

多孔隙 3D 打印人工椎体在脊柱结核重建手术中的应用

刘艳成, 李 爽, 张净宇, 韩 岳, 苗 军, 胡永成, 马信龙

(天津医院骨科 300211 天津市)

【摘要】目的: 观察 3D 打印人工椎体应用于脊柱结核椎体重建的临床结果。**方法:** 2018 年 5 月~2021 年 6 月, 我科连续住院手术治疗 36 例脊柱结核患者, 其中 10 例采用病灶清除、3D 打印人工椎体重建, 包括 3 例定制假体, 7 例非定制假体; 男性 4 例, 女性 6 例; 年龄 26~73 岁, 中位年龄 59 岁。颈椎 1 例, 胸椎 4 例, 胸腰段 2 例, 腰椎 1 例, 腰骶段 2 例。累及 3 个相邻椎体 2 例, 2 个相邻椎体 8 例。所有患者术前接受 2 周正规抗结核药物化疗, 根据椎体病灶大小规划手术切除范围, 个体化设计假体与骨的接触面和固定模式。术后继续口服抗结核药物治疗 12~18 个月, 每月复查血沉、血常规、肝肾功能, 定期随访手术部位影像学、VAS 疼痛评分、Frankel 神经功能、假体融合情况、日常活动功能等。**结果:** 平均随访 20.1±9.1 个月(12~45 个月), 手术节段角度术前为 -24°~24°, 末次随访时为 -8°~32°, 后凸改善 0~32°。术前 VAS 评分 6.4±2.6 分, 末次随访时为 2.0±1.8 分; 末次随访 Frankel 脊髓功能分级: 8 例改善 1 级或以上, 2 例维持稳定; 除 1 例耐药结核外, 所有假体位置稳定, 无假体松动、下沉和移位。假体融合情况 Bridwell 分级为 I 级 2 例, II 级 5 例, III 级 3 例。CT 评估界面融合, 完全融合 1 例, 初步融合 4 例, 延迟融合 4 例, 不愈合 1 例。**结论:** 3D 打印人工椎体用于脊柱结核具有个体化、即刻稳定性好、融合节段少的特点; 临床短期随访疗效确切, 假体融合情况需长期随访。

【关键词】 脊柱结核; 3D 打印; 椎间融合; 肌肉骨骼结核; 脊柱感染

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2022.11.09

中图分类号: R529.2 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2022)-11-1027-07

Application of multi-pore 3D printed artificial vertebral body in spinal tuberculosis vertebral reconstruction/LIU Yancheng, LI Shuang, ZHANG Jingyu, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2022, 32(11): 1027-1033

【Abstract】 Objectives: To study the clinical outcomes of 3D printed artificial vertebrae in vertebral reconstruction of spinal tuberculosis. **Methods:** From May 2018 to June 2021, 36 patients with spinal tuberculosis were treated surgically in our department. Among them, 10 cases were treated with debridement surgery and 3D printed artificial vertebral reconstruction, including 3 cases of custom-made prosthesis and 7 cases of non-custom prosthesis. There were 4 males and 6 females, aged 26-73 years, with a median age of 59 years. Tuberculosis affected cervical spine in 1 case, thoracic spine in 4 cases, thoracolumbar spine in 2 cases, lumbar spine in 1 case, and lumbosacral spine in 2 cases. Three adjacent vertebrae were involved in 2 cases, two adjacent vertebral bodies were involved in 8 cases. All patients received anti-tuberculosis chemotherapy for 2 weeks before operation. The extent of excision was planned according to the size of lesions. The contact surface and fixation mode of prosthesis with bone were customized for individuals. Postoperative oral anti-tuberculosis drugs were given for 12-18 months. ESR, blood routine test, liver and kidney function and VAS were followed monthly. Postoperative imaging, VAS pain scales, Frankel neurological function, fusion of prosthesis, daily activity function were regularly followed. **Results:** All patients were followed up for 12-45 months(mean 20.1±9.1 months). The kyphosis angle of operative segment improved to -8°-32° at final follow-up from -24°-24° before operation, which improved 0-32°. The preoperative VAS pain score was 6.4±2.6,

