

· 综 述 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2023.09.028

网络首发 [https://kns.cnki.net/kcms/detail//50.1097.r.20221228.1856.018.html\(2022-12-30\)](https://kns.cnki.net/kcms/detail//50.1097.r.20221228.1856.018.html(2022-12-30))

## 全身麻醉诱导期间预氧合的研究进展\*

曾 晴,李冬梅,罗 艳综述,杨相梅<sup>△</sup>审校

(重庆医科大学附属第一医院呼吸与危重症医学科,重庆 400010)

**[摘要]** 全身麻醉患者在行气管插管术时会经历不同时间的无通气情况,预氧合是进行气管插管的必要程序之一,旨在通过提升功能残气量的氧含量达到增加氧储备的目的,保证插管窒息时血氧饱和度稳定。选择个体化的预氧合方法将避免肺不张、胃胀气等潜在并发症,提高无通气期间的安全性。由于接受全身麻醉患者可能会在麻醉诱导后出现困难面罩通气和困难气管插管的情况,因此所有患者都需要预氧合,以降低麻醉诱导期及气管插管带来的风险。本文对近年来全身麻醉诱导期间预氧合的研究进展进行综述,为临床医护人员采取全身麻醉诱导期间的预氧合提供参考。

**[关键词]** 全身麻醉;麻醉诱导;气管插管;无通气安全时限;预氧合;综述

**[中图分类号]** R614 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1671-8348(2023)09-1428-05

## Research progress of preoxygenation during induction of general anesthesia\*

ZENG Qing, LI Dongmei, LUO Yan, YANG Xiangmei<sup>△</sup>

(Department of Respiratory and Critical Care Medicine, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing 400010, China)

**[Abstract]** Patients under general anesthesia may experience different periods of non-ventilation during endotracheal intubation. Preoxygenation is one of the necessary procedures to perform endotracheal intubation, aiming at increasing oxygen reserve by increasing oxygen content of functional residual volume and ensuring stable blood oxygen saturation during intubation asphyxia. The choice of an individualized preoxygenation method will avoid potential complications such as pulmonary atelectasis and gastric distention, and improve safety during periods of non-ventilation. Due to the possibility of difficult mask ventilation and difficult endotracheal intubation in patients undergoing general anesthesia induction, all patients require preoxygenation to reduce the risks associated with anesthesia induction and endotracheal intubation. In this paper, the research progress of preoxygenation during induction of general anesthesia in recent years was reviewed, which can provide references for clinical medical staff to adopt preoxygenation during induction of general anesthesia.

**[Key words]** general anesthesia; anesthesia induction; tracheal intubation; duration of non-hypoxic apnea; preoxygenation; review

无通气安全时限也称为呼吸暂停安全时限<sup>[1]</sup>、安全窒息时限<sup>[2]</sup>,是指人体停止通气到血氧饱和度(SpO<sub>2</sub>)降至90%所需时间<sup>[3]</sup>。一般而言,麻醉患者在气管插管开始前会经历不同时间的无通气情况。随着无通气安全时限延长,低氧血症发生率及严重程度逐渐增加,甚至危及患者生命安全,故通过各种方法延长无通气安全时限十分重要。全身麻醉开始前的预氧合主要增加身体氧气储备,以减少与低氧血症有关的潜在不良事件发生,是延长无通气安全时限的重要方法。该过程为全身麻醉诱导前提供100%氧

气,直到呼气末氧浓度(EtO<sub>2</sub>)>90%,呼气末氮浓度(EtN<sub>2</sub>)<5%<sup>[4]</sup>。因接受全身麻醉的患者都有可能在麻醉诱导后出现无法插管不能通气情况,故强烈建议对所有患者都需要给予预氧合。2015年,英国困难气道协会制订的用于管理意外插管困难的指南中声明,所有患者在诱导全身麻醉之前都应进行预氧合<sup>[5]</sup>。全身麻醉诱导期预氧合一直是国内外学者研究的热点内容。系统地了解预氧合方法、预氧合潜在并发症,对开展相关研究及临床实践有重要的指导意义。因此,在本文中回顾了国内外有关全身麻醉诱导期预

\* 基金项目:重庆市科卫联合医学科研项目重点项目(2019ZDXM023)。 作者简介:曾晴(1998—),护士,硕士,主要从事呼吸与危重症研究。 <sup>△</sup> 通信作者,E-mail: numei@126.com。

