

# 镜下前交叉韧带重建术中止血带应用的探讨

谭登辉, 闵楚惟, 黄辉, 谷文光

哈尔滨医科大学附属第一医院关节与运动医学科, 黑龙江 哈尔滨 150001

**摘要:** 随着人们运动意识水平的增强和社会交通的快速发展, 关节损伤患者的数量也大幅增加, 而前交叉韧带 (ACL) 损伤是关节损伤中最常见的韧带损伤。目前治疗 ACL 损伤的标准手术方式是在关节镜下使用止血带进行前交叉韧带重建手术 (ACLR), 在 ACLR 中使用止血带可以减少患者出血, 为术者提供一个清晰的手术视野, 可为手术提供极大的便利, 但止血带的使用并非没有弊端, 在骨科快速康复趋势以及患者对术后康复要求提高的情况下, 止血带使用所带来的并发症引起了越来越多的关注, 为降低止血带并发症的发生, 提高患者术后舒适度, 加速康复进程, 学者们不断探索如何精准安全的使用止血带。本文为止血带在关节镜下 ACLR 术中的应用现状、利弊以及应用趋势等作一综述。

**关键词:** 关节镜; 前交叉韧带; 前交叉韧带重建; 止血带

**中图分类号:** R686.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-8182(2022)01-0124-05

## Tourniquet use during anterior cruciate ligament reconstruction under arthroscopy

TAN Deng-hui, MIN Chu-wei, HUANG Hui, GU Wen-guang

Department of Joint Surgery and Sports Medicine, The First Affiliated Hospital of Harbin Medical University, Harbin, Heilongjiang 150001, China

Corresponding author: GU Wen-guang, E-mail: wgggu@hotmail.com

**Abstract:** With the increase of people's awareness of sports and the rapid development of social transportation, the number of patients with joint injury has also increased significantly, and anterior cruciate ligament (ACL) injury is the most common ligament injuries. The standard surgical method for ACL injury is to use tourniquet for anterior cruciate ligament reconstruction (ACLR) under arthroscopy. Using tourniquet in ACLR can reduce intraoperative bleeding, remain a surgeon's field of clear vision and provide great convenience for the operation. However, with the trend of rapid rehabilitation in orthopedics and the improvement of patients' requirements for postoperative rehabilitation, the complications caused by using tourniquet during operation have attracted more and more attention. In order to reduce the occurrence of tourniquet complications, improve postoperative comfort and accelerate the rehabilitation process, the scholars continue to explore how to use tourniquet accurately and safely. This paper reviews the application status, advantages, disadvantages and application trend of tourniquet in arthroscopic ACLR.

**Keywords:** Arthroscopy; Anterior cruciate ligament; Anterior cruciate ligament reconstruction; Tourniquet

前交叉韧带 (anterior cruciate ligament, ACL) 是膝关节内最容易损伤的韧带之一, 其穿行于膝关节内, 向下连接胫骨髁间隆起前方, 向上止于股骨外侧髁内侧面, 是限制胫骨前移的主要约束力<sup>[1]</sup>。近年来, 我国因交通事故和运动损伤造成的 ACL 损伤人数大幅增多<sup>[2]</sup>, 一旦确认 ACL 断裂需行 ACL 重建术 (anterior cruciate ligament reconstruction, ACLR), 关节镜手术因微创、安全等优点已成为 ACLR 的标准手术方式, 骨科医生手术时为减少出血并获得清晰的手术视野常使用止血带, 但因其使用引起的局部肌肉组织疼痛、神经麻痹、局部缺血再灌注损伤等一系列并发症越来越受到人们的关注<sup>[1, 3-5]</sup>, 这使止血带在 ACLR 中的应用存在争议。本文概述止血带在关节镜

