

机器人辅助下联合球囊复位与经皮栅栏螺钉固定治疗AO/OTA41B2型胫骨平台骨折的近期疗效观察

焦竞 黄玉成 陈明 熊文 胡家朗 吴石磊 马旋 王俊文

【摘要】 目的 探讨机器人辅助下联合球囊复位与经皮“栅栏”螺钉固定治疗AO/OTA41B2型胫骨平台骨折的近期疗效观察。方法 回顾性分析2019年9月至2022年9月期间我院创伤骨科收治的29例AO/OTA41B2型闭合性骨折病人。其中男14例,女15例;年龄为(44.17±9.53)岁(26~62岁),受伤至手术时间为(6.48±4.08)天(2~20天)。手术方式均采用骨科手术机器人辅助下间接复位后“栅栏”螺钉技术微创内固定治疗。拍摄膝关节标准的正侧位片,按Rasmussen放射学评分标准评价骨折复位情况,采用美国特种外科医院(Hospital for Special Surgery, HSS)评分评价膝关节功能。比较手术前后骨折区塌陷体积、胫骨平台外侧角(lateral proximal tibial angle, LPTA)、外侧胫骨平台后倾角(lateral posterior proximal tibial angle, LPPTA),基于CT比较术前规划与术中实际定位位置差异。结果 29例病人均获得完整随访,随访时间为(15.10±6.13)个月(10~24个月),骨折愈合时间为(9.52±1.66)周(8~12周)。病人术后6个月膝关节Rasmussen评分为(17.34±1.04)分(14~18分),优18例,良11例;HSS评分为(93.83±2.22)分(89~97分),优29例。术后骨折区塌陷体积为(0.07±0.20) cm³(0~0.77 cm³)、LPTA为91.75°±0.62°(90°~92°)、LPPTA为7.45°±1.97°(0°~10°),与术前比较[(3.27±2.14) cm³(0.89~10.16 cm³)、84.81°±6.08°(70°~92°)、11.89°±14.16°(-20°~26.8°)],差异有统计学意义($t=8.193, P<0.001; t=-6.172, P<0.001; t=1.854, P=0.037$)。术后CT验证实际球囊扩张冠状位与矢状位位置参数:(1.56±0.31) cm(1.11~2.28 cm)、(1.52±0.44) cm(0.94~2.10 cm),与术前规划比较[(1.56±0.32) cm(1.11~2.28 cm)、(1.52±0.44) cm(0.96~2.09 cm)],差异无统计学意义($t=-0.256, P=0.400; t=-0.779, P=0.221$)。末次随访时,未发生腓总神经损伤、腘血管损伤、术后感染、内固定失效等严重并发症。结论 机器人辅助下联合球囊复位与经皮“栅栏”螺钉固定治疗AO/OTA41B2型胫骨平台骨折近期临床疗效满意。

【关键词】 胫骨平台骨折;骨科手术机器人;骨折固定术,内;球囊;复位

Short-term Efficacy of Robot-assisted Balloon Reduction and Percutaneous Palisade Screw Fixation in the Treatment of AO/OTA41B2 Tibial Plateau Fracture. Jiao Jing, Huang Yucheng, Chen Ming, Xiong Wen, Hu Jialang, Wu Shilei, Ma Xuan, Wang Junwen. Department of Orthopaedic Traumatology, Wuhan Fourth Hospital, Wuhan 430030, China

Corresponding author: Wang Junwen, E-mail: wjw0730@163.com

【Abstract】 Objective To investigate the short-term efficacy of robot-assisted combined balloon reduction and percutaneous “jail” screw fixation in the treatment of AO/OTA41B2 tibial plateau fracture. **Methods** A total of 29 patients with AO/OTA41B2 closed fracture admitted to our hospital from September 2019 to September 2022 were retrospectively analyzed. Among them, 14 were male and 15 were female with average age of (44.17±9.53) years old (range 26-62 years old). The time from injury to operation was (6.48±4.08) days (range 2-20 days). All the surgical methods were treated by minimally invasive internal fixation with “Jail” technique screw after indirect reduction assisted by TiRobot. Standard anteroposterior and lateral radiographs of the knee were taken, the fracture reduction was evaluated according to the Rasmussen radiological score, and the knee function was evaluated using the Hospital for Special Surgery (HSS) score. The collapse volume of fracture area, lateral proximal tibial angle (LPTA) and lateral posterior proximal tibial angle (LPPTA) were compared before and after operation. CT was used to compare the difference between preoperative planning and

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2024.05.004

基金项目:国家重点研发计划(2022YFC2407500);武汉市科学技术局知识创新专项(2022020801020560);武汉市卫健委科研项目(WX23A13)

