

## 止血带在全膝关节置换术快速康复中的应用

冯海萍, 郝德霞, 刘小钰, 解 骏, 许明岚

(上海市光华中西医结合医院 手术室, 上海, 200052)

**摘要:** 全膝关节置换术(TKA)是膝骨关节疾病的终末期治疗方法,止血带作为该术中常用的止血方法,其优点是可有效减少术中出血、优化骨水泥固定,且提供清晰的术野。然而也伴随着缺血再灌注不足和深静脉血栓等风险。随着加速康复外科理念(ERAS)的深入,止血带在膝置换术中的使用也引发了诸多讨论。本研究通过文献综述的方法,围绕TKA止血带使用的循证依据、潜在并发症及其防控策略展开系统分析,旨在为制定符合ERAS原则的个体化止血带管理方案提供参考。

**关键词:** 止血带; 全膝关节置换术; 加速康复外科; 围手术期; 深静脉血栓形成

**中图分类号:** R 473.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 2709-1961(2025)07-0204-07

## Application of tourniquet in enhance recovery after total knee arthroplasty

FENG Haiping, HAO Dexia, LIU Xiaoyu, XIE Jun, XU Minglan

(Operating Room, Shanghai Guanghua Hospital of Integrated Traditional Chinese and Western Medicine, Shanghai, 200052)

**ABSTRACT:** Total knee arthroplasty (TKA) is an end-stage treatment options for patients with osteoarthritic disorders of the knee. The tourniquet, a commonly used method of hemostasis, has the advantage of effectively reducing intraoperative bleeding, optimizing cemented fixation, and providing a clear operative field. However, it is also accompanied by risks such as insufficient ischemia reperfusion and deep vein thrombosis. With the concept of Enhanced Recovery After Surgery (ERAS), the use of tourniquets in knee replacement has generated much discussion. In this study, a systematic analysis of the evidence-based use of TKA tourniquet, its potential complications, and its prevention and control strategies was carried out by literature review, aiming to provide a reference for the development of an individualized tourniquet management plan in accordance with the principles of ERAS.

**KEY WORDS:** tourniquets; total knee arthroplasty; enhance recovery after surgery; perioperative period; deep vein thrombosis development

加速康复外科(ERAS)理念最早由 Kehlet<sup>[1]</sup>教授提出,其核心在于围术期运用已证实有效的干预措施,以降低手术创伤引发的应激反应,减少并发症,提高手术安全性和患者满意度,从而实现加速康复的目标<sup>[1]</sup>。在ERAS框架下,止血带的优化使用已成为全膝关节置换术(TKA)围术期管理的重要议题。

TKA被认为是治疗终末期膝骨关节疾病的

有效方法。在TKA手术中,止血带因其可减少术中失血、提供清晰术野并优化骨水泥的固定而被广泛应用。然而,止血带相关并发症如术后疼痛加剧、股四头肌功能延迟恢复及深静脉血栓(DVT)风险上升等,可能影响患者的术后康复。随着ERAS理念的深入推广,如何在保障手术质量的同时,最小化止血带的不良影响,已成为临床关注焦点。

收稿日期:2025-05-26

基金项目:2024年度长宁区医疗卫生科研专项课题(CNKW2024Y23)

鉴于膝关节解剖结构复杂、血供丰富,目前TKA术中止血带的压力标准未形成共识,临床决策多依赖术者经验。尽管已有研究探索了多种止血带使用策略,但结论不一,争议犹存。因此,系统梳理现有证据,明确止血带应用的获益与风险,并总结降低相关并发症的有效措施,对推动ERAS在TKA中的精准实施具有重要意义。本研究拟通过文献综述的方法,围绕TKA止血带使用的循证依据、潜在并发症及其防控策略展开系统分析,旨在为制定符合ERAS原则的个体化止血带管理方案提供参考。