基金项目: 北京卫生健康公益基金会项目(B20371FN)

第一作者简介: 男(1979-), 在读博士后, 副主任医师, 研究方向: 骨与软组织肿瘤

电话(022)60910276 E-mail: liutj2001@163.com

通讯作者: 马信龙 E-mail: mxltjy@163.com

and that at the final follow-up was 2.0 ± 1.8 . Frankel classification of spinal cord function at final follow-up: 8 cases improved at least 1 grade; 2 cases remained stable; Except 1 case of drug resistant tuberculosis, positions of all the other prosthesis were stable without loosening, subsidence or displacement. Bridwell interbody fusion grading system: grade I, 2 cases; grade II, 5 cases; and grade III, 3 cases. Interface fusion evaluated by CT: complete fusion in 1 case, preliminary fusion in 4 cases, delayed fusion in 4 cases, 1 case of nonfusion. **Conclusions:** The 3D printed artificial vertebrae have the features of individualized, good immediate stability and fewer fusion segments in spinal tuberculosis. Its short-term clinical effect is definite, while the prosthesis fusion condition needs long-term follow-up.

[Key words] Spinal tuberculosis; 3D printed; Interbody fusion; Musculoskeletal tuberculosis; Spinal infectious disease

[Author's address] Department of Orthopedics, Tianjin Hospital, Tianjin, 300211, China

脊柱结核是肺外骨结核最为好发的部位,其致残率和病死率不容忽视。规律足量使用抗结核化疗药物是脊柱结核治疗的基础^[1],当脊柱出现巨大的骨破坏和死骨,脊髓或神经受到侵蚀,有脊柱不稳定或脊柱后凸畸形等情况时,常需要手术治疗^[2]。手术主要分为前、后两个入路,由于绝大部分结核侵及前侧椎体开始,随后累及椎间盘,前入路可直接清除结核病灶和脓肿,可选择更大、更匹配的椎体重建方式,尤其适合于颈椎结核的手术^[3]。胸椎结核可选择的路径较多,包括侧前方经胸腔入路、后外侧肋骨横突入路、后正中路手术^[4]等。腰椎结核可伴发腰大肌脓肿,可选择侧前方经过腹膜后入路或者后正中入路。结核椎体和椎间盘的破坏常造成严重的脊柱后凸畸形,神经症状进一步加重,文献^[1]中建议成人脊柱结核的局部后凸大于 60° 需要手术,椎体病灶切除后需要重建其稳定性和高度,常用方法包括自体骨/异体骨、钛笼植骨^[5]等恢复椎体前柱高度,然而对于两个以上节段的椎体病灶,自体骨和钛笼等支撑有较高的内固定下沉和失败率,常需要辅助后路椎弓根钉螺钉固定加强^[4-6]。近几年,3D 打印技术在骨科中迅速开展,其量体裁衣,大面积骨接触,个体化定制的优势广泛应用于骨肿瘤域,在骨结核方面仅见于个案报道^[3]。笔者回顾观察一组连续住院患者,采用金属 3D 打印人工椎体重建病灶切除之后的骨缺损,随访观察其临床疗效。

1 资料与方法

1.1 一般资料

2018 年 5 月~2021 年 6 月,我科收治 36 例脊柱结核患者,其中 10 例采用病灶清除、3D 打印人工椎体重建手术治疗,包括男性 4 例,女性 6

例,年龄 26~73 岁,中位年龄 59 岁。包括颈椎 1 例,胸椎 4 例,胸腰段 2 例,腰椎 1 例,腰骶段 2 例。病灶累及 2 个相邻椎体 8 例,3 个相邻椎体 2 例。

脊柱结核诊断标准:(1)症状和体征与影像学(X 线片、CT、MRI)发现的结脓肿、死骨表现一致;(2)组织学检查发现干酪样坏死和朗格汉斯肉芽肿;(3)病灶组织结核菌培养阳性;(4)结核病的全身和局部症状经过正规药物治疗 6 个月以上明显改善;结合既往文献^[7],符合其中的至少 2 条即可诊断。其他辅助诊断标准:(5)ESR 升高,CRP 可升高;(6)淋巴细胞干扰素实验阳性(T-Spot);(7)PPT 实验阳性。

