

术前三维有限元分析指导下实施前交叉韧带等长重建术 19 例

杨新绿¹ 魏秋实^{2,3} 张庆文^{2,3△}

[摘要] 目的:应用 CT 三维有限元建模技术在术前预估前交叉韧带重建术股骨隧道定位点,使屈膝 90°和伸膝 0°位移植物的长度差小于 2 mm,以此丰富前交叉韧带单束重建之术前设计思路,指导实际临床操作。方法:19 例单侧前交叉韧带损伤患者(19 人 19 膝)术前于膝关节 0°伸直位、屈膝 90°位行健侧膝关节 CT 平扫,并以 Lysholm 评分法、IKDC 评分法进行膝关节功能评分;根据 CT 数据进行三维重建并测量,确定股骨外侧髁隧道中心点(i 点),使屈膝 90°和伸膝 0°位 i 点至 T 点的距离变化小于 2 mm,并据此进行前交叉韧带重建手术;术后复查患侧膝关节 CT 平扫+三维重建,术后 6 个月再次进行 Lysholm 评分及 IKDC 评分,测量术中实际股骨外侧髁隧道内口中心点(r 点)与术前设计隧道内口中心点(i 点)直线距离,应用 SPSS 13.0 软件进行统计学数据分析,检验此偏离距离对术后关节评分改善程度的影响。结果:患者实际股骨外侧髁隧道内口中心点与术前预定位之隧道内口中心点的直线距离 L 和患者术后 6 个月与术前 1 d 的 Lysholm 评分差值 $d(P<0.05)$ (Pearson 相关系数 -0.756)、IKDC 评分差值 $d(P<0.01)$ (Pearson 相关系数 -0.805)均呈显著负相关,具有统计学意义。结论:术后患者股骨隧道内口中心点实际位置距术前设计方案指导下的等长预定位点偏离越大,患者术后 6 个月相对术前 1 d 的膝关节功能评分改善越小,应用术前设计方案可使术后膝关节评分改善程度提高。

[关键词] 前交叉韧带;等长重建;术前设计;运动医学;关节镜

[中图分类号] R687.4 **[文献标志码]** B **[文章编号]** 1005-0205(2019)03-0040-05

关节镜下前交叉韧带(ACL)重建术是处理 ACL 损伤的有效手段,Uchida 等^[1]发现 ACL 在膝关节过伸位时最长,屈曲至 100°左右时 ACL 最短。而 ACL 重建术使用的移植物抗拉伸能力有限^[2-4],术后移植物在活动中的长度变化直接影响预后,股骨和胫骨隧道内口的定位直接决定移植物长度变化程度。本研究选择 CT 螺旋平扫+三维有限元重建法指导隧道定位,测量术后偏差和术后膝关节功能评分,进行相关性数据分析,以评估术前设计新方案的临床应用意义。

1 临床资料

1.1 一般资料

2017 年 6 月 13 日至 12 月 29 日入院的 ACL 损伤患者,最终符合条件纳入研究的 19 人 19 膝,其中男 11 人,女 8 人;平均年龄 29 岁;左膝 7 例,右膝 12 例;所有患者均为运动伤,均存在患侧膝关节不稳(打软

腿),查体均存在 Lachman 征阳性、前抽屉试验阳性、轴移试验阳性,MRI 示 ACL 完全断裂直接征象 18 例,完全断裂间接征象 1 例。本研究已签署相关知情同意书,并已通过广州中医药大学第一附属医院伦理委员会伦理审查(批件号 ZYYECK[2018]017)。

