098.
- [6] GENTY T, STÉPHAN F. The perioperative role of high-flow cannula oxygen (HFNO)[J]. *Rev Mal Respir*, 2023, 40(1):61-77.
- [7] ELLIS R, LAVIOLA M, STOLADY D, et al. Comparison of apnoeic oxygen techniques in term pregnant subjects: a computational modelling study[J]. *Br J Anaesth*, 2022, 129(4):581-587.
- [8] FRUMIN M J, EPSTEIN R M, COHEN G. Apneic oxygenation in man[J]. *Anesthesiology*, 1959, 20:789-798.
- [9] EINAV S, LAKBAR I, LEONE M. Non-invasive respiratory support for management of the perioperative patient: a narrative review[J]. *Adv Ther*, 2021, 38(4):1746-1756.
- [10] MCLELLAN E, LAM K, BEHRINGER E, et al. High-flow nasal oxygen does not increase the volume of gastric secretions during spontaneous ventilation[J]. *Br J Anaesth*, 2020, 125(1):e75-e80.
- [11] MA B, LIU F, WANG D D, et al. High-flow nasal cannula in nonlaser microlaryngoscopic surgery: a prospective study of 19 cases in a Chinese population[J]. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1):81.
- [12] SEQUERA-RAMOS L, GARCIA-MARCINKIEWICZ A, RIVA T, et al. Noninvasive ventilation in children: a review for the pediatric anesthesiologist[J]. *Paediatr Anaesth*, 2022, 32(2):262-272.
- [13] GUY L, CHRISTENSEN R, DODD B, et al. The effect of transnasal humidified rapid-insufflation ventilator exchange (THRIVE) versus nasal prongs on safe apnoea time in paralysed obese patients: a randomised controlled trial[J]. *Br J Anaesth*, 2022, 128(2):375-381.
- [14] SPENCE E A, RAJALEELAN W, WONG J, et al. The effectiveness of high-flow nasal oxygen during the intraoperative period: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Anesth Analg*, 2020, 131(4):1102-1110.
- [15] APFELBAUM J L, HAGBERG C A, CONNIS R T, et al. 2022 American society of anesthesiologists practice guidelines for management of the difficult airway[J]. *Anesthesiology*, 2022, 136(1):31-81.
- [16] EL-BOGHADLY K, ONWOCHEI D N, CUDDIHY J, et al. A prospective cohort study of awake fiberoptic intubation practice at a tertiary centre[J]. *Anaesthesia*, 2017, 72(6):694-703.
- [17] HIGGS A, MCGRATH B A, GODDARD C, et al. Guidelines for the management of tracheal intubation in critically ill adults[J]. *Br J Anaesth*, 2018, 120(2):323-352.
- [18] ISHIHARA A, OKADA H, MORI T, et al. Effectiveness of early high-flow nasal oxygen therapy after extubation of patients in the intensive care unit[J]. *J Crit Care*, 2024, 83:154840.
- [19] BALDOMERO A K, MELZER A C, GREER N, et al. Effectiveness and harms of high-flow nasal oxygen for acute respiratory failure: an evidence report for a clinical guideline from the American college of physicians[J]. *Ann Intern Med*, 2021, 174(7):952-966.
- [20] QASEEM A, ETXEANDIA-IKOBALTZETA I, FITTERMAN N, et al. Appropriate use of high-flow nasal oxygen in hospitalized patients for initial or postextubation management of acute respiratory failure: a clinical guideline from the American college of physicians[J]. *Ann Intern Med*, 2021, 174(7):977-984.
- [21] CHAUDHURI D, GRANTON D, WANG D X, et al. High-flow nasal cannula in the immediate postoperative period: a systematic review and Meta-analysis[J]. *Chest*, 2020, 158(5):1934-1946.
- [22] SEOW D, KHOR Y H, KHUNG S W, et al. High-flow nasal oxygen therapy compared with conventional oxygen therapy in hospitalised patients with respiratory illness: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMJ Open Respir Res*, 2024, 11(1):e002342.
- [23] SANTER P, WONGTANGMAN K, SAWHNEY M S, et al. High-flow nasal oxygen for gastrointestinal endoscopy improves respiratory safety[J]. *Br J Anaesth*, 2021, 127(1):7-11.
- [24] GU W J, WANG H T, HUANG J, et al. High flow nasal oxygen versus conventional oxygen therapy in gastrointestinal endoscopy with conscious sedation: systematic review and meta-analysis with trial sequential analysis[J]. *Dig Endosc*, 2022, 34(6):1136-1146.
- [25] VIJITPAVAN A, KOONCHAROENSUK Y. High flow versus conventional nasal cannula for oxygenation and ventilation maintenance during surgery with intravenous deep sedation by propofol: a randomized controlled study[J]. *BMC Anesthesiol*, 2021, 21(1):214.
- [26] SHIH C C, LIANG P C, CHUANG Y H, et al. Effects of high-flow nasal oxygen during prolonged deep sedation on postprocedural atelectasis: a randomised controlled trial[J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2020, 37(11):1025-1031.
- [27] SJÖBLOM A, BROMS J, HEDBERG M, et al. Pre-oxygenation using high-flow nasal oxygen *vs.* tight facemask during rapid sequence induction[J]. *Anaesthesia*, 2021, 76(9):1176-1183.
- [28] SONG J L, SUN Y, SHI Y B, et al. Comparison of the effectiveness of high-flow nasal oxygen *vs.* standard facemask oxygenation for pre- and apneic oxygenation during anesthesia induction: a systematic review and meta-analysis[J]. *BMC Anesthesiol*, 2022, 22(1):100.
- [29] 黄宇光, 左明章, 鲍红光, 等. 经鼻高流量氧疗临床麻醉规范应用专家共识(2023 版)[J]. *临床麻醉学杂志*, 2023, 39(08):881-887.