## 1 止血带的优势

止血带在TKA手术中的主要优势包括提供清晰的手术视野、减少术中出血、缩短手术时间以及优化骨水泥固定。

### 1.1 手术视野与手术效率

充气止血带通过阻断动脉血流,显著减少截骨面及软组织渗血,为术者提供操作视野,从而简化电凝、冲洗等止血步骤,缩短手术时间。Yi等<sup>[2]</sup>在一项荟萃分析中报告,采用止血带的TKA手术时间显著缩短了5.01 min。Zak等<sup>[3]</sup>也报道了使用止血带的手术时间减少了4.9 min。尽管绝对时间差异有限,但已有研究<sup>[4]</sup>提示,这种差异与术后需要再次手术的其他并发症(如感染)增加存在相关性。

### 1.2 术中失血控制

TKA术中,软组织松解和截骨等操作造成的创伤较大,失血量相对较多,因此减少失血是止血带应用的另一个关键因素。研究<sup>[5]</sup>表明,止血带的使用显著降低了术中出血量。一项纳入200例患者的前瞻性双盲随机对照试验发现,常规使用止血带不仅可以使手术视野更加清晰,还能有效减少了手术失血量,并且对术后疼痛和功能恢复没有产生不良影响,并发现止血带组患者在术后4~6周的膝关节伸直功能甚至优于未使用止血带的对照组<sup>[5]</sup>。McCarthy Deering等<sup>[6]</sup>的Meta分析研究同样发现,止血带组与非止血带组在TKA术后膝关节疼痛、活动度及住院时间方面的差异均无统计学意义。

### 1.3 优化骨水泥-骨界面质量

止血带的使用能够在假体安装时保持骨截面的清洁,促进骨水泥充分渗入松质骨,进而增强骨水泥与截骨面的结合稳定性,降低术后无菌性假

体松动的风险。体外实验及临床研究均支持该假设:一项生物力学研究<sup>[7]</sup>证实,止血带的使用改善了骨水泥与骨界面的结合强度,从而提高了假体的稳定性;一项关于骨水泥质量与止血带使用的研究<sup>[8]</sup>也显示,使用止血带的手术比不使用止血带的能获得更好的骨水泥胶结质量。然而,也有研究<sup>[9]</sup>指出,在不使用止血带的情况下,同样能够实现良好的骨水泥固定,并且止血带与非止血带组在首次TKA术后五年的翻修率上并无显著差异。由此可见,止血带对远期假体生存率的影响仍需进一步验证。

## 2 止血带的风险

尽管止血带可在短期内优化手术条件,但其带来的机械压迫与缺血-再灌注损伤可能引发一系列围术期并发症。止血带的应用会对下肢施加巨大的机械压力,压迫皮肤、肌肉、神经和血管,导致缺血现象。研究<sup>[10]</sup>显示,止血带的使用会加剧术后疼痛和DVT的发生风险,并增加术后感染的发生率<sup>[11]</sup>。此外,还可能引起神经损伤、软组织脂肪坏死,以及手术期间影响股四头肌功能的髌骨股骨畸形<sup>[12]</sup>。尤其在老年患者中,止血带的使用与术后疼痛及功能恢复延迟显著相关<sup>[13]</sup>。鉴于上述风险,部分学者主张摒弃“一刀切”式常规使用,而应根据患者合并症、术式复杂性及出血风险评估,制定个体化止血带策略。

### 2.1 缺血再灌注损伤

止血带通过机械压迫阻断动脉充盈与静脉回流,从而导致血液循环受阻,患肢处于急性缺血、缺氧状态;松带后血流恢复,触发典型的缺血-再灌注级联反应。在这一病理过程中,局部骨骼肌的功能、循环系统及相关远端组织器官的功能因局部炎性细胞因子和氧自由基的大量释放而受到不同程度的影响<sup>[14]</sup>。Hocker等<sup>[15]</sup>研究发现,在TKA术中使用止血带时,通过活检观察到股外侧肌内质网应激反应显著增加,提示止血带诱导的缺血-再灌注过程的发生。当止血带使用时间少于15 min时,缺血组织主要会出现非代谢性变化或轻微的炎症反应。然而,随着止血带使用时间的延长,再灌注后炎症因子的水平会显著升高。当止血带使用时间超过45 min时,大量炎症因子会被释放。此外,止血带下方的缺血组织中炎症标志物的升高程度明显高于止血带远端缺血组织中的炎症标志物<sup>[16]</sup>。但也有研究<sup>[17]</sup>显示,虽然较