1.2 纳入标准

1)单侧单纯膝关节前交叉韧带损伤患者;2)患侧膝关节前抽屉试验阳性、Lachman 试验阳性、轴移试验阳性,MRI 确诊。

1.3 排除标准

1)患侧膝关节合并 PCL 损伤,合并股骨外侧髁软骨面创伤性关节炎、严重退行性改变,股骨外侧髁骨折、骨坏死、骨肿瘤或存在其他形式的严重骨缺损或骨质破坏,膝关节感染、膝关节结核。2)健侧膝关节合并后交叉韧带损伤,股骨外侧髁软骨面合并创伤性关节炎、严重退行性变,股骨外侧髁骨折、骨坏死、骨肿瘤或存在其他形式的严重骨缺损或骨质破坏,膝关节感染、膝关节结核。3)健侧膝关节曾行 ACL 重建术或其他涉及影响骨与软组织解剖位置关系的手术。4)健侧膝

¹ 广州中医药大学第一临床医学院(广州,510405)

² 广州中医药大学岭南医学研究中心骨科实验室

³ 广州中医药大学第一附属医院三骨科

△通信作者 E-mail:zh-qwen@163.com

关节因各种原因引起的关节僵硬、活动受限、融合，导致屈伸活动度不能达到 $90^{\circ}\sim 0^{\circ}$ 。5) 健侧膝关节因骨内固定器械或骨外固定器械需维持石膏固定，维持皮肤牵引或骨牵引，维持佩戴外固定支具，导致屈伸活动度不能达到 $90^{\circ}\sim 0^{\circ}$ 。6) 因妊娠等原因不能配合 CT 检查。7) 患者不同意或不配合研究者。

1.4 剔除标准

1) 患者术中关节镜监视诊断为 ACL 合并 PCL 损伤，合并股骨外侧髁软骨面创伤性关节炎、严重退行性改变，股骨外侧髁骨折、骨坏死、骨肿瘤或存在其他形式的严重骨缺损或骨质破坏，膝关节感染、膝关节结核。2) 术后出现感染，韧带松弛、断裂，骨隧道明显扩大以及因其他未能预见的情况关节功能受到严重影响。3) 自愿退出或因其他原因不能配合完成研究者。

2 方法

2.1 干预方法

术前于患者健侧膝关节 0° 伸直位、屈膝 90° 位行螺旋平扫+三维重建，并以 Lysholm 评分法、IKDC 评分法于术前 1 d 进行评分；收集原始 CT 数据 DICOM 文件，输入 Materialise Mimics 17.0 有限元分析软件中将其解剖结构转化为三维模型，进行分割，保留胫骨平台及股骨外侧髁模型，各于膝关节 0° 伸直位及屈膝 90° 位的模型上，于模型上 Blumensaat 线后方平行于 Blumensaat 线，住院医师嵴上方，于股骨髁间窝外侧壁上定位一个 i 点(见图 1 和图 2)，使 i 点至外侧半月板游离缘延长线与胫骨髁间窝内侧棘与外侧棘内 $1/3$ 交点(T 点)之间的距离在 0° 伸直位与屈膝 90° 位上的差值小于 3 mm(见图 3)。

测量并记录 i 点至股骨外侧髁近端软骨缘(见图 1 和图 2b 点)距离，i 点至股骨外侧髁后方软骨缘(见图 1 和图 2c 点)距离，及 T 点至关节腔内胫骨平台前缘(见图 1 和图 2a 点)距离，以便指导术中定位，测量由两位医师分别执行，取两点之间连线中点为预定位点。

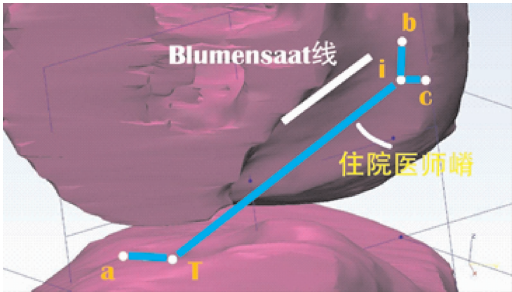
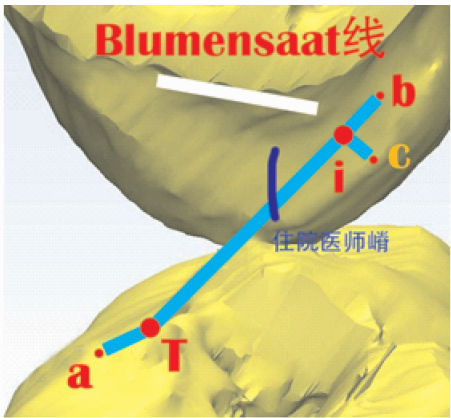