手术指征:符合以下任意 2 条有手术指征^[8],(1)严重的神经根疼痛或者脊髓压迫导致瘫痪;(2)严重的脊柱骨破坏导致脊柱明显不稳定;(3)严重的结核病导致后严重凸畸形,伴有脊柱疼痛或者神经系统压迫;(4)椎体大量死骨和空洞形成;(5)正规足量抗结核药物治疗 2~4 周效果不明显。手术禁忌证:(1)合并开放肺结核;(2)肝肾功能严重不全;(3)严重心脑血管疾病;(4)身体营养状况差无法耐受开放手术。

病灶清除手术目标:(1)清除椎体和间盘死骨及干酪样坏死物质;(2)清除硬膜囊侧等脊髓周围病灶,解除压迫;(3)清除椎体前方和侧方脓肿;(4)纠正脊柱畸形。椎体重建标准:(1)前路或者侧前方入路植入人工椎体;(2)设计人工椎体和宿主骨最大接触面积,个体化固定模式,减少椎体融合节段;(3)设计多模式固定模块、保证假体的初始稳定性。

1.2 定制假体的设计、打印与模拟手术

用 0.75mm 层厚的 CT 扫描脊柱病灶,获取数

据并进行三维建模(Mimics 软件)。根据骨骼灰度值,可通过手动、半自动和自动三种方式对影像进行分割。将重建的椎体结果与患者 X 线片进行核对验证重建准确性。设计假体与骨接触面设计为多孔小梁结构,以利于骨的长入。将上述椎体重建后,采用 NX10.0 软件对需要重建部分的假体进行设计,临床医生提供手术切除范围和假体设计思路,和工程师一起完成假体设计方案。根据切除病灶大小以及假体和骨的接触面,个体化假体固定模式。

将三维模型和三种型号的假体模型导入 UG 或 Magics 软件中进行模拟,进一步观察病变椎体切除范围,假体设计是否合理,模拟手术切除范围和假体置入,模拟固定模式,可选择不同螺钉固定于邻近椎体或者经椎弓根固定于后方椎体附件,然后导出 STL 格式文件,输出到打印设备进行最终假体的打印制作。该 3D 假体(北京爱康宜诚公司生产)是通过电子束熔融快速成型技术建立互相连接的微孔而制成的多孔置入物,采用钛合金材料制成,辐射灭菌包装,做出三个不同高度假体,每个相差 5mm,以备手术中灵活选择。

1.3 观察指标

(1)围手术期并发症:术中术后发生的手术目的以外的不良情况,常见的并发症包括出血、血肿压迫、发烧、肺感染、切口感染、切口裂开、肺栓塞、下肢深静脉血栓等。

(2)假体融合情况:结合既往文献^[9,10],我们采用三维 CT 评估假体和骨的界面融合情况,①界面模糊并有骨长入定义为初步骨融合;②假体内

部植骨槽完全成骨并重塑,定义为完全骨融合;③假体和骨的界面存在透亮影,定义为延迟融合。④假体塌陷、移位,定义为不愈合。

应用 Bridwell 基于站立位 X 线片的融合分级系统^[11]: I 度,伴有松质骨重塑的完全骨重建,定义为融合; II 度,植骨块完整,没有完全的松质骨重塑,但是植骨的头尾侧无透亮区域; III 度,植骨块完整,头侧或尾侧存在透亮影; IV 度,植骨块吸收未融合、伴有塌陷。

(3)临床疗效:包括血沉(erythrocyte sedimentation rate, ESR)变化,脊柱疼痛视觉模拟评分(visual analogue scale, VAS),颈椎和腰椎功能应用 Oswestry 功效障碍指数(Oswestry disability index, ODI)评定,脊髓功能采用 Frankel 分级评定,影像学观察局部脊柱序列恢复情况。