下 ACLR 术中的应用现状、利弊以及应用趋势。

### 1 止血带的现状及在 ACLR 中的应用

1.1 止血带 1864 年 Joseph Lister 首次使用止血带创造出一个无血的外科手术区域, 此后 Harvey Cushing 推出了第一个气动止血带, 从而可以监测和手动控制止血带压力, 从那时起气动止血带被用于择期手术, 以减少术中失血和提高手术视野能见度<sup>[1]</sup>。长期以来, 骨科医生在肢体手术中使用止血带来减少术中出血, 获得清晰的手术视野<sup>[3-4]</sup>, 虽然止血带的使用已有悠久的历史, 但止血带的便利一定要和其风险相权衡。尽管专家建议止血带压力在上肢高于收缩压 50 mm Hg, 下肢

高于收缩压 100 mm Hg, 上肢使用持续时间 60 min, 下肢使用持续时间 90 min<sup>[3]</sup>, 但目前止血带的使用仍缺乏明确标准, 通常不存在止血带使用的固定标准, 决定权常在于外科医生, 该决定主要基于个人习惯和几个因素, 包括手术时间、技术难度、失血量以及身体受伤部位等<sup>[6]</sup>。一项针对住院医师和手术助理医师的调查中使用了问卷评估了他们对止血带的了解, 问卷内容包括正确的止血带袖带尺寸和止血带形状、禁忌证、安全充气时间等, 住院医师平均测试分数是 41.3%, 而助理是 46.7%<sup>[6]</sup>, 这表明医师对止血带知识的了解仍不足。

**1.2 止血带在 ACLR 中的应用现状** ACL 断裂是运动者中常见的毁灭性膝关节韧带损伤, 仅在美国每年就进行 90 000 例 ACLR 术<sup>[1]</sup>, 国内 ACL 损伤也很常见, 每年发病 10 万~20 万例<sup>[2]</sup>。ACL 是维持膝关节稳定性的重要结构, 损伤后将会引起膝关节慢性不稳, 容易导致膝关节内其他结构的合并损伤或二次损伤<sup>[7]</sup>。因此一旦确诊 ACL 断裂需行镜下重建手术, 否则将造成膝关节更严重的损伤。ACL 重建的目的是恢复正常膝关节解剖和功能, 重建膝关节生物力学稳态, 预防骨关节炎发生, 最大限度提高膝关节功能, 使患者恢复到受伤前的体力活动水平<sup>[8-10]</sup>。骨科医生普遍习惯在 ACLR 中选择常规使用止血带, 以减少患者术中出血和提高术中能见度<sup>[11-12]</sup>, 在瑞典最近一次对 ACLR 的全国性调查中发现几乎一半骨科医生选择在 ACLR 中使用止血带, 20% 医生不同频率地选择使用止血带, 只有 30% 医生在 ACLR 中从不使用止血带<sup>[10]</sup>, 这表明止血带在 ACLR 中的使用尚无明确标准, 且多数 ACLR 是在使用止血带的情况下进行的。

**1.3 ACLR 中使用止血带的争议** ACLR 中是否应该使用止血带一直存在争议, 支持者们认为清晰的手术视野对患者做出正确诊断和选择最佳手术方案至关重要, 当视野受阻时, 几乎不可能判断 ACL 断裂、半月板撕裂或软骨变性的程度和广泛性, 且在 ACLR 中使用止血带可以减少患者出血量、提高视野清晰度、降低技术难度, 从而提供更准确的诊断和治疗<sup>[13]</sup>。Hoogeslag 等<sup>[14]</sup>在随机对照试验中将 245 例膝关节镜手术患者随机分为使用止血带组与不使用止血带组, 发现使用止血带可以显著提高膝关节镜手术的能见度。Tsarouhas 等<sup>[15]</sup>对 80 例行关节镜部分半月板切除术的患者进行分组对比发现, 使用止血带不会影响患者术后的康复, 由止血带引起的肌肉损伤可能存在于局部, 但在全身循环中无法检测到。