图 1 根据患者伸膝 0° 位 CT 原始数据进行 Mimics 三维重建模型视图，测量股骨隧道内口中心点(i 点)定位示意图



a 点为关节腔内胫骨平台前缘；b 点为股骨外侧髁近端软骨缘；c 点为股骨外侧髁后方软骨缘；i 点为预设计股骨隧道内口中心点；T 点为预设计胫骨隧道内口中心点

图 2 根据患者屈膝 90° 位 CT 原始数据进行 Mimics 三维重建模型视图，测量股骨隧道内口中心点(i 点)定位示意图

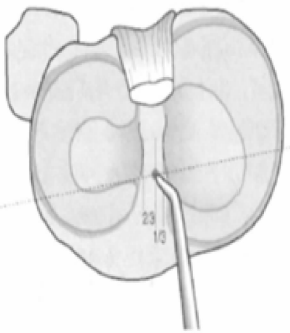


图 3 胫骨隧道内口中心点(T 点)定位示意图

以此 i 点作术中股骨外侧髁骨隧道内口中心点进行手术，手术由同 1 位高年资医师执行，术前测量医师跟台担任定位顾问；ACL 损伤行四股(对折)半腱肌、股薄肌腱重建，尽量保留患者 ACL 残端。股骨隧道口中心点(i 点)定位：膝关节屈曲 90° 位，于髌腱外侧缘下与胫骨平台关节线处自内下向外上插入 3.5 mm 导针于 ACL 股骨外侧髁附着区处，根据术前测量数据，以带刻度探针测量 i 点至股骨外侧髁近端软骨缘(见图 1 和图 2b 点)、后方软骨缘(见图 1 和图 2c 点)距离，明确 i 点，将导针从 i 点向膝关节外上方穿出；建立隧道和移植物固定，胫骨隧道建立方式与常规方式相同；将四股半腱肌和股薄肌腱与 ACL TightRope 袢编织固定，将移植物自胫骨隧道拉向股骨隧道，于股骨隧道外口翻转 ACL TightRope 钢板，屈膝 90° 拉紧移植物，反复屈伸膝关节 20 次左右后，自胫骨隧道口内下向关节腔方向插入胫骨固定翼，拧入 1 枚可吸收界面螺钉，于胫骨隧道口下方约 5 mm 处打入门形钉，剩余爱惜邦肌腱线打结固定于门形钉，使移植物固定(见图 4-10)。