氧合的研究现状。

## 1 接受预氧合的体位

在标准预氧合期间,预充氧增加身体的氧储存,且氧储存增加发生在功能残气量(FRC)<sup>[6]</sup>,肺的FRC越大,储存的氧气量就越大。研究表明,功能性残余能力随着姿势从直立到仰卧位的改变而降低<sup>[7]</sup>,并且随着年龄的增长和体重的增加而降低,在手术室的麻醉诱导过程中,常规仰卧位会导致腹内容物向头侧移位,膈肌上抬并压迫肺组织<sup>[8]</sup>,更多的后肺容易出现肺不张、塌陷,缩短无通气安全时限。机体由直立位变仰卧位时会使FRC下降约20%,麻醉诱导后FRC将进一步减少约10%<sup>[9]</sup>。与仰卧位相比,俯卧位的腹部自由运动(上胸和骨盆支撑)可以明显增加53%的FRC,然而由于非依赖性肺的作用,全身麻醉诱导前和诱导后,侧卧位的整体FRC均大于仰卧位<sup>[10]</sup>。RAMKUMAR等<sup>[11]</sup>研究45例非肥胖手术患者,比较头高位20°与仰卧位预氧合效果的疗效,患者接受5 min标准预氧合,允许动脉SpO<sub>2</sub>降至93%,结果显示:平均呼吸暂停时间在头高位20°为452 s,而在仰卧位为364 s,预氧合在头高位20°比仰卧位更有效。采用头高位可以更好地进行氧储备,进一步减少被动反流的机会,但如果反流发生,则会增加肺吸入的风险,并增加低血压和困难插管的发生风险。

## 2 预氧合方法

### 2.1 自然呼吸法(tidal volume breathing, TVB)

TVB即患者平静状态下自然呼吸,直到当EtO<sub>2</sub>>90%时,预氧是足够的,通常需要约3 min,是传统的预氧合方法。有研究表明,选择无漏气、合适的呼吸装置,以10 L/min的氧气流速吸入纯氧3 min后,老年患者(65岁及以上)EtO<sub>2</sub><90%(平均为86.2%),青年患者EtO<sub>2</sub>>90%(平均为91.5%),当呼吸时间增加到4、6或8 min后,效果改善有限,甚至对部分患者毫无益处<sup>[12]</sup>。TVB可用于清醒气管插管患者,有足够意识在无辅助的情况下维持气道通畅,通过自发通气维持足够的气体交换,并保护气道免受胃内容物或其他异物的吸入。

### 2.2 深吸气法(vital capacity breathing, VCB)

VCB主要分为30 s 4次深呼吸(即4DB)和60 s 8次深呼吸(即8DB),TVB和8DB方法优于4DB方法。与TVB相比,在60 s内以10 L/min的流速进行8次深呼吸即可获得与传统预氧合技术相当的动脉血氧分压(PaO<sub>2</sub>),更大程度上延迟呼吸暂停诱导的血红蛋白脱饱和和发作,可快速进行预氧合。RAJAN等<sup>[13]</sup>对比TVB 3 min和8DB方法,结果显示:8DB组无通气安全时限平均持续时间为6.87 min,要远长于TVB组的3.47 min。8DB方法可作为接受快速顺序诱导麻醉患者的传统预氧合方法替代方案,并可用于气管插管或通气可能难以实现的其他情况。

### 2.3 正压辅助通气

高氧流量预氧合在没有呼气末正压(PEEP)的情况下,氧浓度会增加肺泡脱氮引起肺不张的风险。在全身麻醉期间应用PEEP,可使机械通气的正常肺中PEEP通气更均匀,依赖性肺区域的肺不张减少,通气/灌注匹配性更好,改善预氧合。但如果使用过高水平的PEEP,这种有益作用可被抵消,产生肺过度扩张和心血管损害。一项包含11 000多例腹部和颅内手术患者的大型回顾性研究显示,PEEP水平在5~10 cmH<sub>2</sub>O是诱导麻醉后的合理起点<sup>[14]</sup>。由于PEEP对术后呼吸系统并发症的预防作用具有剂量依赖性,且适用特定手术。后续研究应进一步探讨术中应用PEEP的水平,在手术期间为患者选择预防性PEEP水平。