而越来越多的学者关注到止血带并发症, 并在研究中发现通过其他恰当的方法可以替换止血带而获得满意的手术视野, 从而完全避免止血带相关并发症。Reda 等<sup>[12]</sup>对 84 例接受 ACLR 患者进行随机对照试验, 发现 ACLR 中使用止血带会增加术后早期的疼痛和关节出血, 而止血带可以用吗啡和肾上腺素的混合物代替, 不会影响视觉质量, 也不会影响手术时间。Nakayama 等<sup>[16]</sup>通过对 51 例接受解剖双束 ACLR 的随机对照研究中发现, 无需使用止血带就可以顺利进行 ACLR, 且临床参数与使用止血带时没有显著差异, 而使用止血带导致术后关节内出血和疼痛麻木增加。Wang 等<sup>[17]</sup>在最近一项膝关节镜手术中是否使用止血带的系统回顾与 meta 分析中, 通

过对 1 132 名患者分析发现, 与止血带组相比, 非止血带组依然可以获得良好的手术视野且术后出血量和镇痛药用量较少。

虽然越来越多的学者关注并报道止血带的相关并发症, 但多数骨科医生依然习惯在骨科手术常规使用止血带, 这是因为止血带在手术中使用的确为手术提供了极大的便利, 并且大多数医生也许会习惯性认为止血带相关并发症发生率很低或并不严重, 但很多学者通过实验研究发现在关节镜下 ACLR 中通过其他恰当的操作同样获得了满意的手术视野, 并指出使用止血带引起的相关并发症具有充分的文献记载。

## 2 ACLR 中使用止血带的常见并发症

止血带相关并发症的发病机制与缺血和压迫以及缺血-再灌注损伤机制等有关<sup>[18-19]</sup>。ACLR 中使用止血带可能会引起肌肉组织损伤、患肢疼痛增加、神经麻痹损伤等相关并发症, 而这些被认为在 ACLR 术后的康复延迟中起着关键作用, 会对术后康复产生潜在的不利影响。

**2.1 肌肉组织损伤** 生化研究发现止血带释放后缺血修饰的白蛋白和肌红蛋白浓度显著增加<sup>[20]</sup>, 并认为这是可检测到的骨骼肌细胞坏死的证据。止血带的压迫会造成组织缺血缺氧, 而释放后会造成缺血-再灌注损伤, 而骨骼肌是缺血-再灌注损伤的主要受累器官之一<sup>[21]</sup>。缺血-再灌注后, 单核细胞与嗜中性粒细胞活化明显增加, 肿瘤坏死因子 (TNF) 和白细胞介素 (IL)-1 也明显增加, 而抗炎介质因子 IL-10 则相应减少, 从而导致组织的潜在性损伤。Tai 等<sup>[22]</sup>研究则发现止血带会使血清中 C-反应蛋白、IL-6、肌红蛋白、肌酸激酶均升高, 这正是体现炎症反应以及肌肉损伤的指标。

**2.2 疼痛增加** 多项研究表明下肢手术中使用止血带会增加大腿的疼痛<sup>[21, 23]</sup>。首先止血带机械性压迫肢体皮肤及深部软组织可直接引起疼痛<sup>[21]</sup>, 另外止血带的压迫造成软组织缺血、缺氧, Cox 等<sup>[24]</sup>认为, 软组织在缺氧时产生的次黄嘌呤、三酰甘油、乳酸等物质, 是造成患肢肿胀和疼痛加重的主要因素。止血带释放后, 血液再灌注会产生大量氧化自由基, 氧化细胞膜中的脂质, 形成不饱和脂肪酸, 导致细胞膜及细胞器损伤, 同时会损伤血管内皮细胞引起微循环障碍, 另外中性粒细胞介因子的释放会发生炎症反应, 因此机体出现缺血再灌注损伤会引起患肢的剧烈疼痛<sup>[21]</sup>。

**2.3 神经损伤** 诸多作者报道使用止血带增加了神经麻痹的风险<sup>[12, 25]</sup>。一项调查研究在 118 590 例膝关节镜手术中发现 7% 的并发症是神经系统并发症, 研究者认为 80% 与止血带有关<sup>[11]</sup>。止血带的应用可能会延迟轴突传导, 导致术后疼痛增加, 最终导致神经麻痹<sup>[26]</sup>。止血带引起的神经损伤表现为术后肢体麻痹, 受损神经所支配的皮肤对痛、热、冷、压力的感觉丧失。止血带引起神经损伤最常见的原因是止血带对局部神经的机械压力和止血带局部及远端神经的缺氧、缺血导致感觉和运动神经传导减缓甚至停止<sup>[3, 25]</sup>。虽然严重持续的神经损伤是止血带应用的罕见并发症, 永久性伤害的总发生率为 0.032%<sup>[26]</sup>。但相当大比例的患者术后心电图检查结果异