2 结果

平均随访 20.1±9.1 个月(12~45 个月),1 例胸腰段手术后侧腹部皮肤麻木,用药缓解,1 例胸椎结核术后 1 周继发胸腔积液,再次放置闭式引流 2 周治愈。VAS 脊柱疼痛评分由术前的 6.4±2.6 分下降至末次随访时的 2.0±1.8 分,脊髓功能 Frankel 分级不同程度改善或者维持稳定,术前 ODI 为 12%~91%,末次随访时为 0%~91%,ODI 改善率 0%~58%。2 例患者 ODI 功能评分术后无改善,包括 1 例为胸椎结核完全截瘫半年,手术后维持 Frankel A 级,另 1 例多重耐药结核经过调整化疗用药,三次病灶清除后临床治愈,神经功能维持 Frankel D 级(表 1)。除 1 例耐药结核外,所

表 1 临床资料

Table 1 Clinical data

	性别 Gender	年龄 Age	节段 Segment	Frankel 分级 (术前/随访) Frankel grade(P/F)	随访(月) Follow-up (m)	Bridwell 分级 Birdwell grade	CT 评估 Evaluation by CT	功能评分改 善率(%) Rate of improvement
1	男 Male	31	C5-7	C/E	45	I	完全融合 Completely fused	58
2	女 Female	73	T6/7	A/A	21	II	延迟融合 Delayed fusion	0
3	女 Female	69	T6/7	B/C	20	III	延迟融合 Delayed fusion	13
4	男 Male	54	T12/L1	D/D	20	IV	未融合 Nonfusion	0
5	女 Female	59	T7/8	C/E	18	II	初步融合 Primary fusion	30
6	女 Female	63	T12/L1	D/E	15	II	初步融合 Primary fusion	12
7	女 Female	67	L2/3	D/E	14	II	初步融合 Primary fusion	12
8	男 Male	26	T8/9	C/E	12	III	延迟融合 Delayed fusion	34
9	男 Male	39	L4-S1	D/E	12	III	延迟融合 Delayed fusion	37
10	女 Female	59	L5/S1	D/E	24	II	初步融合 Primary fusion	20

Note: P, pre-operative; F, follow-up



图 1 女, 59 岁, 入院诊断 L5/S1 结核 a、b 腰椎正侧位片可见 L5/S1 椎间隙骨破坏 c CT 片示 L5 大部分椎体及 L5/S1 椎间隙明显骨破坏伴有死骨形成, 椎体前方脓肿形成 d 矢状位腰椎 MRI 示后方椎管内脓肿形成 e、f 行病灶切除, 3D 打印假体及前方椎弓根螺钉置入设计 g、h 术后 1 周 X 线平片示假体位置良好 i、j 术后 24 个月 CT 重建示假体与椎

体牢固固定, 钉道无松动

Figure 1 A female, 59 years old, L5/S1 tuberculosis a, b Anteroposterior and lateral lumbar radiographs showed bone destruction at L5/S1 disc c Sagittal CT scan showed most of L5 vertebra and L5/S1 intervertebral space were involved and sequestrum formation, and abscess formation in front of the vertebral body d Lumbar MRI showed large vertebral canal abscess e, f Simulation of surgery showed the 3D printed vertebra was fixed by an anterior lumbar pedicle screw instrumentation g, h Radiographs at 1 week postoperatively showed the prosthesis was fixed in a good position i, j 24 months postoperatively, CT reconstruction showed solid bone fusion on the interface of bone and prosthesis without loosening

有假体位置稳定,无松动、下沉和移位(图 1、2)。假体融合情况 Bridwell 分级: I 级 2 例, II 级 5 例, III 级 3 例。CT 融合情况评估:完全融合 1 例,初步融合 4 例,延迟融合 4 例,未融合 1 例。

3 讨论

3.1 脊柱结核的诊断

脊柱结核通常出现症状到确诊需要 3~6 个

月,患者大多出现胸背部、颈肩部疼痛不适,或伴有上肢、下肢放射性疼痛,严重者可出现脊髓压迫症状。约 30% 的患者伴有结核中毒症状,包括乏力、夜间盗汗和体重下降等^[12]。寒性脓肿和淋巴结肿大比较常见,颈椎结核的脓肿为咽后壁脓肿,可表现为吞咽困难或者声音嘶哑,胸椎脓肿多为骨膜下梭形脓肿,腰椎结核脓肿沿着腰大肌筋膜向下流注,表现为腰大肌脓肿,脓肿沿着髂腰肌和

