

3D 打印结合关节镜辅助治疗胫骨平台骨折与传统手术的疗效对比^{*}

项 毅¹,张 政²,韩 喜¹,谢 伟^{2△},杨 柳³,邓孝臣¹

(1. 中国人民解放军联勤保障部队第九八五医院骨科,太原 030001;2. 中国人民解放军联勤保障部队第九八五医院放射科,太原 030001;3. 陆军军医大学西南医院关节外科,重庆 400038)

[摘要] **目的** 对比研究 3D 打印结合关节镜治疗胫骨平台骨折与传统手术的临床疗效。**方法** 回顾性分析 2015 年 11 月至 2018 年 12 月中国人民解放军联勤保障部队第九八五医院骨科收治的 39 例胫骨平台骨折患者资料。其中 3D 打印关节镜组 16 例,术前采用三维 CT 重建,建立并打印骨折 3D 模型,依据 3D 实物模型预演手术,最后在关节镜辅助下完成手术。传统手术组 23 例,行常规膝关节正侧位 X 线片、CT 及 MRI 检查、术前准备及手术。对比两组手术时间、术中透视次数、手术并发症发生率及术后 1 年膝关节 Rasmussen 评分和纽约特种外科医院膝关节评分(HSS)。**结果** 39 例患者均获得随访,随访时间 12~35 个月,平均 18 个月。3D 打印关节镜组比传统手术组手术时间缩短,术中透视次数减少,术后 Rasmussen 评分及术后 1 年膝关节功能 HSS 评分较高,两组间差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** 与传统手术相比,3D 打印结合关节镜辅助治疗胫骨平台骨折,能够缩短手术时间,提高骨折复位满意度,获得更好的膝关节功能。

[关键词] 胫骨平台骨折;3D 打印;关节镜;手术治疗

[中图分类号] R683

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2021)01-0049-05

Comparative outcomes study of tibial plateau fractures treated by 3D printing technology combined with arthroscopy and traditional surgery^{*}

XIANG Yi¹,ZHANG Zheng²,HAN Xi¹,XIE Wei^{2△},YANG Liu³,Deng Xiaochen¹

(1. Department of Orthopaedics, the 985 Hospital of Logistics Support Forces of Chinese PLA, Taiyuan, Shanxi 030001, China; 2. Department of Radiology, the 985 Hospital of Logistics Support Forces of Chinese PLA, Taiyuan, Shanxi 030001, China; 3. Department of Joint Surgery, Southwest Hospital of Army Medical University, Chongqing 400038, China)

[Abstract] **Objective** To compare the clinical outcomes between application of 3D printing technology combined with arthroscopy and traditional surgery in treatment of the tibial plateau fractures. **Methods** The clinical data of 39 patients with tibial plateau fractures from November 2015 to December 2018 were retrospectively reviewed. Among the 16 patients in the 3D printing arthroscopy group, the preoperative 3D CT reconstruction was used to establish and print the 3D fracture model, and the operation was performed according to the 3D physical model. Finally, the operation was completed under the assistance of arthroscopy. In the traditional surgery group, 23 patients received conventional anterior and lateral knee X-ray, CT and MRI examination, preoperative preparation and surgery. The operation time, number of intraoperative fluoroscopy, incidence of surgical complications, and 1 year after surgery, Rasmussen score of knee joint and hospital for Special Surgery knee joint Score (HSS) 1 year after surgery were compared between the two groups. **Results** All 39 patients completed the follow-up. The mean follow-up time was 18 months (from 12 to 35). Compared with the traditional surgical group, the operation time shortened in the 3D printing arthroscopy group, fewer intraoperative fluoroscopy, Rasmussen score and 1 year after knee joint function after surgery for HSS score is higher, all differences between the two groups were statistically significant ($P<0.05$). **Conclusion** In the treatment of patients with tibial plateau fractures, compared with the traditional surgery, 3D printing technology combined with arthroscopy could shorten operative time, satisfaction for fracture reduction and improve knee function.