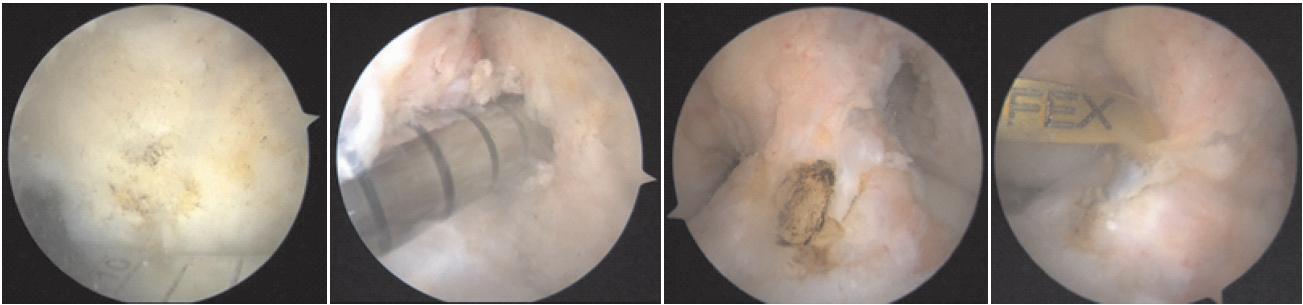


图 4 术中前内侧入路置入关节镜, 监视下以带刻度探针测量并确定 i 点位置, 以等离子射频消融刀标记

图 5 术中依术前设计之 i 点为中心, 前外侧入路置入关节镜监视下建立股骨骨隧道

图 6 术中依术前设计之 T 点为中心, 等离子射频消融刀标记胫骨骨隧道内口范围, 前中入路置入关节镜监视以确认位置与术前设计位置一致

图 7 术中依术前设计之 T 点为中心, 前外侧入路置入关节镜监视下建立胫骨骨隧道



图 8 前中入路置入关节镜监视胫骨导针位置

图 9 前外侧入路置入关节镜监视下将移植物拉入胫骨及股骨骨隧道内

图 10 前外侧入路置入关节镜监视下伸膝, 确认移植物与髌间窝无撞击

术后第 2 天复查患侧膝关节 CT 平扫+三维重建, 确定实际术中股骨外侧髁骨隧道内口中心点 r , 测量其与术前预定位之隧道内口中心点 i 的直线距离 L

(见图 11-13), 术后 6 个月门诊复诊检查膝关节前抽屉试验、Lachman 征、轴移试验, 并再次进行 Lysholm 评分和 IKDC 评分。

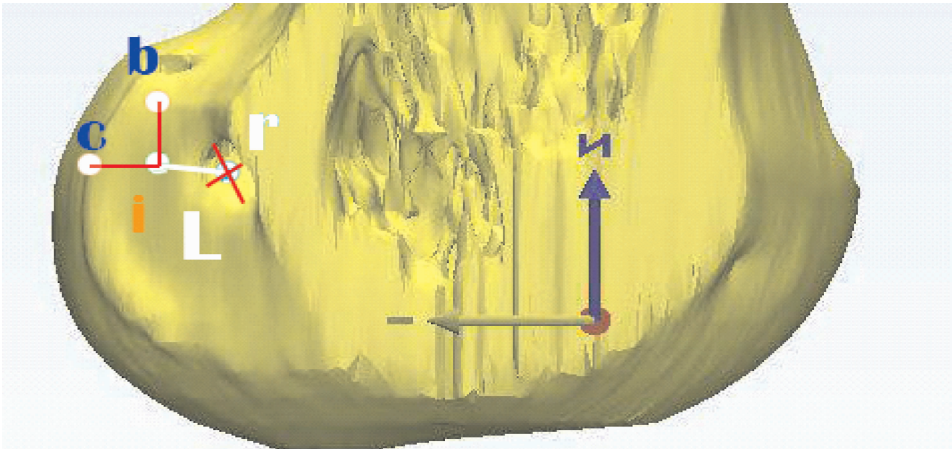


图 11 Mimics 三维重建模型视图, 测量实际骨隧道内口中心点 r 与术前预定位之隧道内口中心点 i 的直线距离 L

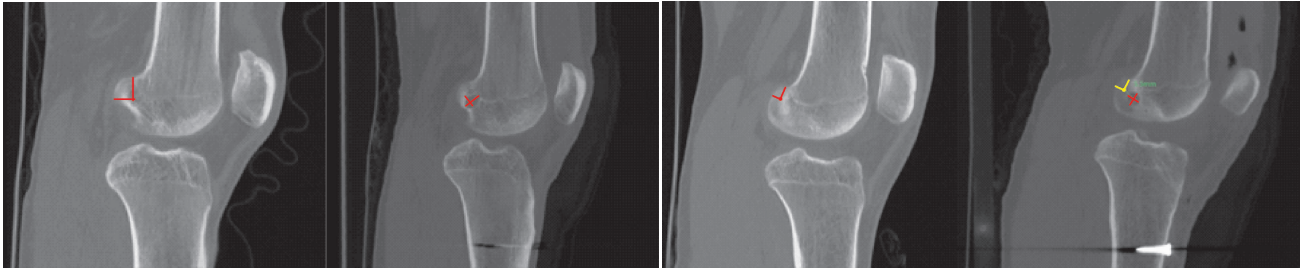


图 12 术后实际隧道内口中心点(红线交叉点)与术前预定位点(左图红点)一致之病例影像(男性, 30 岁)