长的止血带使用时间对局部组织造成的损伤远大于较短时间的影响,但这种炎症反应和细胞损伤是可逆的,止血带使用时间越短,组织恢复的速度越快。

## 2.2 深静脉血栓形成(DVT)

TKA术后DVT属多因素事件,其中止血带使用因直接压迫静脉壁并诱发血流淤滞,被视为潜在风险因素之一。需指出,拟行TKA的患者术前常已处于高凝状态,74%的患者术前D-二聚体水平超出正常上限,其中62%位于1倍上限以内,38%高于1倍上限。因此,对于已在手术中使用止血带的患者来说,目前临床普遍采取术后物理方法和药物措施来预防深静脉血栓。

然而,现有证据并不一致,一项研究<sup>[12]</sup>发现,在TKA患者中,无论是否使用止血带,DVT的发生率并未显示出统计学意义。止血带并非DVT的独立决定因素,肥胖、手术创伤程度、既往静脉血栓史、肿瘤及慢性炎症等混杂变量同样发挥重要作用。由此可见,止血带可能通过血流动力学改变参与DVT发生,但其独立贡献度仍需控制混杂因素的大样本、多中心研究中进一步阐明。

## 2.3 增加术后隐性失血

TKA围术期失血量,减少出血有助于降低输血需求及相关并发症风险。当前临床常用的血液保护策略包括如氨甲环酸、控制性低血压麻醉以及止血带。然而,关于止血带对总失血量的影响仍存在争议。

研究<sup>[18]</sup>显示,非止血带组可能比使用止血带的组更容易发现出血并进行相应处理,因此止血带的使用可能仅在术中减少了出血量,而对术后出血、总失血量或输血需求的影响有待进一步明确。出现这种情况的原因可能在于,止血带的使用增强了纤溶活性,尽管这种增强的纤溶活性仅持续约30 min,但仍然可能导致止血带释放后失血量增加<sup>[2]</sup>。在临床实践中,虽然止血带可以有效地减少手术中出血,但其对术后出血和输血需求的影响仍需谨慎评估。不同患者的个体差异和具体手术情况也可能影响到出血的情况和止血带的使用效果。

## 2.4 术后肢体肿胀和疼痛

TKA术后膝关节疼痛和肿胀是常见的临床表现。缺血再灌注造成的内皮细胞损伤可能会加剧疼痛,而患肢的反应性充血则可能导致肢体的肿胀,这被视为止血带使用的一个潜在不良反应。

Xie等<sup>[19]</sup>和Ajinin等<sup>[20]</sup>指出,使用止血带的TKA患者,其肢体肿胀显著增加。此外,止血带所引发的短暂性缺血可能成为疼痛和炎症介质产生的一个重要来源。有研究<sup>[21]</sup>表明,未使用止血带的患者在术后最初几天对镇痛药物的需求较少。同时,较高的止血带压力和延长的止血带使用时间与术后疼痛加重存在相关性<sup>[22]</sup>。缩短止血带的使用时间,能够有效减少术后的疼痛、肿胀以及止血带部位的皮肤并发症<sup>[5]</sup>。研究<sup>[23]</sup>显示,肌肉和皮肤的长期缺氧缺血可能引发局部炎症因子的释放,而局部灌注后则导致血管充血和水肿,进而进一步加重止血带部位的疼痛和肿胀。在某些患者中,止血带对局部皮肤、肌肉等组织的缺血性损伤逐渐加重,甚至可能出现局部皮肤张力水泡等并发症。这些现象提示,在临床应用中,应更加谨慎地使用止血带,以降低术后不良反应的发生率。

## 2.5 导致感染和伤口愈合延迟

手术部位感染与使用止血带也有相关性。一项荟萃分析显示,在TKA中使用止血带与感染风险增加有关<sup>[24]</sup>。止血带的压力过大或使用时间过长都可能导致腿部血液循环减少,阻碍抗生素在切口周围组织的分布,影响止血带充气期间使用抗生素预防的有效性。基于上述证据,有学者主张将止血带使用限制于植入物的粘合过程,在手术过程中尽量减少止血带的使用,以最大限度降低感染风险<sup>[25]</sup>。