[Key words] tibial plateau fracture; 3D printing; arthroscopy; surgical treatment

^{*} 基金项目:国家高技术研究发展计划项目(2016YFB1101404)。 作者简介:项毅(1977—),副主任医师,硕士,主要从事骨科关节创伤方面研究。 △ 通信作者, E-mail: xiangyixiangy@163.com。

胫骨平台骨折约占全身骨折的 1%^[1],因骨折累及关节面,如处理不当,常可导致创伤性关节炎、关节不稳定及关节僵硬等不良后果。恢复关节面解剖结构、下肢正常力线和关节稳定性,从而尽可能恢复膝关节负重和运动功能是治疗的根本目的。对于有移位的胫骨平台骨折首选手术治疗^[1-2],传统手术术者常通过 X 线片、CT 及三维重建和 MRI 虚拟构想骨折情况并设计手术方案,常因与实际手术情况有偏差造成困难及风险。3D 打印技术将数字虚拟图像转化成实物,从而实现了术前精确认识骨折、精确选择内固定物类型及型号,为实现手术个体化、精确化创造了条件。本研究选取 2015 年 11 月至 2018 年 12 月中国人民解放军联勤保障部队第九八五医院骨科分别采用 3D 打印结合关节镜辅助手术和传统手术治疗的 39 例胫骨平台骨折患者的临床资料,比较其手术疗

效,现报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准:(1)胫骨平台闭合骨折,骨折至手术时间小于 3 周;(2)术前、术后均行 CT 检查;(3)随访资料完整,随访 12 个月以上。排除标准:(1)合并颅脑、胸腹损伤等严重全身复合伤;(2)既往伤侧下肢功能障碍;(3)病理性骨折;(4)合并严重的内科疾病;(5)合并伤肢多发骨折或血管神经损伤。依据上述标准,本研究共选取胫骨平台骨折患者 39 例,根据是否采用术前 3D 打印建模结合术中应用关节镜辅助技术分为 3D 打印关节镜组 and 传统手术组。其中 3D 打印关节镜组 16 例,传统手术组 23 例,两组病例的基线资料(性别、年龄、致伤原因、骨折分型及受伤至手术时间)具有可比性,见表 1。

表 1 两组患者一般资料的比较

项目	3D 打印关节镜组(n=16)	传统手术组(n=23)	χ^2/t /Fisher	P
男/女(n/n)	11/5	18/5	0.45	0.711 0
年龄($\bar{x}\pm s$,岁)	38.4 $\pm$ 12.8	39.0 $\pm$ 13.0	-0.16	0.874 5
骨折分型(I/II/III/IV/V/VI)	1/7/4/3/1/0	2/10/6/3/1/1	1.04	1.000 0
致伤原因(n)			0.56	0.957 9
交通事故	9	11		
坠落伤	4	6		
自行摔伤	2	3		
重物压伤	1	3		
合并损伤(n)			0.96	0.987 4
无	6	8		
内侧副韧带损伤	6	9		
外侧副韧带损伤	0	1		
前交叉韧带损伤	3	3		
半月板损伤	7	11		
受伤至手术时间($\bar{x}\pm s$,d)	4.6 $\pm$ 2.1	4.8 $\pm$ 2.7	0.25	0.806 9

1.2 方法

1.2.1 术前准备

1.2.1.1 传统手术组

所有患者术前行伤侧膝关节正侧位 X 线片、CT 及 MRI 检查,明确骨折分型、骨折粉碎及移位程度和合并关节内软组织损伤情况。

1.2.1.2 3D 打印关节镜组

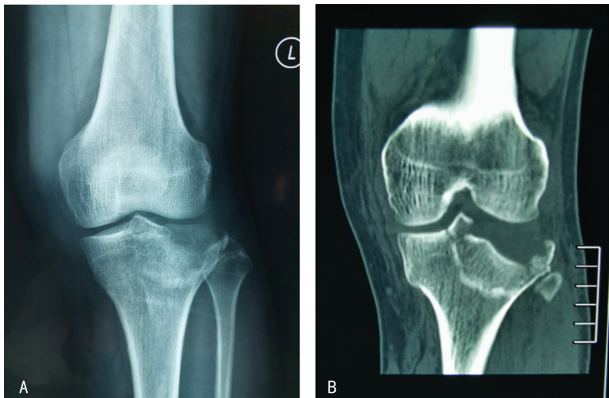
(1)术前检查与传统手术组相同,见图 1。(2)建立并打印骨折 3D 模型:将已获得的胫骨平台局部 CT (佳能 Aquillin One 320 排螺旋 CT)二维 DICOM 格式图像导入 Mimics17(3D Slicer 软件 4.10.2 版本)生成 3D 数字模型,再导入切片软件(Materialise Magics21.0 版本)进行切片打印,选取恒光固化 250