图 13 术后实际隧道内口中心点(红线交叉点)与术前预定位点(右图黄点)偏差较大(约 5.5 mm)之病例影像(男性, 26 岁)

2.2 疗效指标

本研究的疗效评估指标为术后 6 个月门诊复诊再次进行 Lysholm 评分和 IKDC 评分,分别计算与术前 1 d 的两种评分的差值 $d(\text{Lysholm})$ 和 $d(\text{IKDC})$,检查膝关节前抽屉试验、Lachman 征、轴移试验,若 Lachman 征、轴移试验为阳性,则复查患侧膝关节 MRI 以评估移植物稳定性;若术后出现感染,韧带松弛、断裂,骨隧道明显扩大,以及因其他未能预见的情况关节功能受到严重影响的病例,则予以剔除。

3 结果

应用 SPSS13.0 软件进行统计学数据分析,设置每例实际术中股骨外侧髁骨隧道内口中心点 r 与术前预定位之隧道内口中心点 i 的直线距离 L 为自变量,术后 6 个月与术前 1 d 的 Lysholm 评分差值 d 为因变量,进行 Pearson 相关性分析, $P < 0.05$ 差异有统计学意义;再将 L 设为自变量,和术后 6 个月与术前 1 d 的 IKDC 评分差值 d 为因变量,进行 Pearson 相关性分析, $P < 0.05$ 相关性有统计学意义。

符合研究标准的 19 例患者术后复查患侧 CT,将实际股骨外侧髁隧道内口中心点与术前预定位之隧道内口中心点的直线距离 L ,和术后 6 个月与术前 1 d 的 Lysholm 评分差值 d 进行 Pearson 相关性分析,结果提示 L 与 d 呈显著负相关,相关性有统计学意义 ($P = 0.018 < 0.05$)。

符合研究标准的 19 例患者术后复查患侧 CT,将实际股骨外侧髁隧道内口中心点与术前预定位之隧道内口中心点的直线距离 L ,和术后 6 个月与术前 1 d 的 IKDC 评分差值 d 进行 Pearson 相关性分析,结果提示 L 与 d 呈极显著负相关,相关性有统计学意义 ($P = 0.009 < 0.01$)。

4 讨论

4.1 等长重建的重要性与传统技术的不足

ACL 重建术的目的主要是恢复膝关节稳定性,术后移植物的张力变化除预张力的影响外,在膝关节屈伸活动中股骨和胫骨隧道两内口之间的距离变化影响最为关键^[5],该距离变化过大,可能导致重建移植物应力异常,过度松弛或断裂。ACL 等长重建的目的就是为了在整个屈伸范围内尽量使股骨、胫骨隧道内口距离变化程度最小^[6],避免移植物功能不全或者断裂^[7]。但做到完全等长重建是非常困难的,考虑患者实际解剖情况及当前技术水平,等长重建应向“解剖等长重建”理念发展。解剖等长重建概念是在膝关节屈伸活动过程中,关节腔内的移植物长度变化范围始终保持不超过 3 mm,即可使移植物的应力变化也降至最低,使移植物长度变化最小的股骨、胫骨隧道内口中心点即为等长点^[8]。随着 ACL 重建术的广泛开展和手术