## 2.5 影响术后关节功能恢复

Guler等<sup>[26]</sup>也通过MRI比较使用止血带和不使用止血带的股四头肌体积发现,在TKA中使用止血带可以减少股四头肌的肌肉体积,影响膝关节功能的恢复,从而延缓了物理治疗的进展。但也有研究<sup>[27]</sup>通过采用超声和横波弹性成像(SWE)的方法,从形态学上评价止血带对股四头肌的厚度的影响,得出止血带组与非止血带组在股四头肌厚度上无明显差异,但止血带组股四头肌厚度有增高的趋势。研究认为大约60~70 min有限的止血带时间,可能不足以对股四头肌造成明显的损伤。对于在TKA术中全程或长时间使用止血带的患者,普遍观察到在术后3个月内进行患肢功能锻炼时,其股四头肌力量明显低于未使用止血带的患者<sup>[28]</sup>。此外,使用止血带的患者在关节活动度和关节稳定性方面也逊色于未使用止血带的患者。因此,有研究建议应限制止血带在TKA中的使用时间。然而,另有研究<sup>[29]</sup>指出,

尽管在术后3个月内使用止血带与不使用止血带的患者在膝关节KSS评分和KOOS评分上存在显著差异,但随着随访时间的延长至3个月至5年,这种差异则逐渐消失。

### 2.6 其他严重并发症

尽管现代TKA采用规范化止血带管理,偶发的灾难性并发症仍见诸报道。最新系统综述指出,止血带充气-松懈循环可触发肺水肿、急性肾功能衰竭、肺栓塞等全身性事件,亦可导致横纹肌溶解、永久性肢体瘫痪、周围神经损伤、急性动脉血栓或缺血以及筋膜室综合征等严重的永久性功能障碍<sup>[30]</sup>。

## 3 减少止血带不良后果的相关措施

为在保障手术视野与控制出血的同时,最大限度减少止血带所致并发症,近年研究提出了以下循证优化策略:首先,个性化止血带压力的应用可以有效降低神经损伤和皮肤问题发生的风险<sup>[30]</sup>。其次,缩短止血带的使用时间,例如在骨水泥固定后立即释放止血带,可以减少术后大腿疼痛和肌肉功能恢复的延迟<sup>[5]</sup>。此外,联合使用氨甲环酸也被证实能够进一步减少术后出血和输血需求,从而改善患者的术后恢复情况<sup>[7]</sup>。这些策略的综合运用,有助于提高手术的安全性和患者的术后体验。

### 3.1 止血带压力的选择

止血带压力的设定对于手术的顺利进行至关重要。压力不足时,动脉血流仍可灌注,仅阻断静脉回流,无法达到止血效果;而若充气压力过高,则可能对神经造成损伤,导致患者出现不可逆的伤害。长期使用高压力的止血带可能引发再灌注损伤,造成患肢肿胀、疼痛和局部麻痹等不良反应。

研究表明,在低于225 mm Hg的止血带压力下,患者出现大腿张力性水泡等皮肤并发症及其他围手术期并发症的发生率明显降低。在止血带压力的选择上,通常是根据患者的年龄、血压值和止血带宽度等因素来决定所用的压力。临床上通常采用较低的止血带压力,以降低术后疼痛和并发症的风险,一般是根据患者的收缩压加100 mm Hg来设定止血带袖带压力。一项Meta分析显示,下肢气压止血带加压37.5 mm Hg以上即可有效止血,因此在TKA中建议气压止血带的适宜压力为收缩压加压45~100 mm Hg<sup>[6]</sup>。但

是根据血压值来调整止血带压力的方式可能会由于术中血压变化而导致标准差异较大<sup>[31]</sup>。此外,采用超声指导的方式来设定止血带压力值,不仅能够确保止血效果,还能有效降低不良反应,提高安全性,为患者提供最佳的个体化止血带压力值,从而对术后恢复产生积极影响。

