

· 技术创新 ·

3D 打印聚醚醚酮假体重建锁骨恶性肿瘤切除后缺损[△]

朱昱衡, 肖砚斌*, 李凌, 李文忠, 张漾杰, 康建平, 肖渝, 田昌平, 王寒, 许昊俊

(云南省肿瘤医院, 昆明医科大学第三附属医院, 云南昆明 650118)

摘要: [目的] 介绍 3D 打印聚醚醚酮 (polyetheretherketone, PEEK) 假体重建锁骨肿瘤切除后缺损的手术技术及初步临床效果。[方法] 对 5 例锁骨恶性肿瘤患者行“锁骨瘤段切除+3D 打印 PEEK 假体重建术”。其中病灶累及锁骨外侧段 3 例、内侧段 2 例, 发生病理性骨折 2 例。参照患者健侧锁骨形态使用计算机建模后, 3D 打印制备个性化假体及截骨导板, 术中根据肿瘤部位切断胸锁韧带或肩锁韧带, 另一侧使用截骨导板辅助截骨, 整块切除瘤段。置入 3D 打印制备的个性化假体并使用锁定钢板将保留端的正常锁骨与假体紧密连接固定, 使用锚钉重建切断的胸锁韧带或肩锁韧带。[结果] 患者均顺利完成手术, 无神经、血管损伤等并发症。术后切口均 I 期愈合, 无感染者。随访 2~26 个月, 术后患者肩外形、功能恢复良好, 随访期内未发现局部肿瘤复发, 未见明显排斥反应等并发症发生。[结论] 锁骨瘤段切除+3D 打印 PEEK 假体重建术治疗锁骨恶性肿瘤技术可行, 近期疗效满意。

关键词: 锁骨恶性肿瘤, 整块切除, 骨缺损, 3D 打印聚醚醚酮假体, 重建

中图分类号: R738.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1005-8478 (2024) 15-1410-05

3D printed polyetheretherketone prosthesis for defect reconstruction secondary to en bloc resection of clavicular malignant tumor // ZHU Yu-heng, XIAO Yan-bin, LI Ling, LI Wen-zhong, ZHANG Yang-jie, KANG Jian-ping, XIAO Yu, TIAN Chang-ping, WANG Han, XU Hao-jun. Oncological Hospital of Yunnan Province, Kunming Medical University, Kunming 650118, China

Abstract: [Objective] To introduce the surgical technique and primary clinical outcomes of 3D printed polyetheretherketone prosthesis for defect reconstruction secondary to en bloc resection of clavicular malignant tumor. [Methods] A total of 5 patients underwent above-mentioned surgical treatment for clavicular malignancy. The lesion involved the lateral segment of the clavicle in 3 cases, while the medial segment in 2 cases, with pathological fracture in 2 cases. After computer modeling based on the shape of the clavicle on the healthy side of the patient, personalized prosthesis and osteotomy guide plate were prepared by 3D printing. The sternoclavicular ligament or acromioclavicular ligament was cut off according to the location of the tumor during the operation, and the osteotomy guide was used to assist the osteotomy on the other side to remove the tumor segment en bloc. The personalized prosthesis prepared by 3D printing was implanted, and connected and fixed with the normal clavicle at the reserved end by using locking plates, with reattachment of the sternoclavicular ligament or acromioclavicular ligament by anchor sutures. [Results] All the patients were successfully operated on without nerve, vascular injury and other complications, got incisions healed in stage I without infection. The patients were followed up for 2 to 26 months, had the shape and function of the shoulder recovered well after the operation. No local tumor recurrence was found during the follow-up period, and no obvious rejection and other complications were observed. [Conclusion] The 3D printed polyetheretherketone prosthesis for defect reconstruction secondary to en bloc resection of clavicular malignant tumor is a feasible technique, and achieves satisfactory clinical consequences in short-term.