常<sup>[3, 16, 26]</sup>,这些肌电变化在手术后可持续6个月或更长时间,导致衰弱延长和功能恢复延迟。

2.4 其他并发症 在 ACLR 中使用止血带还可能引起股四头肌无力、萎缩等,另外止血带也可能与围手术期缺氧和术后组织灌注减少导致早期感染和伤口愈合障碍的发生率增加有关<sup>[27]</sup>,止血带引起的血管变化可造成血管损伤以及深静脉血栓形成<sup>[12, 28]</sup>,研究认为原因是术中使用时使用止血带后其凝血酶原时间、活化部分凝血活酶时间均显著缩短,特异性的纤溶过程标记物 D-二聚体水平显著增加<sup>[28]</sup>。既往研究指出下肢手术中使用止血带可以明显减轻术中失血量,但同时也有文献报道手术结束松开止血带后会造成缺血-再灌注损伤,导致组织型纤溶酶原激活物的大量释放,继而造成纤溶亢进,可能出现术后大量出血、患肢的肿胀、瘀斑以及关节腔积血<sup>[21]</sup>。

### 3 止血带的替代方法及技术改进

3.1 ACLR 中止血带的替代方法 很多研究表明止血带在 ACLR 中的止血作用可以被其他方法代替,关节镜手术中常用的冲洗液为无菌生理盐水,在具有灌注压的情况下有一定的止血作用<sup>[29]</sup>。杨伟毅等<sup>[30]</sup>的研究发现在术者手术操作熟练情况下先用生理盐水灌注关节腔几分钟,即能取得满意的止血效果,术中保持灌注通畅,可解决视野模糊等问题,此外他们还提出在术中直视下使用射频将出血点彻底止血,可避免应用止血带而造成的出血点遗漏导致术后出血肿胀。Nakayama 等<sup>[16]</sup>在解剖双束 ACLR 中使用添加肾上腺素的盐水灌注液的方法代替止血带并得出结论:添加肾上腺素的盐水灌注液可以有效地提供关节镜下清晰的视野,而不会延迟 ACLR 的手术时间。肾上腺素是常见的血管收缩剂,可激活 $\alpha_2$ 受体促进血小板聚集,继而减少局部失血,理论上肾上腺素注射后局部血管收缩,可以减慢药物吸收速度,吸收的药物经肝代谢基本不进入体循环,几乎不影响血压和心率,因此添加肾上腺素的盐水灌注止血效果好及安全性高<sup>[29]</sup>。Reda 等<sup>[12]</sup>在 ACLR 中在关节内注射 60 ml 的混合物(250 ml 生理盐水+ 10 mg 吗啡+ 1 mg 肾上腺素),并将 10 ml 相同的混合物注入腓绳肌移植部位和入口部位,指出止血带可被吗啡和肾上腺素的混合物代替,而不影响可见度,也不影响手术时间。此外还有研究探讨氨甲环酸在 ACLR 中的止血价值,作为一种抗纤维蛋白溶解的止血药物已经在关节置换手术中广泛应用并取得了满意的止血效果,黄星球等<sup>[31]</sup>的研究发现,无论是局部还是静脉使用氨甲环酸都可减少关节镜下 ACLR 术中和术后出血,且不增加术后相关并发症的发生率。

3.2 止血带技术的改进 为降低止血带相关并发症发生率、提高患者舒适度,止血带技术也在不断发展,目前新一代的气压止血带可以保持压力恒定,设定安全使用时间,降低了并发症的发生率,学者们对气压止血带应用的最大争议集中在三个方面:(1)如何更个性化地使用止血带;(2)如何提高安全性和有效性;(3)如何减少并发症的发生。制造商在充气止血带的使用说明中提供了相应的参考值,但临床实践主要基于传统经验,不同医院、地区之间存在较大差异,实际上,止血带