### 3.2 止血带使用时间

研究<sup>[17]</sup>表明,止血带的使用时间是术后恢复速度的重要决定因素。长时间的止血带压迫可能会损伤血管内皮,激活纤维蛋白系统。在解除止血带后,隐性失血的风险增加,而局部隐性失血与再灌注损伤可能会导致显著的氧化应激、炎症反应及组织坏死。促炎细胞因子如TNF- $\alpha$ 、CCL2、IL-6、PTX3、SOD1、PGE2和肌红蛋白(Mb)的升高,会促进毛细血管扩张和通透性增强,同时引发炎症细胞的浸润和渗出,从而导致严重的充血和急性炎性水肿。这些反应不仅加剧了关节的疼痛与肿胀,还会影响患者的功能锻炼,进而不利于膝关节功能的恢复。因此,缩短止血带的使用时间显得尤为必要。

目前,临床上常用的止血带应用策略包括:①手术全程:止血带从手术开始使用,直到患肢用弹力绷带包扎完毕;②手术上半程:在假体安装完成后立即松开止血带;③手术下半程:止血带从截骨开始使用,直到患肢用弹力绷带包扎;④手术中间:仅在使用骨水泥时应用止血带。全程使用止血带可能会导致术后显性失血量增加,并且是术后疼痛和肿胀的重要原因<sup>[17]</sup>。Huang等<sup>[32]</sup>的研究也表明,全程使用止血带会导致更多的炎症反应和肌肉损伤,而仅在使用骨水泥的8~10 min内使用止血带可以改善术后大腿疼痛和股四头肌功能<sup>[33-34]</sup>。因此,近年来,骨科医生越来越倾向于不使用止血带,或者仅在骨水泥的应用期间使用止血带。

此外,上半程应用止血带的优势在于能够更有效地控制术中出血和止血。这一现象的原因在于止血带的压迫作用可以阻止小血管的血液渗出,从而在术中减少出血。然而,一旦松开止血带,受损的小血管会恢复血流,导致术后引流量明显增加。在没有使用止血带的情况下,外科医生能够对术区明显的出血点进行电凝止血,并配合纱布进行压迫止血。国外有专家推荐初次使用止血带时长可达120 min,但再次使用间隔时长,推荐为10~15 min<sup>[34]</sup>。根据2020年发表的《气压止

血带在四肢手术中应用的专家共识》建议: 上肢使用 60 min, 下肢使用 90 min, 如需再次使用止血带, 中间应间隔 15 min, 并相应缩短第二次使用时间。

### 3.3 结合其他措施

术中控制性降压以及应用氨甲环酸等方法有助于减少术中及术后的失血量和输血需求<sup>[35]</sup>。在临床实践中, 氨甲环酸越来越多地被采用作为在 TKA 手术期间减少围手术期出血的有效策略。研究<sup>[7]</sup>证实, 使用氨甲环酸可以显著降低失血量和输血需求, 同时不会增加静脉血栓事件的发生风险。

## 4 小结

止血带在 TKA 中的应用具有明显优势, 但同时也伴随一系列潜在不良反应。在 2018 年美国髌关节和膝关节外科医生协会会议上, 成员们被询问了对止血带使用的偏好。调查结果显示, 关于止血带在 TKA 手术中的应用, 25% 的外科医生表示在所有病例中均使用止血带, 48% 的外科医生则是在除血管问题患者之外的所有病例中使用止血带, 14% 的外科医生仅在手术暴露和骨水泥阶段使用止血带, 而有 12% 的受访者表示在任何情况下均未使用止血带<sup>[36]</sup>。在无合并症的患者中, 合理使用止血带通常被视为安全的, 并且不会引发严重的并发症。根据现有证据, 常规的初次 TKA 围术期并不一定需要依赖止血带作为主要的血液管理措施。然而, 对于一些复杂的 TKA 病例或关节翻修手术, 这类手术预计会有较大程度的术中失血, 并且对手术视野的清晰度要求较高, 因此使用止血带的决策变得更加复杂。基于此, 外科医生需要仔细权衡止血带可能带来的潜在益处与其对术后恢复和并发症风险的影响, 同时综合考虑患者的具体情况及手术的预期结果, 制定个体化止血带策略。

综上所述, 止血带在 TKA 中的应用仍需通过更多的大型多中心随机对照试验进行深入研究, 以便形成更加系统和可靠的临床指南。未来的研究应进一步探索止血带在 TKA 中的最佳应用策略, 优化患者的术后康复效果。这不仅有助于提高 TKA 手术的安全性和有效性, 也为推动外科领域的持续进步和促进患者快速康复提供了重要的科学依据。