Key words: clavicular malignancy, en bloc resection, bone defect, 3D printed polyetheretherketone prosthesis, reconstruction

锁骨为 S 形弯曲长骨, 是肩胛带的组成部分, 具有维持肩关节的正常功能、保护锁骨下血管神经及维持肩部外观等作用^[1], 锁骨原发恶性肿瘤发病率较低, 据统计锁骨肿瘤仅占所有骨肿瘤的 0.5%~1.0%^[2]。锁骨全部或部分切除是治疗锁骨恶性肿瘤

的常用方法, 由于锁骨部分切除后造成的缺损可能会引起肩关节或者肩带的不稳定, 并会进一步导致肩部无力、疼痛、活动受限、臂丛神经损害和肩下垂等并发症, 影响患者生活质量。因此近年来许多学者认为在锁骨部分切除后进行重建, 有利于恢复锁骨的正常

DOI:10.20184/j.cnki.Issn1005-8478.091043

[△]基金项目: 云南省科技厅-云南大学联合基金项目(编号:2019FY003031); 昆明医科大学硕士研究生创新基金项目(编号:2022S313)

作者简介: 朱昱衡, 在读硕士研究生, 研究方向: 骨与软组织肿瘤, (电子信箱)741689296@qq.com

* 通信作者: 肖砚斌, (电子信箱)xiaoybbt@163.com

形态和功能,防止肩关节功能障碍。锁骨全部或部分切除后由于很难找到合适形状的假体,因此主要是使用自体肋骨、腓骨、异体骨和骨水泥进行骨缺损的修复、重建^[3]。近年来,随着对骨科植入材料研究的深入以及 3D 打印技术在医学领域的应用,使得制备个性化且性能优良的假体修复不同部位骨缺损成为可能^[4]。

聚醚醚酮 (polyetheretherketone, PEEK) 是一种具有优良的力学性能、稳定的化学性能、卓越的生物相容性及 X 射线透射性、磁共振兼容性、高温耐用性等优点的人工高分子材料^[5], 现已被越来越多地作为骨修复材料应用于临床。目前应用 3D 打印 PEEK 材料假体重建锁骨恶性肿瘤切除后骨缺损的报道罕见, 本院 2020 年 2 月—2022 年 8 月对 5 例锁骨肿瘤患者行“锁骨瘤段切除+3D 打印 PEEK 材料假体重建术”, 取得了满意的近期临床效果。

1 手术技术

1.1 术前准备

术前所有患者均评估患侧肩关节功能, 予以支具临时固定, 行双侧肩关节正斜位 X 线片、CT、MRI 等检查, 以评估局部及全身情况, 并行穿刺取材活检或开放取材活检术明确病理诊断, 根据病理类型行必要的术前新辅助化疗等处理, 新辅助化疗结束后再次复查相关影像学检查 (图 1a,1b)。

以患者术前最近一次的影像学检查确定手术切除范围及截骨部位, 确保术中可在安全的边界完整切除肿瘤。参照患者健侧锁骨 CT 的数据, 使用 Solid Works 软件对假体进行计算机辅助设计建模, 假体与锁骨残端接触部分为三维多孔结构, 以便后期骨组织长入, 并预留出术中使用锁骨锁定接骨板及钛合金带线铆钉重建所需要的钉道, 用医用 PEEK 材料通过 3D 打印 (熔融沉积技术) 制备 PEEK 材料假体 (图 1c), 灭菌后备用。