打印机平台,应用光敏树脂材料完成打印,获得骨折 3D 实物模型。(3)应用 3D 模型模拟手术:仔细观察模型中骨折线走行、骨折塌陷粉碎情况及骨折部位与重要解剖标志的位置关系,选择适合的内固定材料在模型上预演手术,术前基本确定手术所需内固定材料型号、尺寸及切口选择位置,见图 2。

1.2.2 手术方法

所有患者均根据具体情况采用腰硬联合麻醉或全身麻醉,患者取平卧位。传统手术组:根据术前影像学结果选择切口,Schatzker I~III 型骨折选择外侧入路,IV 型骨折选择内侧入路,V、VI 型骨折采用内外双侧入路或外侧入路。按照常规手术方法切开皮肤、皮下组织,显露骨折端,复位各骨折块,塌陷骨折在塌

陷位置下方骨皮质开窗,恢复关节面高度及平整度。塌陷部位植骨,术中透视确定骨折复位满意后选择适合的内固定材料,塑形钢板,依次植入螺钉,合并内外侧副韧带损伤进行一期修复,6 例半月板一期缝合,另外 5 例半月板损伤因传统手术操作不便二期行关节镜手术修复,前交叉韧带损伤均二期手术重建。3D 打印关节镜组:首先进行关节镜探查,见图 3,取膝前外侧标准入路建立灌注系统(灌注压力略低于常规关节镜手术),冲洗关节内积血后行关节腔探查,处理关节内合并损伤,半月板损伤行部分切除或缝合,前交叉韧带胫骨止点撕脱骨折行骨折复位空心加压螺钉内固定(前交叉韧带实质部断裂病例因骨折妨碍建立完整牢固的胫骨隧道而在骨折愈合后二期行前交叉韧带重建术),清理骨折端凝血块及软骨碎屑,镜下观察骨折线走行方向、移位程度、关节面塌陷程度和软骨缺损情况。Schatzker I 型骨折仅需根据术前 3D 模型确定的螺钉植入部位、方向做一 1~2 cm 辅助切口,钻入克氏针撬拨复位,关节镜监视关节面恢复平整后按照预定方向植入合适长度的空心加压螺钉 1~2 枚。Schatzker II~VI 型骨折根据术前三 3D 模型上确定的手术入路选择切口,显露骨折端后,按照术前计划依次复位骨折块,根据术前确定的部位开窗,在关节镜监视下抬升复位塌陷的关节面直至恢复平整,骨缺损部位植骨,克氏针临时固定后,将事先选定并预弯好的钢板参考骨性标志置入合适的部位,测量螺钉所需长度(参考术前大致确定的螺钉长度)依次植入螺钉完成固定,见图 4、5。



A: 术前 X 线片; B: 术前 CT 图像。

图 1 术前影像学检查

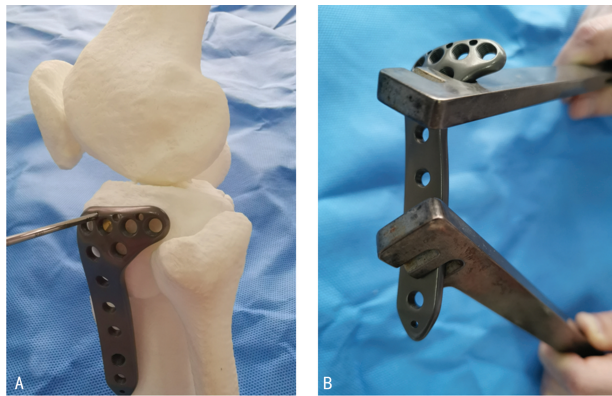
1.2.3 术后处理

(1)抬高患肢,局部冰敷 48 h,术后 24~48 h 根据引流量拔除负压引流管;(2)膝关节铰链支具制动,每日解锁支具行患膝屈伸功能锻炼 3~4 次,鼓励患者行股四头肌功能锻炼,避免股四头肌萎缩及下肢深静脉血栓形成,促进肢体肿胀消退。(3)避免下肢过早负重,根据复查 X 线片及 CT 观察的骨折愈合情况决定负重时间,一般于术后 8~12 周逐渐开始负重功能锻炼。(4)术后 1~3 d 内复查 X 线片及 CT,术后 1、