的充气压力具有很大的个体差异,这与止血带的类型、患者的肢体周长、患者的年龄和血压等多种因素密切相关。目前气压止血带安全指南中指出应使用肢体闭塞压力(LOP)来确定气压止血带充气压力,而不是使用预定的固定压力<sup>[32]</sup>,LOP是指恰好使动脉血流停止的止血带充气压力。LOP可以通过使用多普勒流量计或脉搏血氧计等确定,另外根据动脉闭塞压力(AOP)设置止血带压力也可以提高止血带的安全性。而根据 LOP 或 AOP 设置止血带压力可以允许在每例患者中使用个性化的止血带压力<sup>[33]</sup>。目前推荐在手术中应用气压止血带时应设置个体化压力值,不同个体因肢体直径及软组织厚度不同,使压迫动脉管壁的压力存在差异,个体化设置气压止血带压力可以为手术患者提供一个更安全、适合的止血带使用方法;可以降低并发症的发病率,提高患者舒适度<sup>[34]</sup>。研究发现个体化压力设置的气压止血带充气压力低于传统压力设置的气压止血带压力<sup>[33]</sup>,个性化压力设置(如根据患者血压、肢体周长、手指血氧饱和度)的气压止血带止血效果优于传统压力设置(如根据经验、说明)的气压止血带。因此个性化设置止血带压力必定是气压止血带发展的一个重要方向。

另外有关于气压止血带袖带材料的报道,新的硅橡胶弹性袖带更加灵活,可以减少患者的疼痛和皮肤并发症,并提供均匀的压力;硅胶制成的弹性袖口止血带系统比传统气压止血带袖口更有效地传递气动力,弹性袖带相比传统袖带提高了止血带的有效性和安全性<sup>[35]</sup>。这些止血带技术的发展与完善使止血带应用的安全性得到了极大的提高。

### 4 结语

止血带作为一种有效的止血方法被很多外科医生常规应用到 ACLR 中,为手术提供了清晰的手术视野和无血的操作空间,提供了极大的便利。但随着加速康复外科(enhanced recovery after surgery, ERAS)理念的发展及在骨科领域的推广,如何避免止血带相关并发症的发生成为研究者的关注热点。学者们在不断探讨关节镜下 ACLR 中止血带更加安全的使用方法,考虑到止血带可能延迟 ACLR 术后早期康复进程,甚至有学者提倡术中取消止血带的使用。止血带在关节镜下 ACLR 中的应用价值依然没有定论,而目前关于止血带技术的研究也尚未完善,虽然学者们提倡个体化设置止血带压力,但由于操作流程、评价标准等的不同,至今尚未达成共识。因此未来需要有更精准可靠、大样本的研究来验证止血带在 ACLR 中的应用价值,或需要制定出止血带更安全统一的使用标准,为 ACLR 获得良好的手术效果及术后恢复提供一个更安全精准的止血带使用方法。

### 参考文献

- [1] Atisuksma ID, Rhatomy S, Dewo P. A tourniquet-less technique using saline epinephrine irrigation system in an arthroscopic ACL reconstruction in patient with history of popliteal artery ligation[J]. Int J Surg Case Rep, 2018, 53: 157-162.