使用PEEP配合的吸气正压通气(PPV)进行预氧合治疗已被证明是可行的。PEEP相关的PPV进行预氧合治疗可增加达到EtO<sub>2</sub>≥90%的患者比例<sup>[15]</sup>。在预氧合期间,面罩和患者面部之间缺乏紧密贴合,导致向内漏气,从而阻止有效的预氧合。无创正压通气和PEEP可以抵消向内的空气泄漏,确保功能残留能力中的最佳氧气储备<sup>[16]</sup>。最近一项系统性评价也表明,使用压力支持通气(PSV)+PEEP可使EtO<sub>2</sub>上升,并延长无通气安全时限<sup>[17]</sup>。这可能是一种确保预氧合有效性的方法,以提高容易向内漏气的患者在诱导麻醉期间的安全性。

持续正压通气(CPAP)的应用有助于募集肺部塌陷区域,改善氧气储备,使呼吸暂停期间的去饱和率变慢。SREEJIT等<sup>[18]</sup>研究表明,在全身麻醉诱导期应用CPAP(5 cmH<sub>2</sub>O),以100%氧气预氧合5 min,患者耐受性良好,在临床上动脉SpO<sub>2</sub>明显下降之前,无通气安全时限会明显延长。RAJAN等<sup>[19]</sup>使用面罩吸入纯氧3 min,选择应用或不应用CPAP(20 cmH<sub>2</sub>O),比较预氧合和呼吸暂停通气后呼吸暂停期间脱饱和度至90%的时间,结果与SREEJIT等<sup>[18]</sup>研究类似,且接受CPAP的患者直到12 min才脱饱和,但发生了急性呼吸性酸中毒,表现为进行性高碳酸血症。临床实践中需密切关注患者的动脉二氧化碳分压,及时发现急性呼吸性酸中毒。在快速序列诱导期间,对预期气道困难患者使用CPAP进行预氧合治疗,可延长其无通气安全时限,从而提高全身麻醉诱导期的安全性。

## 3 经鼻加湿快速充气交换通气(transnasal humidified rapid-insufflation ventilatory exchange, THRIVE)

THRIVE是一种可替代传统面罩预给氧的窒息氧合技术。THRIVE由氧流量计、空氧混合装置、加湿加湿器和鼻塞装置组成,通过向患者提供温暖的加湿高流量氧气延长无通气安全时限<sup>[20]</sup>。它能提供高达70 L/min的氧气,并且由于具有加湿作用患者耐受性良好。与面罩不同的是,THRIVE可以在整个插

管过程中提供连续的氧气供应。THRIVE 通过流量依赖性、无节律的通气交换来增强无通气安全时限的 CO<sub>2</sub> 清除率<sup>[21]</sup>。越来越多的研究证实,THRIVE 应用于儿童、肥胖患者、老年人和气道管理困难患者,具有明显改善氧合、延长无通气安全时限的作用。但有研究表明,THRIVE 具有潜在的禁忌证,包括有严重鼻塞、大量鼻出血、近期鼻外伤、近期鼻腔手术史、颅内压明显升高和颅底骨折的患者<sup>[22]</sup>。THRIVE 的优势如下:(1)提供浓度达 100%且稳定的氧气;(2)减少上气道的解剖无效腔;(3)减少鼻咽部阻力及呼吸做功;(4)通过加温湿化器可提供加温和湿化的吸入氧;(5)产生持续的正压通气(7~8 cmH<sub>2</sub>O);(6)具有肺复张作用;(7)可改善纤毛的清洁力。THRIVE 也被用于治疗轻中度呼吸衰竭的新型冠状病毒感染患者,与高流量鼻导管通气(HFNC)和普通面罩通气相比,其具有良好的氧合作用及 CO<sub>2</sub> 清除效果<sup>[23]</sup>。在全身麻醉患者预氧合时,健康成年人在吸入环境空气情况下,无通气安全时限仅为 1~2 min;而采用 THRIVE 技术,无通气安全时限可延长至 14 min,最长可达 65 min,且无 1 例发生低氧血症<sup>[24]</sup>。邱瑾等<sup>[25]</sup>认为,目前研究中应用 THRIVE 这一新技术的样本量偏小,以致部分研究结论截然相反。故未来需要更多的临床试验来检验 THRIVE 的有效性和安全性,并建立 THRIVE 技术临床运用标准,改变一人给药、一人加压面罩辅助呼吸的传统气管插管全身麻醉诱导模式。