## 参考文献

- [1] KEHLET H, WILMORE D W. Multimodal strategies to improve surgical outcome [J]. *Am J Surg*, 2002, 183(6): 630-641.
- [2] YI S X, TAN J X, CHEN C, et al. The use of pneumatic tourniquet in total knee arthroplasty: a meta-analysis [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2014, 134(10): 1469-1476.
- [3] ZAK S G, YEROUSHALMI D, LONG W J, et al. Does the use of a tourniquet influence outcomes in total knee arthroplasty: a randomized controlled trial [J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36(7): 2492-2496.
- [4] SINGH V, ROBIN J X, FIEDLER B, et al. Tourniquet use is associated with reduced blood loss and fewer reoperations in aseptic revision total knee arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2022, 37(8S): S947-S953.
- [5] WU W B, CAO L, SUN K, et al. Comparing different timings of tourniquet application in total knee arthroplasty: effects on postoperative pain and bone cement interface [J]. *J Orthop Surg Res*, 2025, 20(1): 59.
- [6] MCCARTHY DEERING E, HU S Y, ABDULKARIM A. Does tourniquet use in TKA increase postoperative pain? A systematic review and meta-analysis [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2019, 477(3): 547-558.
- [7] SUN C J, ZHANG X F, MA Q, et al. Impact of tourniquet during total knee arthroplasty when tranexamic acid was used: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *J Orthop Surg Res*, 2022, 17(1): 18.
- [8] HEGDE V, BRACEY D N, JOHNSON R M, et al. Tourniquet use improves cement penetration and reduces radiolucent line progression at 5 years after total knee arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36(7S): S209-S214.
- [9] HOFFMANN J, JANSEN J A, BÉNARD M R, et al. Mid-term effect of total knee arthroplasty with and without tourniquet use on prosthesis survival, complications and functional outcome: a prospective cohort study of 511 total knee arthroplasties [J]. *Knee*, 2023, 41: 18-28.
- [10] BECKERS G, MAZY D, MANCHE E, et al. Impact of tourniquet use in total knee arthroplasty on functional recovery and postoperative pain: a prospective study [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2024, 144(3): 1361-1367.