2、3、6 个月及术后 1 年门诊复查随访,根据 X 线片及 CT 判断骨折愈合情况,记录患者膝关节功能并评分。

1.2.4 疗效评价

(1)术中评价指标:手术时间、术中 X 线曝光次数。(2)术后复位满意程度:选择术后第一次复查 X 线片应用影像学 Rasmussen 评分^[3]进行评价。(3)术后功能评分:选用 HSS 评分系统^[4]评价患者术后 1 年随访时的膝关节功能。



A: 术前 3D 打印胫骨平台骨折模型; B: 术前根据需要预弯钢板,模拟骨折固定手术。

图 2 3D 模型模拟手术



图 3 术中关节镜探查



图 4 术中图片

1.3 统计学处理

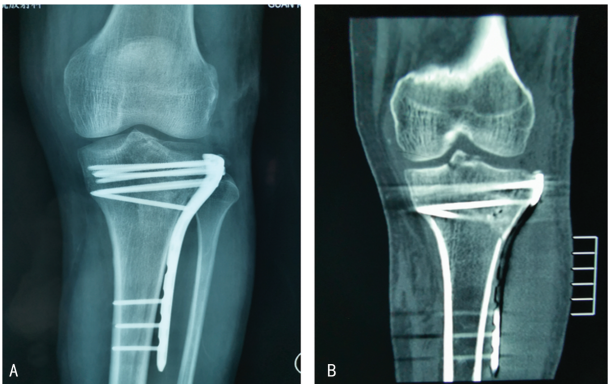
应用 SPSS 19.0 软件对数据进行统计学分析。计量资料(手术时间、术中透视次数、术后影像学 Rasmussen 评分、术后 1 年膝关节功能 HSS 评分)以 $\bar{x} \pm s$ 表示,采用 t 检验;计数资料(术后是否发生并发症)

以百分率表示,采用 χ^2 检验/Fisher 精确检验,以 $P<0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结 果

39 例患者均获得随访,随访时间 12~35 个月,平均 18 个月。3D 打印关节镜组比传统手术组手术时间缩短,术中透视次数减少,术后第一次复查 X 线片的影像学 Rasmussen 评分及术后 1 年膝关节功能 HSS 评分高,两组间差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2。3D 打印关节镜组术后出现 1 例切口延迟愈合,经换药后愈合,1 例关节粘连,经手法松解恢复;传统手术组术后发生 3 例切口延迟愈合,经换药后愈合,4 例关节不同程度粘连,其中 3 例手法松解恢复,1 例关节镜手术松解恢复。两组均未发生下肢深静脉血栓、血管神经损伤、感染等并发症。两组术后并发

症发生率差异无统计学意义($P>0.05$),见表 2。



A: 术后 X 线片; B: 术后 CT 图像。
图 5 术后影像学检查

表 2 两组患者手术时间、术中透视次数、HSS 评分、Rasmussen 评分及并发症的比较

组别	n	手术时间 ($\bar{x}\pm s$, min)	术中透视次数 ($\bar{x}\pm s$, 次)	HSS 评分 ($\bar{x}\pm s$, 分)	Rasmusse 评分 ($\bar{x}\pm s$, 分)	并发症 [n(%)]
3D 打印关节镜组	16	69.7 $\pm$ 10.0	6.4 $\pm$ 1.4	94.1 $\pm$ 2.5	17.0 $\pm$ 1.0	2(12.5)
传统手术组	23	104.5 $\pm$ 9.8	10.3 $\pm$ 2.1	91.7 $\pm$ 2.8	15.7 $\pm$ 1.4	7(30.4)
检验统计量		10.870	6.257	2.713	2.484	0.849
P		<0.001	<0.001	0.010	0.018	0.357