## 4 预氧合并发症

### 4.1 肺不张

肺不张是预氧合最常见的并发症,分析其发生机制包括:(1)小气道早期闭合使远端气体吸收,尤其麻醉诱导和维持使用 100%氧气,加速了肺泡内气体吸收和肺泡塌陷;(2)全身麻醉下通气/血流(V/Q)可能偏离正常,吸入麻醉剂抑制机体的缺氧性肺血管收缩机制,使肺泡内气体加快吸收,导致肺不张。术后肺不张被认为是发生肺部并发症的危险因素,而并发症的发生可导致不良结局,如肺炎可导致发病率和死亡率上升,住院时间延长<sup>[26]</sup>。在为全身麻醉患者进行麻醉诱导时,常规给予高浓度氧气,尤其在气道困难或危重患者中,以防止低氧血症发生。而麻醉期间使用高浓度氧与术后氧量参数受损和肺不张严重程度增加有关<sup>[27]</sup>。在一项系统性评价中,LIM 等<sup>[28]</sup>比较高、低吸入氧分数(FiO<sub>2</sub>)对全身麻醉下接受非胸外科手术患者术后结局的影响,结果表明:与高 FiO<sub>2</sub>(约 80%)相比,使用低 FiO<sub>2</sub>(30%)降低了肺不张发生率,且不影响患者死亡率及其他次要结局。通过面罩对患者实施 CPAP 或者提供 PEEP 通气可以避免气道闭合和肺部依赖区域塌陷,从而预防肺不张和延长无通气安全时限。

### 4.2 胃胀气

在加压面罩通气过程中,一定程度上会向胃内注

入空气,导致胃部扩张,增加胃内容物反流和后续肺吸入的风险。胃胀气严重影响手术操作视野和手术进程,是患者全身麻醉诱导期间常见并发症<sup>[29]</sup>。胃内容物反流误吸是引起接受全身麻醉患者死亡的主要原因之一。全身麻醉诱导后,患者自主呼吸和气道自我保护功能消失,常规预氧合技术需要面罩辅助给予正压通气。CPAP 已被多项研究证明可减少胃反流。而面罩通气期间 PEEP 会使吸气峰压(PIP)升高,进一步增加胃胀气发生风险。CAJANDER 等<sup>[30]</sup>研究表明,实施面罩正压通气时不建议使用 PEEP,PIP 设定为 15 cmH<sub>2</sub>O 是安全的,最好不超过 20 cmH<sub>2</sub>O。对于存在误吸风险的患者,插管前应避免通气,建议使用快速顺序诱导(RSI)技术或使用面罩通气并施加环状肌压力。这表明对麻醉医师掌握 RSI 技术有较高要求。最近一项系统评价表明,施加环状肌压力未能降低误吸的发生风险,并可能增加插管难度<sup>[31]</sup>。GAUTIER 等<sup>[32]</sup>比较在左侧气管旁低位和环状位手动压迫食道,预防全身麻醉择期手术患者正压通气期间胃窦胀气的作用,结果表明:食道压迫可以通过在左侧气管旁低位手动施加压力实现,并且在面罩正压通气期间,比环状体施加压力更能有效地防止空气进入胃窦。但是该研究仅探讨了一次吸气压力(25 cmH<sub>2</sub>O),在较高和较低吸气压力下对胃胀气的影响尚不清楚,并且没有评估按压操作期间面罩通气或气管插管的难易程度,有待进一步探究。

## 5 小 结

在全身麻醉诱导阶段由困难插管引起的机体缺氧是国内学者关注的重要问题。预氧合在可控条件下常规进行,可安全地延长麻醉诱导时间而不对患者造成明显伤害。临床中需对不同患者个体化地使用预氧合技术,早期识别导致预吸氧失败的原因及导致的并发症,及时采取适当的措施。THRIVE 为预氧合提供了一种新方法,可提高患者麻醉期间的安全性,未来研究有待深入探讨。此外,临床工作人员须具备充分的预氧合知识和处理高风险患者的能力。

## 参考文献

- [1] 贺伟忠,杨义,闫国中,等. OPLAC 喉罩通气对 OSAS 患者全麻诱导期低氧血症的影响[J]. 中国实用医刊,2016,43(23):52-54.
- [2] 钟凤华,李冬雪,李子嘉,等. 全麻诱导期不同吸氧浓度对气管插管时无通气安全时限的影响[J]. 中华生物医学工程杂志,2018,24(4):272-277.
- [3] HOSHIIJIMA H,MIHARA T,MARUYAMA K, et al. McGrath videolaryngoscope versus Macintosh laryngoscope for tracheal intubation: a systematic review and meta-analysis with trial