- [11] TEKIELA N, SMOLIK A, TABOR M. Comparison of the outcomes of total knee arthroplasty (TKA): tourniquet and tourniquet-less arthroplasty [J]. *Ortop Traumatol Rehabil*, 2024, 26 (3): 93–98.
- [12] ALBAYRAK M, UGUR F. With or without a tourniquet? A comparative study on total knee replacement surgery in patients without comorbidities [J]. *Medicina*, 2023, 59(7): 1196.
- [13] ZHAO J, DONG X, ZHANG Z R, et al. Association of use of tourniquets during total knee arthroplasty in the elderly patients with post-operative pain and return to function [J]. *Front Public Health*, 2022, 10: 825408.
- [14] ZHANG C F, YAN C H, CHAN P K, et al. A randomized controlled study on the use of tourniquet in primary total knee arthroplasty [J]. *J Knee Surg*, 2022, 35(6): 698–706.
- [15] HOCKER A D, BOILEAU R M, LANTZ B A, et al. Endoplasmic reticulum stress activation during total knee arthroplasty [J]. *Physiol Rep*, 2013, 1(3): e00052.
- [16] RASMUSSEN L E, HOLM H A, KRISTENSEN P W, et al. Tourniquet time in total knee arthroplasty [J]. *Knee*, 2018, 25(2): 306–313.
- [17] CAO Q G, HE Z W, FAN Y F, et al. Effects of tourniquet application on enhanced recovery after surgery (ERAS) and ischemia-reperfusion post-total knee arthroplasty: Full- versus second half-course application [J]. *J Orthop Surg*, 2020, 28 (1): 2309499019896026.
- [18] XU X J, WANG C, SONG Q S, et al. Tourniquet use benefits to reduce intraoperative blood loss in patients receiving total knee arthroplasty for osteoarthritis: an updated meta-analysis with trial sequential analysis [J]. *J Orthop Surg*, 2023, 31 (2): 10225536231191607.
- [19] XIE J, YU H, WANG F Y, et al. A comparison of thrombosis in total knee arthroplasty with and without a tourniquet: a meta-analysis of randomized controlled trials [J]. *J Orthop Surg Res*, 2021, 16 (1): 408.
- [20] AJNIN S, FERNANDES R. Reduced length of stay and faster recovery after total knee arthroplasty without the use of tourniquet [J]. *J Clin Orthop Trauma*, 2020, 11(1): 129–132.
- [21] DANOFF J R, GOEL R, SUTTON R, et al. How much pain is significant? defining the minimal clinically important difference for the visual analog scale for pain after total joint arthroplasty [J]. *J Arthroplasty*, 2018, 33(7S): S71–S75. e2.
- [22] PINSORNSAK P, PINITCHANON P, BOON-TANAPIBUL K. Effect of different tourniquet pressure on postoperative pain and complications after total knee arthroplasty: a prospective, randomized controlled trial [J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36(5): 1638–1644.
- [23] CAO Q G, WU Q, LIU Y, et al. Effects of tourniquet application on faster recovery after surgery and ischemia-reperfusion post-total knee arthroplasty, cementation through closure versus full-course and nontourniquet group [J]. *J Knee Surg*, 2022, 35 (14): 1577–1586.
- [24] MAGAN A A, DUNSEATH O, ARMONIS P, et al. Tourniquet use in total knee arthroplasty and the risk of infection: a meta-analysis of randomised controlled trials [J]. *J Exp Orthop*, 2022, 9(1): 62.
- [25] MONTREUIL J, TANZER M, ZHANG Y L, et al. Tourniquet use and local tissue concentrations of ceftazolin during total knee arthroplasty: a randomized clinical trial [J]. *JAMA Netw Open*, 2024, 7(8): e2429702.
- [26] GULER O, MAHIROGULLARI M, ISYAR M, et al. Comparison of quadriceps muscle volume after unilateral total knee arthroplasty with and without tourniquet use [J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016, 24(8): 2595–2605.
- [27] DONG Z Y, LI Y, XUE H, et al. Tourniquet effect on patients undergoing total knee arthroplasty: a single-blind, randomized controlled trial [J]. *Orthop Surg*, 2024, 16(11): 2714–2721.
- [28] DENNIS D A, KITTELSON A J, YANG C C, et al. Does tourniquet use in TKA affect recovery of lower extremity strength and function? A randomized trial [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2016, 474(1): 69–77.
- [29] HAMAWANDI S A, AMIN H I, AL-HUMAIRI A K. Effects of the use of tourniquet in total knee arthroplasty on the clinical and functional outcomes with 5 years of follow-up: a randomized controlled trial [J]. *J Knee Surg*, 2023, 36(2): 222–230.
- [30] WU J, FU Q W, LI H B, et al. An alternative method for personalized tourniquet pressure in total knee arthroplasty: a prospective randomized and controlled study [J]. *Sci Rep*, 2022, 12(1): 9652.
- [31] SALARI P, BALATO G, CAVALLO G, et al. A

- staged use of tourniquet does not influence the fast-track recovery after total knee arthroplasty: a prospective randomized study[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2024, 144(11): 4677-4684.
- [32] HUANG Z Y, PEI F X, MA J, et al. Comparison of three different tourniquet application strategies for minimally invasive total knee arthroplasty: a prospective non-randomized clinical trial [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2014, 134(4): 561-570.
- [33] BECKERS G, MAZY D, MANCHE E, et al. Impact of tourniquet use in total knee arthroplasty on functional recovery and postoperative pain: a prospective study [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2024, 144(3): 1361-1367.
- [34] Guideline quick view: pneumatic tourniquet [J]. *AORN J*, 2019, 109(2): 266-269.
- [35] LU Q, PENG H, ZHOU G J, et al. Perioperative blood management strategies for total knee arthroplasty[J]. *Orthop Surg*, 2018, 10(1): 8-16.
- [36] ABDEL M P, MICHAEL MENEGHINI R, BERRY D J. Current practice trends in primary hip and knee arthroplasties among members of the American association of hip and knee surgeons: an update during the COVID-19 pandemic[J]. *J Arthroplasty*, 2021, 36(7S): S40-S44. e3.