- [2] 韩广毅,李皓桓,张宇标,等.前交叉韧带损伤的临床特点分析[J].中国医药,2020,15(10):1603-1606.  
Han GT, Li HH, Zhang YB, et al. Clinical characteristics of anterior cruciate ligament injury[J]. China Med, 2020, 15(10): 1603-1606.
- [3] Fitzgibbons PG, Digiovanni C, Hares S, et al. Safe tourniquet use: a review of the evidence[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2012, 20(5): 310-319.
- [4] Zhang W, Liu A, Hu DC, et al. Effects of the timing of tourniquet release in cemented total knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials[J]. J Orthop Surg Res, 2014, 9: 125.
- [5] 杨治涛,焦义,韩南颖,等.氨甲环酸在旋后外旋型IV度踝关节骨折术中的疗效分析[J].中华全科医学,2020,18(10):1682-1684,1714.  
Yang ZT, Jiao Y, Han NY, et al. Efficacy analysis of tranexamic acid in the ankle joint fracture surgery with grade IV supination external rotation type [J]. Chin J Gen Pract, 2020, 18(10): 1682-1684, 1714.
- [6] Bogdan Y, Helfet DL. Use of tourniquets in limb trauma surgery[J]. Orthop Clin North Am, 2018, 49(2): 157-165.
- [7] 吴飞鹏,唐新,陶红,等.关节镜下平衡点固定技术治疗前交叉韧带止点撕脱骨折的效果评价[J].华西医学,2020,35(10):1205-1211.  
Wu FP, Tang X, Tao H, et al. Evaluation of arthroscopic balance point fixation in the treatment of avulsion fracture of anterior cruciate ligament[J]. West China Med J, 2020, 35(10): 1205-1211.
- [8] Yucens M, Aydemir AN. Trends in anterior cruciate ligament reconstruction in the last decade: a web-based analysis[J]. J Knee Surg, 2019, 32(6): 519-524.
- [9] Janani G, Suresh P, Prakash A, et al. Anterior knee pain in ACL reconstruction with BPTB graft-Is it a myth? Comparative outcome analysis with hamstring graft in 1 250 patients[J]. J Orthop, 2020, 22: 408-413.
- [10] Carter HM, Littlewood C, Webster KE, et al. The effectiveness of preoperative rehabilitation programmes on postoperative outcomes following anterior cruciate ligament (ACL) reconstruction: a systematic review[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2020, 21(1): 647.
- [11] Ekdahl V, Stålmán A, Forssblad M, et al. There is no general use of thromboprophylaxis and prolonged antibiotic prophylaxis in anterior cruciate ligament reconstruction: a nation-wide survey of ACL surgeons in Sweden[J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2020, 28(8): 2535-2542.
- [12] Reda W, ElGuindy AMF, Zahry G, et al. Anterior cruciate ligament reconstruction; is a tourniquet necessary? A randomized controlled trial [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2016, 24(9): 2948-2952.
- [13] Kuo LT, Yu PA, Chen CL, et al. Tourniquet use in arthroscopic anterior cruciate ligament reconstruction: a systematic review and meta-analysis of randomised controlled trials[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2017, 18(1): 358.
- [14] Hoogeslag RAG, Brouwer RW, van Raay JJAM. The value of tourniquet use for visibility during arthroscopy of the knee: a double-blind, randomized controlled trial[J]. Arthroscopy, 2010, 26(9 Suppl): S67-S72.
- [15] Tsarouhas A, Hantes ME, Tsougiaris G, et al. Tourniquet use does not affect rehabilitation, return to activities, and muscle damage after arthroscopic meniscectomy: a prospective randomized clinical study [J]. Arthroscopy, 2012, 28(12): 1812-1818.
- [16] Nakayama H, Yoshiya S. The effect of tourniquet use on operative performance and early postoperative results of anatomic double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction [J]. J Orthop Sci, 2013, 18(4): 586-591.
- [17] Wang JY, Xu WN, Lv JY. Is it better to routinely use tourniquet for knee arthroscopic surgery: a systematic review and meta-analysis[J]. J Knee Surg, 2020, 33(9): 866-874.
- [18] Chen H, Wei JQ, Wang YW, et al. Protective effects of rocuronium bromide on ischemia-reperfusion injury in skeletal muscle induced by tourniquet in patients undergoing elective unilateral total knee arthroplasty: a prospective, double blind, randomized, controlled study[J]. Drug Des Devel Ther, 2020, 14: 3373-3384.
- [19] Huwae TECJ, Santoso ARB, Kesuma W, et al. Reperfusion interval as a prevention of lung injury due to limb ischemia-reperfusion after application of tourniquet in murine experimental study[J]. Indian J Orthop, 2020, 54(5): 704-710.
- [20] Koca K, Yurttas Y, Cayci T, et al. The role of preconditioning and N-acetylcysteine on oxidative stress resulting from tourniquet-induced ischemia-reperfusion in arthroscopic knee surgery [J]. J Trauma, 2011, 70(3): 717-723.
- [21] 袁帅,祝钧,吴宇黎,等.应用止血带对前交叉韧带重建并内侧半月板桶柄样撕裂缝合术的临床效果比较研究[J].中国骨与关节杂志,2018,7(8):569-573.  
Yuan S, Zhu J, Wu YL, et al. A comparative study on the clinical effects of tourniquet on the arthroscopic reconstruction of the anterior cruciate ligament and the suture of the medial Meniscus with a bucket handle tear [J]. Chin J Bone and Joint, 2018, 7(8): 569-573.
- [22] Tai TW, Chang CW, Lai KA, et al. Effects of tourniquet use on blood loss and soft-tissue damage in total knee arthroplasty: a randomized controlled trial [J]. J Bone Joint Surg Am, 2012, 94(24): 2209-2215.
- [23] Wang K, Ni SJ, Li ZC, et al. The effects of tourniquet use in total knee arthroplasty: a randomized, controlled trial [J]. Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc, 2017, 25(9): 2849-2857.
- [24] Cox EM, Cohen ER, Mellecker CJ, et al. Intraoperative femoral nerve stimulation in evaluation of patellar tracking: tourniquet effects and catheter placement[J]. Iowa Orthop J, 2010, 30: 104-108.
- [25] 于召龙,王腾,孙华强,等.全膝关节置换术中限制性使用止血带的临床效果观察[J].生物骨科材料与临床研究,2017,14(1): 24-28.  
Yu ZL, Wang T, Sun HQ, et al. To observe clinical effect of limited tourniquet usage in total knee arthroplasty [J]. Orthop Biomech Mater Clin Study, 2017, 14(1): 24-28.
- [26] Mingo-Robinet J, Castañeda-Cabrero C, Alvarez V, et al. Tourniquet-related iatrogenic femoral nerve palsy after knee surgery: case report and review of the literature [J]. Case Rep Orthop, 2013,