1.2 麻醉与体位

采取静吸复合全麻, 患者取仰卧位, 将患侧肩背部垫高 15°~20°。

1.3 手术操作

手术均由同一治疗组医师完成, 手术切口需以肿瘤为中心做横行切口, 根据需要适当做相应延伸, 并将取材活检的手术瘢痕及周围约 1 cm 的正常组织一并切除。

病灶累及锁骨外侧段的患者, 向内显露至锁骨

中段, 外侧需显露肩锁关节、喙锁关节及三角肌前头, 切断并翻起三角肌前头后切断肩锁韧带, 将锁骨外侧段提起后, 注意保护臂丛神经及锁骨下血管, 切断下方锁骨下肌, 用 PEEK 假体比对, 再次确定截骨位置后按照术前计划在安全的外科边界截断锁骨, 切断喙锁韧带, 将肿瘤及周围部分正常肌肉组织一并切除 (图 1d); 肿瘤切除后充分止血, 使用蒸馏水浸泡、碘伏盐水冲洗后置入准备好的 PEEK 材料假体及合适长度的锁骨接骨板, 使用合适长度螺钉将保留端的正常锁骨与假体、钢板紧密连接固定, 使用钛合金带线铆钉 2 枚分别于喙突及肩峰处固定铆钉, 将线尾穿过 PEEK 假体上预留的孔道后打结固定, 以重建肩锁韧带、喙锁韧带 (图 1e, 1f); 充分止血后, 反复冲洗创腔, 逐层缝合术口; 术后标本送病检。

病灶累及锁骨内侧段的患者, 则需向内显露至胸锁关节, 外侧需显露至锁骨中段, 沿肿瘤周围的正常间隙游离, 用 PEEK 假体比对, 再次确定截骨位置后按照术前计划在安全的外科边界截断锁骨后, 沿肿瘤周围的正常间隙向内游离, 并将胸锁关节解脱后, 将肿瘤及周围部分正常肌肉组织一并切除; 肿瘤切除后充分止血, 使用蒸馏水浸泡、碘伏盐水冲洗后置入准备好的 PEEK 材料假体及合适长度的锁骨接骨板, 使用合适长度螺钉将保留端的正常锁骨与假体、钢板紧密连接固定, 使用钛合金带线铆钉 1 枚于胸骨处固定铆钉, 将线穿过 PEEK 假体上预留的孔道后打结固定, 以重建胸锁关节。充分止血后, 反复冲洗创腔, 逐层缝合术口; 术后标本送病检。

1.4 术后处理

术后予以抗生素预防感染, 并及时进行远端指间关节、掌指关节、腕关节及肘关节主动活动, 以肩臂吊带固定 2 周后开始进行肩关节被动活动, 而后以不感觉疼痛为原则, 行肩关节主动外展、前屈、后伸及内外旋训练。术后 6 个月内避免患肢负重。尤文肉瘤术后按 VAC+IE 方案 (长春新碱、阿霉素、环磷酰胺+异环磷酰胺、依托泊苷) 化疗, 浆细胞瘤术后按硼替佐米+来那度胺+地塞米松方案治疗, 软骨肉瘤术后定期复查、随访。

2 临床资料

2.1 一般资料

本组患者 5 例, 其中, 男 2 例, 女 3 例; 年龄

27~63 岁, 平均 (47.4±12.6) 岁。主要临床症状为锁骨局部肿胀、疼痛, 伴肩关节活动受限; 锁骨处肿胀范围 3 cm×3 cm×2 cm ~ 6 cm×5 cm×4 cm, 病灶累及锁骨外侧段 3 例、内侧段 2 例; 其中, 发生病理性骨折 2 例。治疗前疼痛视觉模拟评分法 (visual analogue score, VAS) 进行疼痛评定, 中度疼痛 3 例 (4~6 分), 重度疼痛 2 例 (7~10 分)。根据 Enneking 功能评价标准^[6], 术前患肢功能评价良 3 例, 差 2 例。4 例行穿刺取材活检、1 例行开放取材活检明确病理诊断, 行新辅助化疗 4 例。本课题研究经昆明医科大学第三附属医院伦理委员会批准, 患者均知情同意。

2.2 初步结果

5 例患者均顺利完成手术, 术中无神经、血管

损伤等并发症。术后病理结果: 尤文肉瘤 2 例 (Enneking 分期 IIB 期 1 例, III 期 1 例), 软骨肉瘤 I 级 1 例, 浆细胞瘤 2 例。所有患者术后切口均 I 期愈合。