• 综 述 • DOI:10.3969/j.issn.1672-9455.2025.04.025

肿瘤相关巨噬细胞在肺癌中的作用及研究进展*

方雨薇 综述,葛晓军[△]审校

遵义医科大学第二附属医院检验科,贵州遵义 563000

摘要:肺癌作为高发病率和高病死率的恶性肿瘤,其病情进展与肿瘤所处的微环境密不可分。肿瘤相关巨噬细胞(TAM)作为实体瘤微环境中免疫细胞的主要组成部分,对肺癌发展具有重要调控作用。该文从TAM的定义出发,阐述了其起源、免疫功能分类及与肿瘤微环境之间的复杂相互作用,重点叙述了TAM在肺癌中抑制抗肿瘤免疫反应、促进肿瘤进展的作用,并对该免疫调节机制的研究进展进行了总结,揭示了其在免疫治疗和靶向治疗中的巨大应用前景。尽管TAM在肺癌发生、发展中的关键作用已被证实,但当前对极化调控机制的研究尚且不足,靶向治疗的策略仍然有限。因此,未来研究需聚焦于深化TAM极化调控的分子机制,开发针对TAM的高效靶向药物及免疫疗法,探索其与现有治疗手段的联合应用策略,以期为实现肺癌的个性化、精准化治疗开辟新路径。

关键词:肿瘤相关巨噬细胞; 肿瘤微环境; 免疫调节; 靶向治疗; 免疫检查点

中图分类号:R734.2;R447

文献标志码:A

文章编号:1672-9455(2025)04-0556-07

The role and research progress of tumor-associated macrophages in lung cancer*FANG Yuwei, GE Xiaojun[△]

Department of Clinical Laboratory, the Second Affiliated Hospital of Zunyi Medical University, Guizhou, Zunyi 563000, China

Abstract: Lung cancer, as a malignancy with high incidence and mortality rates, is closely related to the disease progression and microenvironment in which it exists. Tumor-associated macrophages (TAM), as the main component of immune cells in the solid tumor microenvironment, play a crucial regulatory role in the development of lung cancer. Starting from the definition of TAM, this article elaborates on their origin, classification of immune functions and complex interactions with the tumor microenvironment. It primarily discusses the role of TAM in suppressing anti-tumor immune responses and promoting tumor progression in lung cancer. The article also summarizes the research progress on these immunoregulatory mechanisms, revealing their great potential in immunotherapy and targeted therapy. Although the critical role of TAM in the initiation and progression of lung cancer has been confirmed, current research on the polarization regulation mechanisms remains insufficient, and targeted therapeutic strategies are still limited. Therefore, future studies should focus on deepening the molecular mechanisms of TAM polarization regulation, developing efficient TAM-targeted drugs and immunotherapies, and exploring combination strategies with existing treatments, in order to pave new paths for personalized and precise treatment of lung cancer.

Key words: tumor-associated macrophages; tumor microenvironment; immunoregulation; targeted therapy; immune checkpoints

肺癌是恶性程度较高的肿瘤之一,其高发病率与高病死率已获得了全球公认。在我国,肺癌的发病率与病死率显著高于其他恶性肿瘤,构成了公共卫生领域的一个重大难题,带来了严峻的健康挑战^[1]。随着我国人口老龄化的不断加剧,肺癌的发病率呈现上升趋势,由于肺癌具有隐匿性且发展迅速,大多数患者被发现时已处于肿瘤晚期,预后极不乐观。因此,如何延缓肺癌进展以提高生存率仍然是全球亟待解决

的共同难题。近年来,越来越多的研究者把研究的关注点从肿瘤细胞本身转移到了肿瘤所处的微环境上,期望找到治疗的突破口。在肿瘤微环境中,肿瘤相关巨噬细胞(TAM)扮演着举足轻重的免疫调控角色,它们能抑制机体的抗肿瘤免疫反应,促进血管生成,从而影响肺癌的生长、侵袭及转移,对肿瘤发生、发展、转移及预后等过程产生了深远的影响^[2]。因此,进一步深入分析肿瘤微环境中导致肺癌发生、发展的

* 基金项目:教育部产学研合作协同育人项目(230907010154601)。

[△] 通信作者, E-mail: gxj_199421@163.com。