- 2013;368290.
- [27] James EW, Blevins JL, Gausden EB, et al. Increased utilization of constraint in total knee arthroplasty following anterior cruciate ligament and multiligament knee reconstruction [J]. *Bone Joint J*, 2019, 101-B(7 Supple C):77-83.
- [28] 刘次云,肖绍升,张斯怡,等.应用气囊止血带对下肢手术患者凝血功能及深静脉血栓形成的影响[J]. *临床医学工程*, 2016, 23(7):957-958.  
Liu CY, Xiao SS, Zhang SY, et al. Impact of air tourniquet on coagulation function and deep venous thrombosis after lower extremity surgery [J]. *Clin Med Eng*, 2016, 23(7):957-958.
- [29] 苏静,杨广友.膝关节镜下交叉韧带重建术中半程止血带应用护理效果研究[J]. *实用临床医药杂志*, 2017, 21(10):174-176.  
Su J, Yang GY. Nursing effect of half-way tourniquet in knee arthroscopic cruciate ligament reconstruction [J]. *J Clin Med Pract*, 2017, 21(10):174-176.
- [30] 杨伟毅,练文兴,曹学伟,等.关节镜治疗膝骨性关节炎术中不使用止血带的临床研究[J]. *广东医学*, 2011, 32(14):1894-1895.  
Yang WY, Lian WX, Cao XW, et al. Clinical study of arthroscopic treatment of knee osteoarthritis without tourniquet [J]. *Guangdong Med J*, 2011, 32(14):1894-1895.
- [31] 黄星球,史成龙,廖绪强.氨甲环酸在关节镜下交叉韧带重建术中的应用价值[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2019, 34(6):622-624.  
Huang XQ, Shi CL, Liao XQ. Application value of tranexamic acid in arthroscopic cruciate ligament reconstruction [J]. *Chin J Bone Joint Inj*, 2019, 34(6):622-624.
- [32] Spruce L. Back to basics: pneumatic tourniquet use [J]. *AORN J*, 2017, 106(3):219-226.
- [33] Ding L, Ding CY, Wang YL, et al. Application effect of pneumatic tourniquet with individualized pressure setting in orthopaedic surgery of extremities: a meta-analysis [J]. *J Adv Nurs*, 2019, 75(12):3424-3433.
- [34] Masri BA, Day B, Younger AS, et al. Technique for measuring limb occlusion pressure that facilitates personalized tourniquet systems: a randomized trial [J]. *J Med Biol Eng*, 2016, 36(5):644-650.
- [35] Lee OS, Lee MC, Han HS. Efficacy and safety of a new elastic tourniquet cuff in total knee arthroplasty: a prospective randomized controlled study [J]. *Biomed Eng Online*, 2017, 16(1):102.  
收稿日期:2021-04-22 修回日期:2021-06-19 编辑:石嘉莹