随访 2~26 个月, 平均 (12.8±7.7) 个月。术后患者肩外形、功能恢复良好。除 1 例术后随访未 3 个月, 其余患者根据 Enneking 功能评价标准术后 3 个月均为优。术后 3 个月仅 1 例患者上肢活动时轻度疼痛 (VAS 评分 2 分), 其余患者无明显疼痛; 3 例患者随访超过 12 个月, 功能均为优; 1 例患者 (尤文肉瘤 Enneking 分期 III 期) 术后随访 13 个月后失访, 其余患者目前仍在随访观察中, 随访期间所有患者均无局部肿瘤复发。

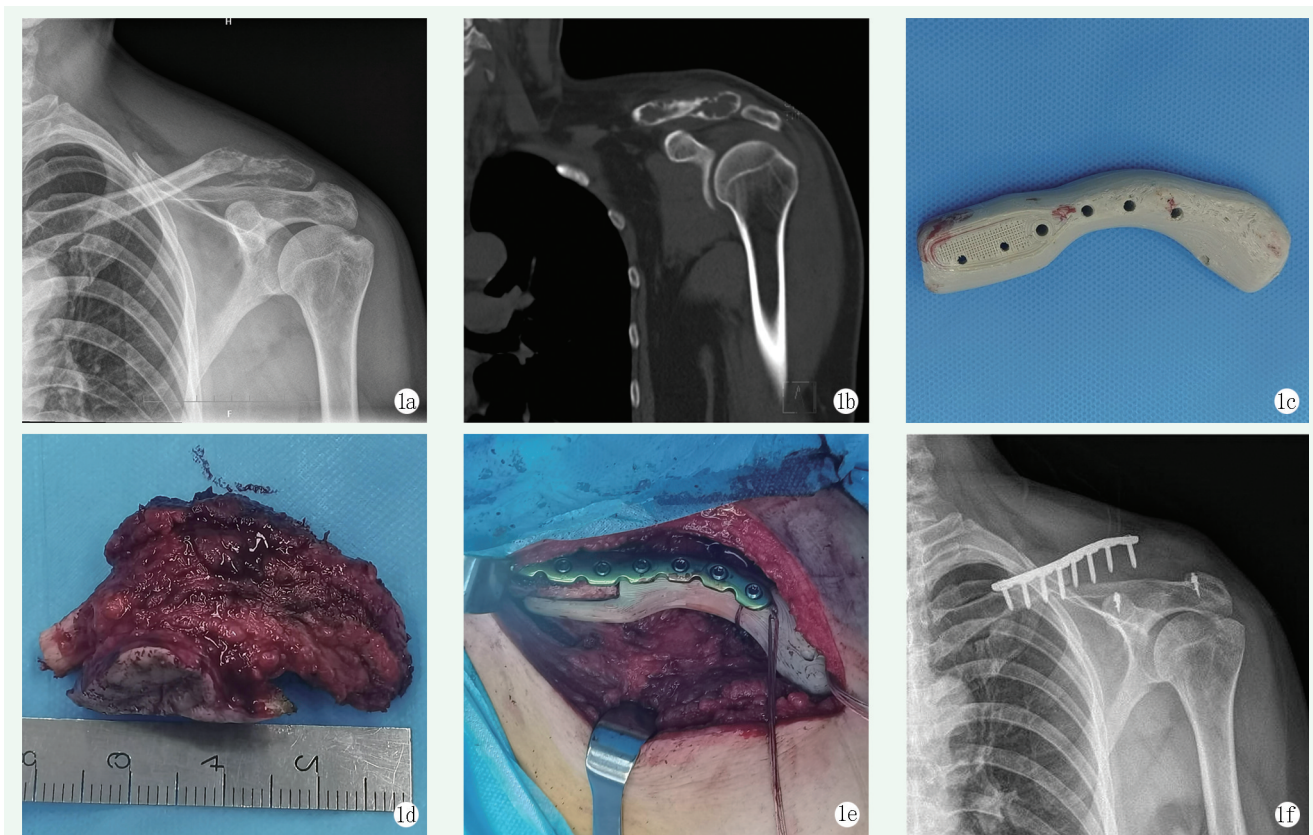


图 1. 患者男性, 45 岁, 左锁骨外侧段浆细胞瘤。1a: 术前 X 线片显示左锁骨外侧段溶骨性骨质破坏, 合并病理性骨折; 1b: CT 冠状位显示左锁骨外侧段骨质破坏, 病理性骨折, 周围有软组织肿块形成; 1c: 3D 打印的个性化 PEEK 假体, 与骨接触部分为三维多孔结构, 以及锁定接骨板钉道和缝合线穿孔; 1d: 肿瘤连同周围部分正常组织整块切除后的标本外观; 1e: 重建缺损后, 锁骨锁定接骨板将假体与保留的锁骨紧密连接, 将缝合肩锁韧带和喙锁韧带的锚钉线尾在穿过假体上预留的孔道后打结固定; 1f: 术后左肩关节正位 X 线片显示钢板及螺钉位置良好, 并可见 2 枚分别于喙突及肩峰处的锚钉。

Figure 1. A 45-year-old male suffered from plasma cell tumor in the lateral segment of the left clavicle. 1a: Preoperative radiographs showed osteolytic destruction in the lateral segment of the left clavicle with pathological fracture; 1b: Coronal CT showed bone destruction and pathological fracture in the lateral segment of the left clavicle with surrounding soft tissue mass; 1c: The 3D printed personalized PEEK prosthetics, with three-dimensional