作者单位:武汉市第四医院创伤骨科,武汉 430030

通信作者:王俊文, E-mail: wjw0730@163.com

actual positioning. **Results** All the 29 patients were followed up for (15.10±6.13) months (ranging from 10 to 24 months). Fracture healing time was (9.52±1.66) weeks (range 8 to 12 weeks). At 6th month after surgery, the Rasmussen score of the knee joint was (17.34±1.04) points (ranging from 14 to 18 points), of which 18 cases were excellent and 11 cases were good. Preoperative collapse volume of fracture site was (3.27±2.14) cm³ (range 0.89-10.16 cm³), LPTA was 84.81°±6.08° (range 70°-92°), and LPPTA was 11.89°±14.16° (range -20°-26.8°), the collapse volume of the fracture area after surgery was (0.07±0.20) cm³ (range 0-0.77 cm³), LPTA was 91.75°±0.62° (range 90°-92°), LPPTA was 7.45°±1.97° (range 0°-10°), and the difference was statistically significant ($t=8.193, P<0.001; t=-6.172, P<0.001; t=1.854, P=0.037$). Preoperative CT layout consisted of (1.56±0.32) cm (ranging from 1.11-2.28 cm), and (1.52±0.44) cm (ranging from 0.96-2.09 cm), while postoperative CT layout proved the actual parameters in coronal and sagittal position parameters [(1.56±0.31) cm (range 1.11-2.28 cm), (1.52±0.44) cm (range 0.94-2.10 cm)]. There was no statistically significant difference ($t=-0.256, P=0.400; t=-0.779, P=0.221$). At the last follow-up, there were no serious complications such as common peroneal nerve injury, popliteal vascular injury, postoperative infection, and failure of internal fixation. **Conclusion** Robot-assisted balloon reduction combined with percutaneous “jail” screw fixation in the treatment of AO/OTA41B2 tibial plateau fracture has a satisfactory clinical effect.

【Key words】 Tibial plateau fracture; Orthopedic surgical robot; Fracture fixation, inside; Balloon; Reduction

AO/OTA41B2 型骨折, 也就是 Schatzker III 型胫骨平台骨折, 该骨折涉及胫骨外侧髁关节面塌陷, 占所有胫骨平台骨折的比例高达 36%^[1]。该类骨折属于关节内骨折, 需要抬高塌陷部分来恢复关节面一致, 并进行植骨、内固定等手术操作来增加即时稳定性, 避免创伤性关节炎的发生^[2-3]。传统开放式手术技术对于这类骨折有几个弊端: 对骨和皮肤软组织损伤较大, 增加感染风险和功能康复难度^[4-6]。自 2012 年胫骨球囊成形术开始应用于胫骨平台骨折的治疗^[7], 其已成为一种越来越受欢迎的抬高和复位塌陷的关节面的微创方法^[8]。但球囊胫骨成形术可能并不适用于所有病人, 其不仅有一个相对陡峭的学习曲线, 也存在自身技术风险和高达 60% 的并发症发生率^[9]。为降低该技术并发症, 我们设计改进了球囊胫骨成形术的操作流程和固定方式, 使用机器人导航下精确定位经皮球囊撑开位置+注射型人工骨填充+“栅栏”螺钉固定。并将该改良方法用于我院 2019 年 9 月至 2022 年 9 月期间 AO/OTA41B2 型骨折病人的治疗, 本研究旨在评估其临床疗效。

资料与方法

一、纳入标准与排除标准

纳入标准: ①骨折类型为 AO/OTA41B2 型; ②伤后 21 天以内的闭合性骨折; ③病人年龄大于或等于 18 岁; ④使用胫骨球囊成形术进行微创内固定手术治疗。

排除标准: ①全身多发伤病人; ②患肢血管、神经损伤或开放性骨折; ③手术部位严重的皮肤软组织损伤; ④病理性骨折; ⑤患侧严重的膝关节炎病

史; ⑥对麻醉、造影剂、骨骼的填充物或金属有过敏反应。

二、一般资料

按照上述标准, 29 例病人纳入本研究, 其中男 14 例, 女 15 例; 年龄为 (44.17±9.53) 岁 (26~62 岁); 交通伤 9 例, 摔伤 20 例; 左侧 14 例, 右侧 15 例; 合并伤: 9 例合并前交叉韧带止点撕脱骨折, 3 例合并内侧副韧带撕裂, 8 例合并外侧半月板撕裂。本研究已获武汉市第四医院伦理审查委员会的批准 (伦审字 KY2023-004-01), 所有病人均已知情并签署知情同意书。

三、术前处理

(一) 一般处理

本组 29 例病人术前常规进行膝关节正侧位 X 线片、CT 扫描+三维重建和 MRI 检查。入院后均常规使用低分子肝素预防下肢静脉血栓, 手术前一天常规行下肢静脉彩超排查下肢静脉血栓。所有病人术前 30 min 均常规静脉使用一代或二代头孢类抗生素预防伤口感染。受伤至手术时间为 (6.48±4.08) 天 (2~20 天)。

(二) 微创手术方案评估及规划

通过术前 CT 和 MRI 结合数字化三维重建方法来判断塌陷关节面压缩的深度、面积和体积 (图 1)。通常骨折块压缩最深处 CT 会显示出高 CT 值信号, 但有部分病例该信号不明显。此时可通过骨折块在磁共振 T2 的压脂像高信号, 可以很容易判断出骨折块的最深部位, 并确定其平面。结合数字化重建后判断关节面塌陷面积和形状, 确定关节面塌陷的中线位置, 并确定其塌陷深度 (图 2 a~c)。定位