病例数的增加,术后出现各种并发症导致失败的病例也不断增多。除移植物性能差异、手术技术缺陷、腱-骨愈合不良等因素外,手术失败的一大重要原因是隧道定位错误。在敖英芳等^[9]报道中,共 13 例 ACL 重建失败行翻修手术,其中有 8 例(67%)手术失败的主要原因是隧道定位错误。若不进行术前设计,仅使用术中患者骨性解剖标志进行定位对止点残留韧带依赖性高^[3],且不一定为等长重建点。笔者的观点是,除去术中关节镜视野限制、目测误差以及手术器械便利性等因素引起的手术失误及偏差,目前很多临床工作者在 ACL 重建术中存在思维定式,忽略患者解剖结构的个体差异,以模式化的方式,依照多数书籍及文献报道的常规定位方法进行手术,事实上现存的研究文献对 ACL 重建术股骨隧道口的定位并没有定论,也没有任何一种术前设计定位方法得到绝大多数临床医师的公认^[10],没有通用于存在个体差异的不同患者的金标准;也有一部分临床医师在术前没有进行精确的设计,仅依照个人经验进行定位和手术,尽管体现了一定的依患者个体差异进行个体化手术的理念,但医师的个人经验不能使手术技术量化,也不利于临床带教及科研。然而上述两类临床工作者的数量非常庞大。Kohn 等^[11]测量并统计了学员参加高级关节镜培训班进行尸体标本手术实操训练的 24 例成人膝关节标本,其中有 12 例股骨隧道、6 例胫骨隧道与 Kohn 所认为的理想位置偏离较大,其中不乏经验丰富的医师。

4.2 等长重建理念指导下术前设计的优点

笔者所探究的 ACL 等长重建手术在关节镜监视下进行,术前测量设计仅需 CT 三维重建设备和装有 Materialise Mimics 17.0 三维有限元重建软件的个人电子计算机即可完成,耗资、耗时较少,培训时间短,可重复性强。本研究中 19 例患者术中测量 ACL 重建后的移植物长度在膝关节屈伸过程中长度变化均不超过 2 mm,说明本研究中提出的术前测量设计方案指导下的 ACL 重建手术技术可使术后移植物在膝关节屈伸活动中符合解剖等长重建的要求。笔者认为该技术可应用于自体或异体肌腱 ACL 重建,也可用于 Lars 人工韧带等其他移植物的手术,一定程度上可提高手术治疗效果,降低术后失败率及翻修率。

4.3 等长重建理念指导下术前设计及手术中应注意的问题

1) 单侧膝关节 ACL 损伤的患者,患侧膝关节因 ACL 断裂带来的解剖结构移位将影响术前测量设计的准确性,故必须对患者健侧的膝关节进行 CT 检查采集数据,不能采集患侧膝关节 CT 数据,在患者行此检查时必须进行谈话提及此检查的特殊性,做好沟通告知工作。

2)行CT检查前必须与影像科医师充分沟通,确认薄层扫描规格以保证原始数据分辨率,减小测量误差,在三维重建过程中应细致操作,多象限同时测量,准确找出T点和i点是使移植达到在膝关节活动中等长的前提,有条件应在三维模型测量的基础上结合断层扫描测量,指派多个人同时测量取均值,并检验均值之定位点能否提供等长性。

3)解剖位置等长点技术要严格把控,可在关节镜下对整个外侧髌后部进行监视,射频消融刀除去骨质表面的部分滑膜以便充分观察,在确认术前设计定位点时可通过带有刻度的探针测量外侧髌后部近端软骨缘和后方软骨缘与该范围的距离,找出符合术前设计的定位点;但同时也应理论结合实际,关节镜下视野可见范围内若已发现依照术前预定位点建立骨隧道可能会太偏近端或后方,可能导致骨隧道周围骨折的,应及时根据实际情况调整定位,不可拘泥于理论。

参考文献

- [1] UCHIDA R, MAE T, MATSUMOTO N, et al. The effect of cortical button location on its post-operative migration in anatomical double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2014, 22(5): 1047-1054.
- [2] KOGA H, MUNETA T, YAGISHITA K, et al. Mid-to long-term results of single-bundle versus double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction: randomized controlled trial[J]. *Arthroscopy*, 2015, 31(1): 69-76.
- [3] 徐丛, 王永为, 李嘉, 等. 股骨足印中心定位法单束解剖重

建ACL临床效果研究[J]. *中国临床解剖学杂志*, 2016, 34(6): 685-688.