porous structure in the bone contact parts, and screw tracts for clavicular locking plate and holes for ligament sutures; 1d: Gross specimens of the en bloc resection of tumor and some surrounding normal tissues; 1e: After reconstruction of the defect, the prosthesis was closely connected with the retained clavicle by locking plate, with reattachment of acromioclavicular ligament and coracoclavicular ligament by anchor sutures on the holes designed; 1f: Postoperative anteroposterior radiographs of the left shoulder showed that the plates and screws were in good position, with anchor at coracoid process and acromion respectively.

3 讨论

由于锁骨位置表浅,在解剖显露上较为容易,所以对于锁骨肿瘤,锁骨全部或部分切除是目前常用方法,但对于锁骨肿瘤切除术后是否重建暂无统一标准。目前有相关的研究对全锁骨和大段锁骨切除旷置术后患者进行肩关节功能的随访,并获得满意的结果^[2, 7, 8],但这些研究缺乏对全锁骨和大段锁骨切除旷置术后远期疗效的观察或者存在研究病例数较少等问题。

也有研究者认为因骨科疾病行大段锁骨切除旷置术之后会造成肩关节的稳定性下降并进一步导致肩部无力、疼痛、患肢功能障碍等并发症,在锁骨切除后应对骨缺损进行重建,以恢复锁骨的正常形态和功能^[9]。目前,锁骨全部或部分切除后重建的方式主要有使用自体髂骨、腓骨^[10]及异体骨^[11]的生物重建以及使用骨水泥进行的机械重建^[12]等方式,各种重建方法有着各自的优点,相关文献中的随访研究也得到了较好的临床疗效。但因相关研究的病例数有限,因此在现有的锁骨缺损重建方法中,尚难断定不同重建方法的优劣。