3 讨 论

膝关节是人体重要的负重关节,而胫骨平台作为膝关节的重要承重结构,发生骨折将严重影响膝关节功能。胫骨平台骨折常为暴力损伤所致,并有约 50% 的患者合并半月板及膝关节韧带等软组织损伤^[5],如果治疗方法选择不当,将导致膝关节力线畸形、稳定性下降、活动受限等,远期可发生创伤性关节炎,大大增加膝关节致残率^[1,6]。虽然以往对于关节面移位较轻的胫骨平台骨折采用保守治疗的效果尚可接受,可能导致膝关节部分活动度的永久丢失^[2]。随着外科手术技术发展,通过手术恢复关节面平整、恢复下肢正确力线,稳定的内固定恢复膝关节稳定性及早期科学的功能锻炼恢复膝关节功能等理念已为外科医生广泛接受^[1,7]。因胫骨平台解剖结构复杂,骨折常涉及分离、压缩、成角、塌陷及骨缺损等诸多问题,传统手术往往基于 X 线片及二维 CT 等影像资料进行术前计划,术者很难在术前对骨折进行全面准确的了解^[8],容易造成术中复位不完全,关节面残留塌陷、植骨不充分及内固定钢板型号和螺钉尺寸选择不当等,增加了手术风险及难度,易导致手术效果不满意,影响术后功能恢复^[9-11]。

近年来随着 3D 打印技术的发展,该技术逐步被广泛应用到医学领域^[12-14]。3D 打印技术通过将数字模型转化为实物模型,为现代骨科精准化、个性化治疗的发展方向提供了有力的技术保障,实现了以往复杂骨科手术的简单化,减小了手术创伤,提高了手术质量。从 3D 打印模型逐步发展到 3D 打印导板和 3D

打印假体等,从各部位复杂骨折手术^[15-16]拓展到关节置换和翻修^[17-18]、脊柱外科^[19],为骨科医师提供了崭新的手术思路,获得满意的疗效。对比本研究中 3D 打印关节镜组和传统手术组的各项疗效评价指标,可以发现:3D 打印关节镜组手术时间短、术中透视次数少、术后解剖复位(Rasmussen 评分)满意度高、术后 1 年随访膝关节功能(HSS 评分)较好,两组比较差异均有统计学意义($P<0.05$)。分析原因,笔者认为:将 3D 打印技术应用于胫骨平台骨折的手术治疗,首先能够实现医生术前对骨折直观、准确、全面的认识,充分了解各骨折块的移位特点,发现重叠隐秘的骨折块,准确测量骨折塌陷程度并计算植骨量,科学合理地设计手术入路和选择内固定材料;其次能够提供骨折实物模型,便于术前在体外预演手术过程,提前预弯内固定钢板并测量螺钉尺寸,避免了术中钢板螺钉与骨骼不匹配导致固定效果不佳,或者由于临时预弯钢板浪费手术时间,增加手术风险;再者基于 3D 模型制订的手术方案有助于术中按照科学的步骤精确完成骨折复位,不仅能避免术中反复调整手术方案,减轻对软组织不必要的副损伤,有利于获得术后良好的功能,还能明显减少术中透视次数,降低患者和手术人员的辐射量;最后是将关节镜应用于 3D 打印关节镜组病例的手术中,充分发挥了关节镜在治疗关节内骨折的优势:提供良好的关节内视野,有助于了解和处理关节内各结构的损伤,利用关节镜对关节面的复位直接观察,镜下清除嵌入的小骨片和破碎的半月板,有利于复位,反复冲洗去除凝血块、纤维素渗出防

止关节粘连等^[20-21]。3D 打印组术后并发症发生率略低于传统手术组(12.5% vs. 30.4%),但两组比较差异无统计学意义($P>0.05$),考虑可能由于病例数较少或两种方法与术后并发症发生率确实无明显相关性,待今后增加病例数进一步研究。

综上所述,应用 3D 打印技术结合关节镜技术治疗胫骨平台骨折具有手术时间短、创伤小、手术精度高、术后功能好等优势,符合目前骨科手术微创化、精确化、个体化治疗的趋势,有很好的应用前景。但同时仍存在不足:(1)该技术缺乏对骨折周围软组织的成像,不能反映重要血管、神经和骨折的关系,导致在打印模型手术和实际手术操作存在较大差异^[5,11];(2)目前的 3D 打印技术操作过程较复杂,手术医师需要放射及软件专业技术人员配合完成手术,因此该技术未来应向操作简便、易于临床医生掌握的方向发展;(3)该技术目前耗费时间长、费用较高,因此不能用于开放性骨折等急诊手术,也不便于在基层医院广泛开展^[5,10]。