时,球囊导针放置位置为关节面塌陷的骨折区中位线和塌陷最大深度骨折区底线的交界线处,并分别于CT同一层面的冠状位和矢状位上进行测量(图2 d、e)。并初步确定术中“栅栏”螺钉位置和方向。

四、手术方法

本研究所有手术均由同一组医师完成。

(一)麻醉与体位

病人全身麻醉或椎管麻醉后取仰卧位,患肢上止血带,常规消毒铺巾。将患侧膝关节置于高出对侧膝关节并屈曲约20°的位置后稳妥固定。

(二)骨科机器人展开及三维“C”型臂X线机采集患侧膝关节影像资料

无菌套覆盖机器人(天智航“天玑”骨科机器人)机械臂与三维“C”型臂X线机(奇目 ZIEHM VISION

RFD 3D),安装好人体和机械臂示踪器,三维“C”型臂X线机作膝关节环形扫描透视。扫描结束后将胫骨平台冠状位、矢状位及轴位图像及自动合成的三维图像资料传输至骨科手术机器人规划和控制系统。

(三)导针设计规划(球囊穿刺通道和“栅栏”螺钉)并进行复位

依据术中透视图像及控制系统生成3D图像,可精准定位胫骨外侧平台关节面骨折塌陷区空间位置。在机器人主控台车上规划球囊穿刺通道导针(1根)和“栅栏”螺钉导针(3~4根)位置,并可同步显示规划路径方向(冠状位、矢状位、轴位和3D图像)及长度(图3 a~c)。规划好引导导针方向后,移动机械臂打入全部导针。在打入“栅栏”螺钉导针时,应在保证针道稳定和不影响球囊扩张复位前提下选择部