本研究中5例患者,至末次随访时,均获得了满意的临床疗效,说明锁骨瘤段切除+3D打印PEEK假体重建术治疗锁骨恶性肿瘤是可行的,该技术相较于其他重建方式,主要优势在于降低假体不匹配的风险,并可以精确重建肩锁韧带、喙锁韧带或胸锁关节,增加了植入物的稳定性,提高了锁骨重建的准确性,并且PEEK材料良好的透X线性能,使得其在术后影像学检查中有特别的优势,可以更好观察术区局部情况,且可以通过CT检查在软组织窗上观察假体密度、形态,周围软组织是否有积液、积气情况;在骨窗上观察残留骨密度、形态改变,观察是否有骨与假体间骨连接形成,在多平面重组上观察二者相对关系,较为准确地判断假体位置,以及假体与锁骨之间的愈合情况^[13]。但尚需更多的病例及更长时间的随访研究对该技术的远期临床效果进行观察。

参考文献

[1] Nagano S, Tsuchimochi T, Yokouchi M, et al. Giant cell tumor of the clavicle: report of a case in a rare location with consideration of surgical method [J]. *BMC Musculoskelet Disord*, 2015, 16: 142. DOI: 10.1186/s12891-015-0604-4.

[2] 金韬, 刘巍峰, 徐海荣, 等. 锁骨肿瘤行锁骨部分或全部切除对

患者肩关节功能评价 [J]. *中国骨与关节杂志*, 2018, 7 (9): 646-649. DOI: 10.3969/j.issn.2095-252X.2018.09.002.

Jin T, Liu WF, Xu HR, et al. Ipsilateral shoulder joint function of bone tumor patients after partial or total claviclectomy [J]. *Chinese Journal of Bone and Joint*, 2018, 7 (9): 646-649. DOI: 10.3969/j.issn.2095-252X.2018.09.002.

[3] 郭征, 张涌泉. 锁骨肿瘤切除与重建 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2007, 15 (11): 801-803. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8478.2007.11.001.

Guo Z, Zhang YQ. Resection and reconstruction of clavical tumor [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2007, 15 (11): 801-803. DOI: 10.3969/j.issn.1005-8478.2007.11.001.

[4] 戚金凤, 张成. 骨肿瘤切除术后骨缺损重建研究进展 [J]. *实用骨科杂志*, 2022, 28 (7): 628-632. DOI: 10.13795/j.cnki.sgkz.2022.07.009.

Qi JF, Zhang C. Research progress in bone defect reconstruction after bone tumor resection [J]. *Journal of Practical Orthopaedics*, 2022, 28 (7): 628-632. DOI: 10.13795/j.cnki.sgkz.2022.07.009.

[5] 李艳华, 何东, 吴高义, 等. 新型骨科植入材料聚醚醚酮的研究进展 [J]. *重庆医科大学学报*, 2019, 44 (9): 1114-1117. DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.002092.

Li YH, He D, Wu GY, et al. Research advances in application of the new orthopedics implant material—polyetheretherketone [J]. *Journal of Chongqing Medical University*, 2019, 44 (9): 1114-1117. DOI: 10.13406/j.cnki.cyx.002092.

[6] Enneking WF, Dunham W, Gebhardt MC, et al. A system for the functional evaluation of reconstructive procedures after surgical treatment of tumors of the musculoskeletal system [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1993, 286 (286): 241-246.

[7] 尧浩, 杨宜, 庞李贺, 等. 锁骨尤文氏肉瘤锁骨全切术: 1例报告与综述 [J]. *中国矫形外科杂志*, 2021, 29 (23): 2154-2156. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.23.09.

Yao H, Yang Y, Pang LH, et al. Clavicular Ewing's sarcoma treated by total claviclectomy: a case report and literature review [J]. *Orthopedic Journal of China*, 2021, 29 (23): 2154-2156. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2021.23.09.

[8] Rubright J, Kelleher P, Beardsley C, et al. Long-term clinical outcomes, motion, strength, and function after total claviclectomy [J]. *J Shoulder Elbow Surg*, 2014, 23 (2): 236-244. DOI: 10.1016/j.jse.2013.05.011.

[9] Vartanian SM, Colaco S, Orloff LE, et al. Oklahoma prosthesis: resection of tumor of clavicle and chest wall reconstructed with a custom composite graft [J]. *Ann Thorac Surg*, 2006, 82 (1): 332-334. DOI: 10.1016/j.athoracsur.2005.09.029.