(上接第123页)

- [19] Ferguson S, Mouzon B, Paris D, et al. Acute or delayed treatment with anatabine improves spatial memory and reduces pathological sequelae at late time-points after repetitive mild traumatic brain injury [J]. *J Neurotrauma*, 2017, 34(8):1676-1691.
- [20] Staudacher HM, Whelan K. The low FODMAP diet: recent advances in understanding its mechanisms and efficacy in IBS [J]. *Gut*, 2017, 66(8):1517-1527.
- [21] Liu SX, Li YH, Dai WK, et al. Fecal microbiota transplantation induces remission of infantile allergic colitis through gut microbiota re-establishment [J]. *World J Gastroenterol*, 2017, 23(48):8570-8581.
- [22] Khoruts A, Dicksved J, Jansson JK, et al. Changes in the composition of the human fecal microbiome after bacteriotherapy for recurrent *Clostridium difficile*-associated diarrhea [J]. *J Clin Gastroenterol*, 2010, 44(5):354-360.
- [23] Grehan MJ, Borody TJ, Leis SM, et al. Durable alteration of the colonic microbiota by the administration of donor fecal flora [J]. *J Clin Gastroenterol*, 2010, 44(8):551-561.
- [24] Smits LP, Bouter KEC, de Vos WM, et al. Therapeutic potential of fecal microbiota transplantation [J]. *Gastroenterology*, 2013, 145(5):946-953.
- [25] Mayer EA, Tillisch K, Gupta A. Gut/brain axis and the microbiota [J]. *J Clin Invest*, 2015, 125(3):926-938.
- [26] Cho I, Blaser MJ. The human microbiome: at the interface of health and disease [J]. *Nat Rev Genet*, 2012, 13(4):260-270.
- [27] Samuels BA, Mendez-David I, Faye C, et al. Serotonin 1A and serotonin 4 receptors: essential mediators of the neurogenic and behavioral actions of antidepressants [J]. *Neuroscientist*, 2016, 22(1):26-45.
- [28] Jadallah KA, Kullab SM, Sanders DS. Constipation-predominant irritable bowel syndrome: a review of current and emerging drug therapies [J]. *World J Gastroenterol*, 2014, 20(27):8898-8909.
- [29] Mayer EA, Knight R, Mazmanian SK, et al. Gut microbes and the brain: paradigm shift in neuroscience [J]. *J Neurosci*, 2014, 34(46):15490-15496.
- [30] Yano JM, Yu K, Donaldson GP, et al. Indigenous bacteria from the gut microbiota regulate host serotonin biosynthesis [J]. *Cell*, 2015, 161(2):264-276.
- [31] Mawe GM, Hoffman JM. Serotonin signalling in the gut—functions, dysfunctions and therapeutic targets [J]. *Nat Rev Gastroenterol Hepatol*, 2013, 10(8):473-486.
- [32] Francino MP. Early development of the gut microbiota and immune health [J]. *Pathogens*, 2014, 3(3):769-790.  
收稿日期:2021-06-24 修回日期:2021-07-23 编辑:王宇