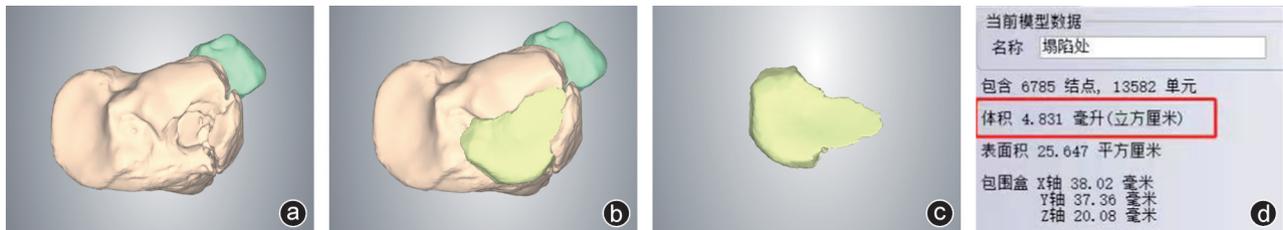


图1 数字化重建测量骨折塌陷区体积 a:骨折数字化重建;b:虚拟骨折塌陷区复位;c:单独显示缺损区;d:数字化测算塌陷体积

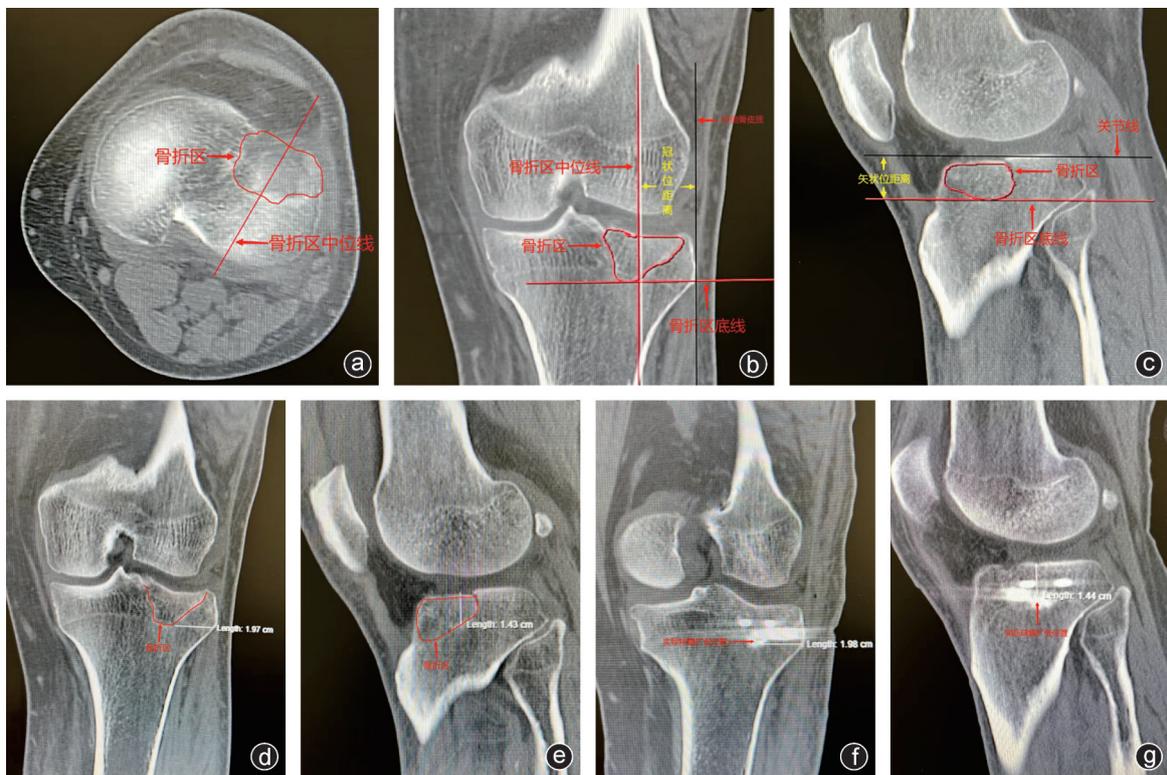


图2 球囊扩张位置的规划与测量,确定最大塌陷区CT层面(a~g为同一CT层面),在水平面与冠状位确定骨折区中位线(a,b),在冠状位与矢状位确定骨折区底线(b,c),在冠状位测量骨折区中位线与胫骨外踝骨皮质距离(b),在矢状位测量骨折区底线与胫骨关节面距离(c),测量术前规划位置数值(d,e),测量术后实际位置数值(f,g)

分进针。再次透视确认导针方向和进针深度无误后,在球囊导针与皮肤接触点切开5 mm左右长度切口,分离皮下组织直至骨面。沿导针方向使用球囊开口器建立工作通道,插入套简直至已在机器人规划软件上确定的插入长度,沿套筒下方(肢体远端方向)平行打入2~3枚2.0 mm克氏针(球囊基底支撑,控制球囊扩张方向)。透视确认方向和深度后退出导针,沿套筒置入球囊扩张器。透视确认球囊近端和远端的放射标记穿出套管并定位于骨折塌陷部位下方,连接注入好造影剂的注射器并缓慢进行球囊的扩张,扩张过程中监测球囊的体积和压力,并透视确认骨折复位情况(图3 d~f)。复位满意后释放球囊压力,取出球囊。将预置“栅栏”螺钉导针沿原方向顺势植入固定关节面。

(四)植骨及“栅栏”螺钉固定

拔出套筒远端球囊基底支撑克氏针,沿套筒注入可注射型人工骨填充球囊扩张空腔。沿“栅栏”螺钉导针拧入空心拉力螺钉。利用机器人规划3~4枚“栅栏”螺钉进行双平面固定。胫骨外髁近端螺钉的

方向自前向后,直径3.5 mm,深度为软骨下5 mm,直达塌陷骨折块的正下方,一般为2枚。远端水平方向螺钉自内向外穿过塌陷区下纵向螺钉的下方(形成螺钉之间螺纹交锁为最佳),直径6.5 mm,一般为1~2枚。螺钉形成双平面栅栏状,提供牢固的内固定作用(图3 g~j)。

(五)关节镜下验证复位并检查治疗韧带半月板损伤

术前影像学资料如显示有前交叉韧带断裂、胫骨前髁间棘骨折或半月板撕裂,则可使用膝关节镜进行下一步检查及治疗。本组病人有8例一期同时进行了膝关节镜的诊疗。胫骨平台骨折固定完成后,置入关节镜镜头,探查关节面复位情况,检查半月板及交叉韧带损伤情况,如镜下证实前交叉韧带断裂、前髁间棘骨折或半月板损伤,可在镜下进行一期微创修复及固定等治疗。进行关节镜探查的病人,术后关节腔内留置引流管一根。