[10] 洪海森, 洪加源, 沙漠, 等. 锁骨骨肿瘤切除后骨缺损的修复重建研究 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2022, 37 (5): 532-534. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2022.05.026.

Hong HS, Hong JY, Sha M, et al. Repair and reconstruction of bone defects after resection of clavicular bone tumors [J]. *Chinese Journal of Bone and Joint Injury*, 2022, 37 (5): 532-534. DOI: 10.7531/j.issn.1672-9935.2022.05.026.

- [11] 郭征, 王臻, 王哲, 等. 异体锁骨移植重建锁骨肿瘤切除后骨缺损 [J]. 中国修复重建外科杂志, 2008, 22 (1): 102-105.
Guo Z, Wang Z, Wang Z, et al. Allograft of clavicle for reconstruction of bone defect after tumor resection [J]. Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery, 2008, 22 (1): 102-105.
- [12] 黄先盈, 韦昌武, 刘云, 等. 重建板骨水泥填充治疗锁骨嗜酸性肉芽肿 1 例及文献复习 [J]. 中国矫形外科杂志, 2020, 28 (9): 821-823. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.09.11.
Huang XY, Wei CW, Liu Y, et al. Clavicular acidophilic granuloma treated by reconstruction plate and bone cement filling: a case report with literature review [J]. Orthopedic Journal of China, 2020, 28 (9): 821-823. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2020.09.11.
- [13] 王春龙, 李鹏, 肖砚斌, 等. 3D 打印 PEEK 材料假体置入 CT 表现: 骨肿瘤患者 10 例 [J]. 生物骨科材料与临床研究, 2022, 19 (2): 73-76. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5972.2022.02.015.
Wang CL, Li K, Xiao YB, et al. CT features of 3D printed PEEK prosthesis implantation: 10 cases of bone tumor patients [J]. Orthopaedic Biomechanics Materials and Clinical Study, 2022, 19 (2): 73-76. DOI: 10.3969/j.issn.1672-5972.2022.02.015.

(收稿:2022-11-27 修回:2023-09-01)

(同行评议专家: 于秀淳, 杜绍良, 陆景华)

(本文编辑: 郭秀婷)

(上接 1409 页)

- Tong YX, Yang YW, Jia YF, et al. Comparison of three materials for repairing osteoporotic bone defects in rats [J]. Orthopedic Journal of China, 2022, 30 (22): 2081-2086. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2022.22.13.
- [22] 方旭, 董军峰, 赵红卫, 等. 结核性骨缺损重建材料应用现状 [J]. 中国组织工程研究, 2019, 23 (2): 298-303. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.1517.
Fang X, Dong JH, Zhao HW, et al. Current application status of materials for the reconstruction of tuberculous bone defects [J]. Chinese Journal of Tissue Engineering Research, 2019, 23 (2): 298-303. DOI: 10.3969/j.issn.2095-4344.1517.
- [23] 成杰, 丁银亮, 赵海燕, 等. 锂生物材料在骨缺损修复的研究进展 [J]. 中国矫形外科杂志, 2023, 31 (20): 1865-1869, 1874. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.20.08.
Cheng J, Ding YL, Zhao HY, et al. Research progress of lithium biomaterials in bone defect repair [J]. Orthopedic Journal of China, 2023, 31 (20): 1865-1869, 1874. DOI: 10.3977/j.issn.1005-8478.2023.20.08.
- [24] Huang CJ, Chou PK, Sher ZY, et al. A Tumor accelerator based on multicomponent bone scaffolds and cancer cell homing [J]. Polymers (Basel), 2022, 14 (16): 3340. DOI: 10.3390/polym14163340.
(收稿:2024-01-02 修回:2024-03-20)
- (同行评议专家: 陶海荣, 余方圆, 薛海滨, 关长勇)
- (本文编辑: 宁桦)