- sequential analysis[J]. *J Clin Anesth*, 2018, 46: 25-32.
- [4] DE JONG A, FUTIER E, MILLOT A, et al. How to preoxygenate in operative room: healthy subjects and situations “at risk” [J]. *Ann Fr Anesth Reanim*, 2014, 33(7/8): 457-461.
- [5] FRERK C, MITCHELL V S, MCNARRY A F, et al. Difficult airway society 2015 guidelines for management of unanticipated difficult intubation in adults [J]. *Br J Anaesth*, 2015, 115(6): 827-848.
- [6] NIMMAGADDA U, SALEM M R, CRYSTAL G J. Preoxygenation: physiologic basis, benefits, and potential risks [J]. *Anesth Analg*, 2017, 124(2): 507-517.
- [7] LUMB A B. Nunn’s applied respiratory physiology eBook[M]. 8th ed. Amsterdam: Elsevier, 2017.
- [8] 闫声明, 袁田, 高巨. 全麻机械通气期间呼气末正压影响因素与个体化实施的研究进展[J]. *临床麻醉学杂志*, 2021, 37(6): 661-663.
- [9] 唐艳艳. 地氟烷与丙泊酚对老年患者应激反应及术后谵妄的影响[D]. 衡阳: 南华大学, 2020.
- [10] LAGIER D, ZENG C L, FERNANDEZ-BUSTAMANTE A, et al. Perioperative pulmonary atelectasis: part II clinical implications [J]. *Anesthesiology*, 2022, 136(1): 206-236.
- [11] RAMKUMAR V, UMESH G, PHILIP F A. Preoxygenation with 20o head-up tilt provides longer duration of non-hypoxic apnea than conventional preoxygenation in non-obese healthy adults[J]. *J Anesth*, 2011, 25(2): 189-194.
- [12] 王硕, 石碧明. 吸氧去氮技术的研究进展[J/CD]. *中华临床医师杂志(电子版)*, 2016, 10(5): 695-700.
- [13] RAJAN S, MOHAN P, PAUL J, et al. Comparison of margin of safety following two different techniques of preoxygenation[J]. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol*, 2015, 31(2): 165-168.
- [14] DE JONG M A C, LADHA K S, VIDAL MELO M F, et al. Differential effects of intraoperative positive end-expiratory pressure (PEEP) on respiratory outcome in major abdominal surgery versus craniotomy [J]. *Ann Surg*, 2016, 264(2): 362-369.
- [15] HANOUIZ J L, LAMMENS S, TASLE M, et al. Preoxygenation by spontaneous breathing or noninvasive positive pressure ventilation with and without positive end-expiratory pressure: a randomised controlled trial[J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2015, 32(12): 881-887.
- [16] HANOUIZ J L, LE GALL F, GÉRARD J L, et al. Non-invasive positive-pressure ventilation with positive end-expiratory pressure counteracts inward air leaks during preoxygenation: a randomised crossover controlled study in healthy volunteers[J]. *Br J Anaesth*, 2018, 120(4): 868-873.
- [17] BIGNAMI E, SAGLIETTI F, GIROMBELLI A, et al. Preoxygenation during induction of anaesthesia in non-critically ill patients: a systematic review[J]. *J Clin Anesth*, 2019, 52: 85-90.
- [18] SREEJIT M S, RAMKUMAR V. Effect of positive airway pressure during pre-oxygenation and induction of anaesthesia upon safe duration of apnoea [J]. *Indian J Anaesth*, 2015, 59(4): 216-221.
- [19] RAJAN S, JOSEPH N, TOSH P, et al. Effects of preoxygenation with tidal volume breathing followed by apneic oxygenation with and without continuous positive airway pressure on duration of safe apnea time and arterial blood gases [J]. *Anesth Essays Res*, 2018, 12(1): 229-233.
- [20] HERMEZ L A, SPENCE C J, PAYTON M J, 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.
- [21] 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.
- [22] 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.
- [23] VAITHIALINGAM B, SRIGANESH K. Clinical utility of trans-nasal humidified rapid insufflation ventilatory exchange (THRIVE) during awake craniotomy [J]. *Indian J Anaesth*, 2021, 65(3): 262-263.
- [24] PATEL A, NOURAEI S A R. Transnasal hu-

modified rapid-Insufflation ventilatory exchange (THRIVE): a physiological method of increasing apnoea time in patients with difficult airways[J]. *Anaesthesia*, 2015, 70(3): 323-329.