合并内侧副韧带撕裂3例病人行切开修复。如术中发现球囊扩张失败,关节面明显复位不良,则转

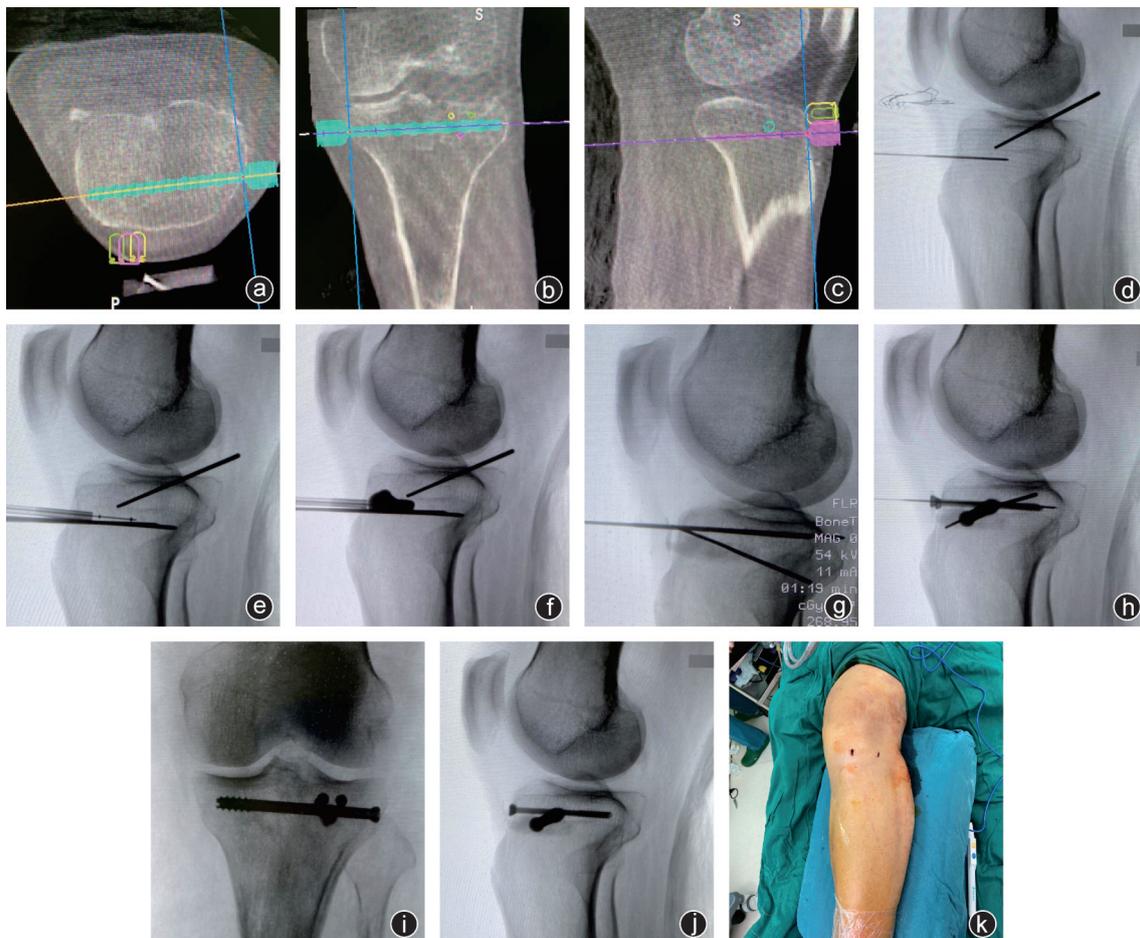


图3 术中操作 a~c:“天玑”机器人规划球囊操作通道和“栅栏”螺钉位置;d,e:置入规划导针,建立球囊操作通道;f:球囊扩张复位;g,h:植入注射型人工骨后按规划置入“栅栏”螺钉导针后拧入空心钉固定;i,j:术中透视;k:术中切口

为传统切开复位钢板内固定。本组无转为切开复位的病例。

五、术后处理

术后病人每日给予低分子肝素皮下注射预防下肢深静脉血栓形成,同时常规给予消肿、止痛、预防感染治疗。术后48 h拔除引流管(同时进行关节镜手术病人)。术后第1天即开始股四头肌等长收缩、踝关节及足趾屈伸运动。术后第二天开始佩戴膝关节活动支具并在康复医师指导下逐渐主动加强膝关节功能训练。无合并症病人术后3~7 d扶拐脚接触负重(touch/toe-touch weight-bearing, TWB)训练。术后15 d初步功能评价膝关节活动度和术后并发症发生情况。术后1、3、6、12个月定期随访复查。术后1个月开始扶拐可耐受负重(weight-bearing as tolerated, WBAT)方式负重训练。

六、评价标准

术后一周内复查CT,确定复位情况,测量胫骨平台外侧角(lateral proximal tibial angle, LPTA)、外侧胫骨平台后倾角(lateral posterior proximal tibial angle, LPPTA)。记录未完全复位骨折区体积,在术前规划定位同一CT层面测量实际球囊扩张位置(如图2 f、g)。定期随访复查时均拍摄膝关节标准的正侧位片并进行对比观察,测量并记录膝关节的活动度,采用美国特种外科医院(Hospital for Special Surgery, HSS)评分评价术后膝关节功能,包括疼痛30分、功能22分、活动度18分、屈曲畸形10分、稳定性10分和肌力10分,此外还包括三个减分项目(使用手杖或拐杖、伸直滞缺和膝关节内外翻畸形),满分为100分,其中85~100分为优、70~84分为良、60~69分为可、<60分为差。使用Rasmussen放射学评分标准评价骨折复位情况,该评分从平台塌陷、平台增宽、膝内外翻等方面进行评价,满分18分,其中18分为优、12~17分为良、6~11分为可、<6分为差。根据随访时影像学检查评估骨折愈合情况。X线片示骨折线模糊,有连续性骨痂通过骨折线为骨折愈合。

七、统计学处理

采用SPSS 28.0统计软件(IBM公司,美国)进行统计学分析。计量资料(年龄、手术时间、止血带使用时间、随访时间、手术切口长度、Rasmussen放射学评分、HSS评分、手术前后骨折区塌陷体积、LPTA、LPPTA、手术前后球囊扩张位置CT参数)经正态性检验符合正态分布,以 $\bar{x}\pm s$ 的形式表示,手术前后比较采用配对 t 检验;计数资料(Rasmussen放射学评分优良率、HSS评分优良率,关节面复位情况)