- [4] 潘知常. 前交叉韧带重建移植材料的进展[J]. *世界最新医学信息文摘*, 2018, 18(5): 36-38.
- [5] 马天骏, 曾春, 蔡道章. 动态CT评价前交叉韧带解剖单束重建术后韧带的等长情况[J]. *中华创伤骨科杂志*, 2017, 19(5): 393-398.
- [6] FANG W, CHEN S. Current isometric-like ACL reconstruction concept: a quantitative clinical imaging study[J]. *Asia-Pacific Journal of Sports Medicine, Arthroscopy, Rehabilitation and Technology*, 2017, 9: 45.
- [7] 徐卿荣, 朱振安. 前交叉韧带股骨等距重建位置的比较[J]. *中国矫形外科杂志*, 2004, 12(10): 51-53.
- [8] GOOD L, GILLQUIST J. The value of intraoperative isometry measurements in anterior cruciate ligament reconstruction: an in vivo correlation between substitute tension and length change[J]. *Arthroscopy*, 1993, 9(5): 525-532.
- [9] 敖英芳, 马勇, 崔国庆, 等. 前交叉韧带重建失败的原因分析[J]. *中华外科杂志*, 2007, 45(2): 86-89.
- [10] 股骨止点两种不同定位方法对前交叉韧带重建术后近期疗效的影响[J]. *中国现代医学杂志*, 2016, 26(1): 137-140.
- [11] KOHN D, BUSCHE T, CARLS J. Drill hole position in endoscopic anterior cruciate ligament reconstruction: results of an advanced arthroscopy course[J]. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 1998, 6(Suppl 1): 13-15.

(收稿日期: 2018-11-03)

(上接第39页)

- [9] 黄光斌, 胡平, 高劲谋, 等. 严重多发伤救治中外固定架的应用[J]. *创伤外科杂志*, 2010, 12(3): 241-243.
- [10] SOMFORD M P, VAN DEN BEKEROM M P, KLOEN P. Operative treatment for femoral shaft nonunions, a systematic review of the literature[J]. *Strategies Trauma Limb Reconstr*, 2013, 8(2): 77-88.
- [11] 付备刚, 王秀会, 蔡攀, 等. 闭合复位与切开复位交锁髓内钉内固定治疗股骨干骨折的疗效比较[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2015, 30(2): 151-154.
- [12] 马文龙, 陈洪干, 田可为, 等. 钳夹技术在成人股骨干骨折微创复位内固定术中的应用[J]. *中医正骨*, 2018, 30(5): 60-62.
- [13] 胡鹏, 李铭雄, 魏志, 勇等. 顺行与逆行髓内针治疗股骨中下段骨折的疗效比较[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2017, 25(12): 17-20.
- [14] 梁志勇, 李华壮, 赵光宗, 等. 髓内钉内固定治疗股骨干多段骨折[J]. *中国矫形外科杂志*, 2018, 2(4): 377-379.

- [15] 刘立云, 李无阴, 高书图, 等. 平乐正骨手法结合现代器械复位治疗股骨骨折的疗效分析[J]. *中国中医骨伤科杂志*, 2015, 23(3): 12-15.
- [16] 林梁, 唐亚辉, 吾路汗, 等. 骨折愈合过程中原始骨折血肿的潜在作用[J]. *中国组织工程研究*, 2015, 19(46): 7386-7390.
- [17] 王智勇, 陈柯, 田可为, 等. 双摇杆技术在成人股骨干骨折复位内固定术中的应用[J]. *中国骨伤*, 2015, 28(7): 608-610.
- [18] 李顺国, 郭强. 交锁髓内钉治疗股骨干骨折的并发症分析及防治措施[J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2010, 25(4): 338-339.
- [19] LIN SHIH-JIE, CHEN CHI-LUNG, PENG KUO-TI. Effect of fragmentary displacement and morphology in the treatment of comminuted femoral shaft fractures with an intramedullary nail[J]. *Injury*, 2014, 45(4): 752-756.

(收稿日期: 2018-08-03)