- [25] 邱瑾,段光友,陈兵,等. 经鼻湿化快速充气交换通气:一种新的窒息氧合技术[J]. *局解手术学杂志*, 2021, 30(4): 362-368.
- [26] CHU D I, AGARWAL S. Postoperative complications[M]//DOHERTY G M. *Current diagnosis & treatment: surgery*. 15th ed. New York: McGraw-Hill, 2020.
- [27] KOO C H, PARK E Y, LEE S Y, et al. The effects of intraoperative inspired Oxygen fraction on postoperative pulmonary parameters in patients with general anesthesia: a systemic review and meta-analysis[J]. *J Clin Med*, 2019, 8(5): 583.
- [28] LIM C H, HAN J Y, CHA S H, et al. Effects of high versus low inspiratory oxygen fraction on postoperative clinical outcomes in patients undergoing surgery under general anesthesia: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. *J Clin Anesth*, 2021, 75: 110461.

- [29] ZHANG Q F, ZHOU Q H, ZHANG J F, et al. Gentle facemask ventilation during induction of anesthesia[J]. *Am J Emerg Med*, 2020, 38(6): 1137-1140.
- [30] CAJANDER P, EDMARK L, AHLSTRAND R, et al. Effect of positive end-expiratory pressure on gastric insufflation during induction of anaesthesia when using pressure-controlled ventilation via a face mask: a randomised controlled trial[J]. *Eur J Anaesthesiol*, 2019, 36(9): 625-632.
- [31] WHITE L, THANG C, HODSDON A, et al. Cricoid pressure during intubation: A systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials[J]. *Heart Lung*, 2020, 49(2): 175-180.
- [32] GAUTIER N, DANKLOU J, BRICHANT J F, et al. The effect of force applied to the left paratracheal oesophagus on air entry into the gastric antrum during positive-pressure ventilation using a facemask[J]. *Anaesthesia*, 2019, 74(1): 22-28.

(收稿日期: 2022-06-08 修回日期: 2023-01-12)

(上接第 1427 页)

al. Application of Ilizarov transverse tibial bone transport and microcirculation reconstruction in the treatment of chronic ischemic diseases in lower limbs[J]. *Exp Ther Med*, 2018, 16(2): 1355-1359.

- [26] 朱跃良,浦绍全,夏桑,等. Ilizarov 微循环重建技术在创伤后缺血性肢体创面修复中的初步应用[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2020, 34(8): 974-978.
- [27] 董书男,黄东,祝李霖,等. 封闭式负压引流联合胫骨横向骨搬移术治疗难治性糖尿病足[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2020, 34(7): 869-873.
- [28] 余杰,花奇凯,邝晓聪,等. 胫骨横向骨搬移联合牛鼻子引流术治疗重度糖尿病足溃疡[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2021, 35(8): 984-988.
- [29] JOHNSON M J, SHUMWAY N, BIVINS M, et al. Outcomes of limb-sparing surgery for osteomyelitis in the diabetic foot: importance of the histopathologic margin [J/OL]. *Open Forum Infectious Diseases*, 2019, 6(10): ofz382 [2022-07-11]. <https://doi.org/10.1093/ofid/ofz382>.

- [30] 林震迅. 胫骨横向骨搬移术治疗足部骨髓炎 100 例疗效分析[D]. 南宁: 广西医科大学, 2018.
- [31] MIRAJ F, NUGROHO A, DALITAN I M, et al. The efficacy of ilizarov method for management of long tibial bone and soft tissue defect [J]. *Ann Med Surg (Lond)*, 2021, 68: 102645.
- [32] 王栋,张永红,贺国宇,等. 胫骨横向骨搬移术结合抗生素骨水泥治疗下肢慢性缺血性疾病伴足踝部慢性感染[J]. *中国修复重建外科杂志*, 2020, 34(8): 979-984.
- [33] HOSNY G A, SINGER M S, HUSSEIN M A, et al. Refracture after Ilizarov fixation of infected ununited tibial fractures-an analysis of eight hundred and twelve cases[J]. *Int Orthop*, 2021, 45(8): 2141-2147.
- [34] BLIVEN E K, GREINWALD M, HACKL S, et al. External fixation of the lower extremities: biomechanical perspective and recent innovations[J]. *Injury*, 2019, 50(Suppl. 1): 10-17.

(收稿日期: 2022-10-18 修回日期: 2022-12-28)