采用频数(%)的形式表示。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

结 果

一、一般结果

29例病人经机器人规划共置入“栅栏”螺钉97枚,螺钉置入准确率100%。受伤至手术时间为(6.48±4.08)天(2~20天),手术时间为(87.69±23.75)min(30~140min),止血带使用时间为(46.66±15.96)min(28~90min),骨折复位固定手术切口长度为(3.38±1.01)cm(1.2~5cm),随访时间为(15.10±6.13)个月(10~24个月),在整个随访过程中,没有病人失访。根据最终评估结果,膝关节Rasmussen评分为(17.34±1.04)分(14~18分),其中优18例,良11例,优良率为100%;HSS评分为(93.83±2.22)分(89~97分),其中优29例,优良率为100%。所有病人的伤口均一期愈合,无感染、神经损伤、血管损伤、内固定失效等并发症发生。典型病例见图4、5。

二、骨折复位质量

本组病人术后关节面复位程度为98.13%±4.14%(83%~100%)。通过手术前后CT扫描,记录手术前后骨折区域塌陷体积、LPTA和LPPTA。三组数据手术前后对比,差异均具有统计学意义($P < 0.05$,表1)。术前LPTA和LPPTA与正常膝关节均值(92°、7°)比较,差异均具有统计学意义($P < 0.05$),术后LPTA和LPPTA与正常膝关节均值比较,差异均无统计学意义($P > 0.05$)。

三、机器人置入球囊导针准确度

通过术前CT冠状位与矢状位片,在骨折塌陷最大深度处记录规划导针位置与胫骨外侧骨皮质和关节面的距离。术后CT在同一层面记录实际穿入位置的数值。对比两组数据差异无统计学意义($P > 0.05$,表2)。

四、骨折愈合

影像学上,所有病例均有良好的骨折复位并最终骨愈合,没有明显的复位丢失情况,均能恢复完全负重。人工骨完全吸收时间为(8.00±1.41)周(6~10周),骨折愈合时间(完全负重行走时间)为(9.52±

表1 骨折复位质量($\bar{x}\pm s$)

时间	LPTA(°)	LPPTA(°)	骨折区塌陷体积(cm ³)
术前	84.81±6.08	11.89±14.16	3.27±2.14
术后	91.75±0.62	7.45±1.97	0.07±0.020
t 值	-6.172	1.854	8.193
P 值	<0.001	0.037	<0.001



图4 病人,男,54岁,左AO/OTA41B2型胫骨平台骨折,术前检查显示胫骨平台外侧关节面前方塌陷 a,b:术前CT片;c,d:术前X线片;e,f:术后3天CT;g,h:使用经皮球囊胫骨成形+“栅栏”螺钉固定术后3个月X线片;i,j:术后3个月功能照

表2 机器人定位准确度($\bar{x}\pm s$,cm)

时间	CT冠状位距离	CT矢状位距离
术前规划	1.56±0.32	1.52±0.44
术后实际	1.56±0.31	1.52±0.44
t值	-0.256	-0.779
P值	0.800	0.442
实际与规划差值	0.00±0.01	0.00±0.01

1.66)周(8~12周)。

讨 论

一、球囊胫骨成形术的优势及陷阱

球囊胫骨成形术作为一种新的经皮复位方法,其微创技术、多向复位矢量、可控制的角度/膨胀、材料的柔软性和球囊的大表面积使其成为一个有吸引力的选择。该技术取得了积极的早期结果,并且越来越受欢迎^[8]。然而,与任何新技术一样,其存在着一条学习曲线和前期高达60%的术中并发症报道^[9]。目前还没有专门设计用于抬高胫骨平台塌陷关节面的球囊,临床上使用的均为椎体成形术中使用的扩张球囊。该球囊为全方向的均匀扩张,最大撑开高度一般为15~20 mm,因此选择适应证和一些细微的操作技术成为操作是否成功的关键。目前球囊胫骨成形术主要技术陷阱有:第一,球囊定位导针

的进针位置,即球囊放置位置;导针进针点和球囊放置位置,将直接决定复位效果。传统操作认为,分别于矢状面和冠状面透视确认导针位于骨折塌陷部位下方2~5 mm处^[10],但在临床中经常发现一些较大的塌陷骨块其厚度往往>5 mm。传统普通“C”型臂X线机透视,往往只能显示塌陷的软骨质位置,其根本不是塌陷骨块的最低点,也无法准确确定塌陷区域的中心位置。而且徒手操作球囊进针点确定球囊放置位置存在较大误差,即使医师在连续射线暴露前提下,往往也只能获得一个“大概”、“还行”的位置。第二,传统用于填充骨缺损的材料为聚甲基丙烯酸甲酯(polymethyl methacrylate, PMMA)骨水泥。PMMA骨水泥具有优良的外形可塑性、材料安全性能较好、化学结构稳定、强度高力学性能得到认可的优势^[11]。但其在应用中也存在如下缺点:①PMMA单体在聚合反应时,会不断放出热量^[12],容易造成周围组织的损伤;②PMMA骨水泥组成材料存在一定程度的细胞毒性^[13];③PMMA骨水泥并没有生物活性,不能诱导人体内骨组织的长入,与人体骨组织结合紧密性较差,远期容易引起骨溶解和松动^[14];④PMMA骨水泥固化后的力学机械强度大^[15],容易引起应力性骨折^[16]。第三,为减少远期并发症,目前有学者使用可吸收骨水泥+辅助螺钉固定的方式来替代PMMA骨水泥填充^[17]。然而,各种可用产品的降