参考文献

- [1] BEISEMANN N, KEIL H, SWARTMAN B, et al. Intraoperative 3D imaging leads to substantial revision rate in management of tibial plateau fractures in 559 cases[J]. J Ortho Surg Res, 2019, 14(1): 236-241.
- [2] 李煜, 刘玉民, 张宁, 等. 胫骨平台骨折 Schatzker 分型与膝关节功能相关性分析[J]. 重庆医学, 2016, 45(12): 1629-1631.
- [3] RASMUSSEN P S. Tibial condylar fractures. Impairment of knee joint stability as an indication for surgical treatment[J]. J Bone Joint Surg Am, 1973, 55(7): 1331-1350.
- [4] GHAZAVI M T, PRITZKER K P, DAVIS A M, et al. Fresh osteochondral allografts for post traumatic osteochondral defects of the knee[J]. J Bone Joint Surg Br, 1997, 79(6): 1008-1013.
- [5] 葛志强, 杨振环, 崔书伟, 等. 3D 打印技术辅助下内固定治疗 Schatzker VI 型胫骨平台骨折疗效分析[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2019, 34(8): 855-857.
- [6] WU W Y, XU W G, WAN C Y, et al. Preoperative plan with 3D printing in internal and external fixation for complex tibial plateau fractures[J]. Orthop Surg, 2019, 11(4): 560-568.
- [7] 徐晓, 王雷涛, 贾兆锋, 等. 胫骨平台骨折诊治的研究进展[J]. 生物骨科材料与临床研究, 2017,

- 14(1): 69-72, 76.
- [8] 汪文章, 刘剑, 张猛. CT 扫描重建技术在胫骨平台骨折及 Schatzker 分型中的应用[J]. 重庆医学, 2014, 43(7): 843-844.
- [9] LIN S, MAUFFREY C, HAMMERBERG E M, et al. Surgical site infection after open reduction and internal fixation of tibial plateau fractures[J]. Eur J Orthop Surg Traumatol, 2014, 24: 797-803.
- [10] 邵佳申, 常恒瑞, 郑占乐, 等. 3D 打印辅助手术治疗胫骨平台骨折疗效的 Meta 分析[J]. 中国组织工程研究, 2017, 21(23): 3767-3772.
- [11] 何志勇, 张擎柱, 林影影, 等. 传统手术与应用 3D 打印技术后手术治疗复杂胫骨平台骨折的疗效比较[J]. 中国矫形外科杂志, 2016, 24(8): 682-686.
- [12] 施洪臣, 连运通, 裴延军, 等. 三维扫描及其衍生技术在医学领域的应用进展[J]. 中国医学装备, 2020, 17(1): 163-167.
- [13] 张春声, 李海燕, 徐如祥, 等. 生物 3D 打印在神经外科领域中的研究进展[J/CD]. 中华神经创伤外科电子杂志, 2020, 6(1): 57-60.
- [14] 黄楚红, 黄文华, 黄国志. 3D 打印技术在康复医学中的应用与研究进展[J]. 中国康复医学杂志, 2020, 35(1): 95-99.
- [15] 张涵, 何斌, 王伯尧, 等. 3D 打印技术应用于肩胛骨骨折的手术前规划[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(12): 1864-1869.
- [16] 张忠岩, 祁同宁, 穆怀昭, 等. 髌臼骨折固定中 3D 打印技术辅助虚拟手术计划的疗效评价[J]. 中国组织工程研究, 2020, 24(15): 2405-2409.
- [17] 颜荣耀. 3D 打印个性化截骨导板辅助行全膝关节置换术的应用[J]. 临床合理用药杂志, 2020, 13(2): 122-123.
- [18] 丁育健, 王凌, 高剑锐, 等. 3D 打印技术辅助全髌关节翻修 1 例报道[J]. 中华骨与关节外科杂志, 2019, 12(11): 906-909.
- [19] 俞海亮, 韩莹松, 曾凯斌. 计算机辅助设计联合 3D 打印技术在颈椎骨折脱位的临床运用分析[J]. 临床外科杂志, 2019, 27(12): 1053-1055.
- [20] 杨先武, 李昌坤, 张斌, 等. 关节镜辅助下微创锁定钢板内固定治疗胫骨平台骨折疗效分析[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2018, 33(12): 1306-1308.
- [21] 刘军川, 文良元, 纪泉, 等. 关节镜辅助微创治疗胫骨平台骨折的疗效观察[J]. 解放军医学院学报, 2018, 39(8): 670-673.