图5 病人,男,35岁,左AO/OTA41B2型胫骨平台骨折 a,b:术前CT显示胫骨平台外侧关节面后方塌陷;c,d:术前数字化重建和骨折区塌陷体积测算;e~g:术中“天玑”机器人规划球囊操作通道和“栅栏”螺钉位置;h~k:机器人导航下置入定位导针并建立球囊扩张工作通道;l~o:球囊扩张复位,注射型硫酸钙植骨,沿导针拧入螺钉固定;p:关节镜检查复位关节面和半月板;q,r:术后3天CT;s~v:术后1个月X线片和关节功能照

解特性表现出很大的差异。到目前为止,还没有进行临床长期研究。这些骨水泥类型是否满足临床应用的吸收要求尚不清楚。辅助螺钉也多为使用平行螺钉固定方式,其固定强度并不足以满足早期康复和更早的负重需求^[18]。

二、通过机器人导航下球囊胫骨成形+注射型硫酸钙人工骨填充+“栅栏”螺钉固定的改良方法解决的问题

(一)选择适应证和导航精准定位

通过术前CT和MRI结合数字化三维重建方法来判断塌陷关节面压缩的深度、面积和体积。因为单个球囊有效最大撑开高度和体积限制,如果关节面塌陷高度 > 2 cm,塌陷体积 > 5 cm³,则球囊胫骨

成形术复位失败率极高。

为了提高球囊定位导针的置入准确性,我们设计了使用三维“C”型臂X线机透视结合“天玑”骨科机器人导航置入导针的方法。该方法的优势在于:术中三维透视获得的扫描图像与术前CT一致,可从矢状面、冠状面和水平面同时确认塌陷区域中心位置和最低平面;使用三维图像导航,可精确规划球囊导针和固定空心螺钉导针位置;使用机器人可确保球囊导针精准植入最佳位置,获得最大程度撑开关节面;导航可同时规划“栅栏”螺钉导针位置,并预置。通过手术前后CT对比,机器人导针定位与术前规划位置误差小于1 mm。本组病人关节面复位程度可达98.13%±4.14%(范围83%~100%),远高于文

献报道只能恢复关节面 70% 程度^[19]。

(二) 注射型硫酸钙人工骨填充+“栅栏”螺钉

“栅栏”螺钉技术是在常规软骨下骨螺钉下方再加打 1~2 枚垂直螺钉的固定技术^[18]。Jordan 等^[20]通过生物力学实验研究表明,“栅栏”螺钉技术在固定强度上明显优于单层排钉固定。Doht 等^[18]在尸体胫骨平台骨折模型上进行生物力学比较发现:只有将“栅栏”螺钉与人工骨植骨结合应用,才可避免平台关节面的复位丢失。我们充分利用了骨科手术机器人在置钉导航方面的精准性,上层排钉紧贴软骨下骨且完全平行,下方螺钉可完全垂直于上方螺钉形成“栅栏”螺钉,并可形成螺钉之间螺纹交锁状态以达到最大承压效果。螺钉位置均分布在骨折塌陷区域,螺钉长度亦可通过手术机器人精确测量,这样就保证了螺钉可一次性高精度置入,取得最佳的内固定效果并尽可能减少手术副损伤,有利于早期功能锻炼^[14-15,21]。

本组病人使用的可注射型硫酸钙,为高抗压强度可吸收人工骨。术中类似骨水泥操作,具有可塑性,固化过程中不发热,在维持骨折块复位的同时,允许螺钉通过,极大地方便了术中操作。本组病例人工骨平均吸收时间为 8 周,骨长入情况良好,所有病例骨折均一期愈合。

本组无并发症,病人术后 2~3 天开始主动膝关节屈伸活动,1 周内开始 TWB 训练,1 个月后开始 WBAT 训练,术后第 1、3、6、12 个月的 Rasmussen 评分各时间点间无显著性差异,表明在骨折愈合期内固定牢固,早期功能锻炼不会导致复位丢失。

三、本研究不足之处

本组研究病例相对较少,部分病人仍存在关节面未完全复位,远期疗效仍需观察,结论仍需更多样本研究加以证明。

参 考 文 献

- [1] Markhardt BK, Gross JM, Monu JU. Schatzker classification of tibial plateau fractures: use of CT and MR imaging improves assessment [J]. *Radiographics*, 2009, 29(2): 585-597.
- [2] Kugelman D, Qatu A, Haglin J, et al. Complications and unplanned outcomes following operative treatment of tibial plateau fractures [J]. *Injury*, 2017, 48(10): 2221-2229.
- [3] 朱燕宾, 陈伟, 张奇, 等. 胫骨平台核心负重区的概念及其临床意义 [J]. *中华骨科杂志*, 2021, 41(3): 137-140.
- [4] 张英泽. 胫骨平台骨折微创治疗策略与进展 [J]. *中华创伤骨科杂志*, 2017, 19(10): 829-832.
- [5] 焦竞, 肖飞, 黄玉成, 等. 3D 打印结合胫骨外髁截骨治疗胫骨平台后髁骨折 [J]. *中华骨科杂志*, 2018, 38(15): 913-918.
- [6] 庄岩, 王鹏飞, 张堃, 等. 经腓骨截骨入路治疗胫骨平台后外侧骨折的疗效观察 [J]. *中华骨科杂志*, 2012, 32(8): 732-738.
- [7] Ahrens P, Sandmann G, Bauer J, et al. Balloon osteoplasty—a new technique for reduction and stabilisation of impression fractures in the tibial plateau: a cadaver study and first clinical application [J]. *Int Orthop*, 2012, 36(9): 1937-1940.
- [8] Broome B, Mauffrey C, Statton J, et al. Inflation osteoplasty: *in vitro* evaluation of a new technique for reducing depressed intra-articular fractures of the tibial plateau and distal radius [J]. *J Orthop Traumatol*, 2012, 13(2): 89-95.
- [9] Mauffrey C, Fader R, Hammerberg EM, et al. Incidence and pattern of technical complications in balloon-guided osteoplasty for depressed tibial plateau fractures: a pilot study in 20 consecutive patients [J]. *Patient Saf Surg*, 2013, 7(1): 8.
- [10] Mauffrey C, Roberts G, Cuellar DO, et al. Balloon tibioplasty: pearls and pitfalls [J]. *J Knee Surg*, 2014, 27(1): 31-37.
- [11] 傅焯健, 利春叶, 陈扬. 医用植入材料 PMMA 骨水泥改性的研究进展 [J]. *生物骨科材料与临床研究*, 2020, 17(6): 71-74.
- [12] Lewis G. Properties of nanofiller-loaded poly (methyl methacrylate) bone cement composites for orthopedic applications: a review [J]. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*, 2017, 105(5): 1260-1284.
- [13] Hoess A, López A, Engqvist H, et al. Comparison of a quasi-dynamic and a static extraction method for the cytotoxic evaluation of acrylic bone cements [J]. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 2016, 62: 274-282.
- [14] Sheafi EM, Tanner KE. Influence of test specimen fabrication method and cross-section configuration on tension-tension fatigue life of PMMA bone cement [J]. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2015, 51: 380-387.
- [15] Persson C, Robert E, Carlsson E, et al. The effect of unsaturated fatty acid and triglyceride oil addition on the mechanical and antibacterial properties of acrylic bone cements [J]. *J Biomater Appl*, 2015, 30(3): 279-289.
- [16] López A, Mestres G, Karlsson Ott M, et al. Compressive mechanical properties and cytocompatibility of bone-compliant, linoleic acid-modified bone cement in a bovine model [J]. *J Mech Behav Biomed Mater*, 2014, 32: 245-256.
- [17] Greimel F, Weber M, Renkawitz T, et al. Minimally invasive treatment of tibial plateau depression fractures using balloon tibioplasty: clinical outcome and absorption of bioabsorbable calcium phosphate cement [J]. *J Orthop Surg (Hong Kong)*, 2020, 28(1): 2309499020908721.
- [18] Doht S, Lehnert T, Frey S, et al. Effective combination of bone substitute and screws in the jail technique: a biomechanical study of tibial depression fractures [J]. *Int Orthop*, 2012, 36(10): 2121-2125.
- [19] Cuzzocrea F, Jannelli E, Ivone A, et al. Arthroscopic-guided balloon tibioplasty in Schatzker III tibial plateau fracture [J]. *Joints*, 2019, 6(4): 220-227.
- [20] Jordan MC, Zimmermann C, Gho SA, et al. Biomechanical analysis of different osteosyntheses and the combination with bone substitute in tibial head depression fractures [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2016, 17: 287.
- [21] 黄玉成, 焦竞, 吴石磊, 等. 机器人导航下球囊胫骨成形螺钉固定治疗 Schatzker II、III 型胫骨平台骨折 [J]. *中华骨科杂志*, 2023, 43(22): 1524-1532.

(收稿日期: 2024-06-06)

(本文编辑: 龚哲妮)

引用格式

焦竞, 黄玉成, 陈明, 等. 机器人辅助下联合球囊复位与经皮栅栏螺钉固定治疗 AO/OTA41B2 型胫骨平台骨折的近期疗效观察 [J]. *骨科*, 2024, 15(5): 402-409. DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2024.05.004.