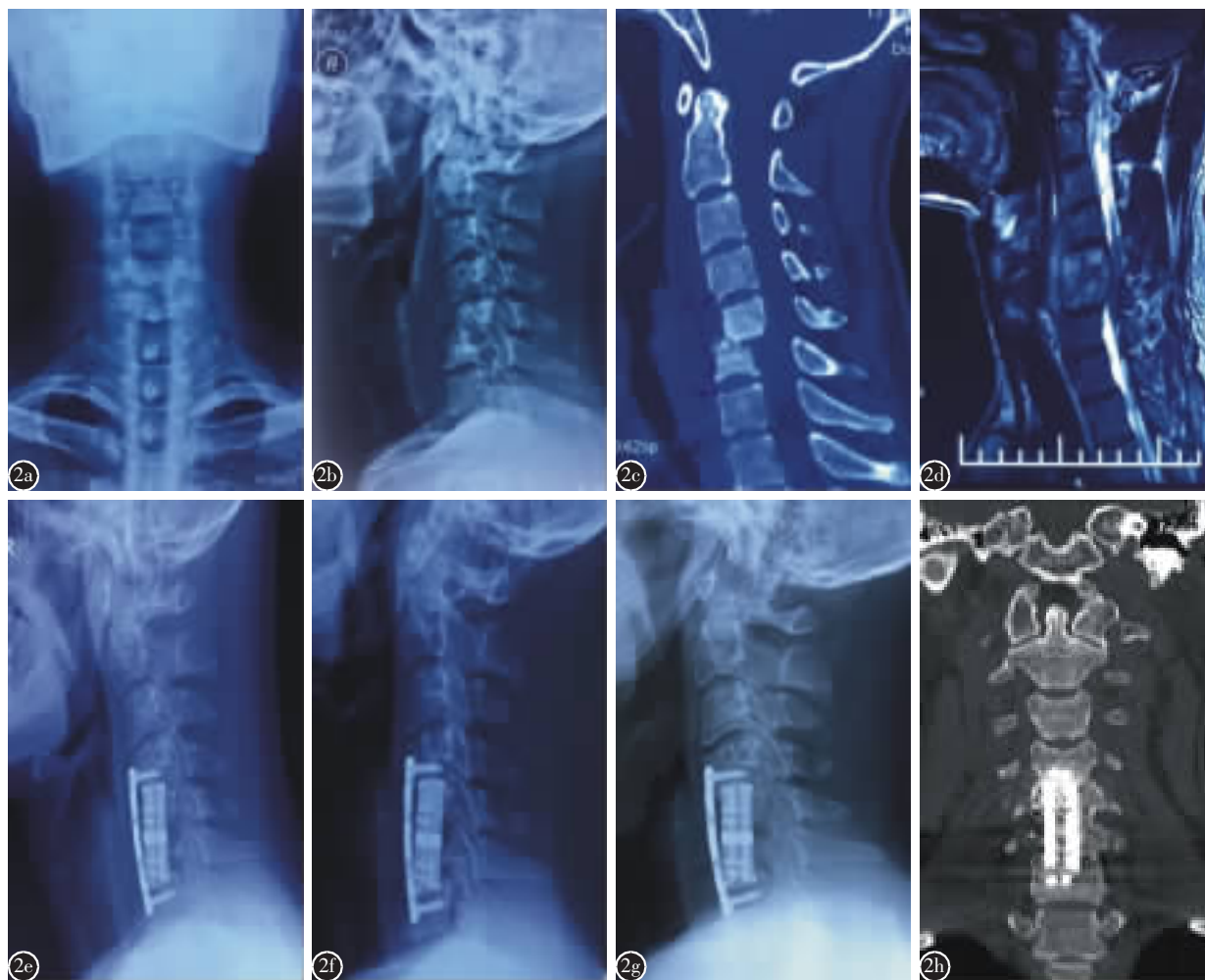


图 2 男性,31 岁,C5/6 椎体结核 **a、b** 颈椎正侧位片示 C5/6 椎体间隙融合半脱位,局部后凸畸形 **c** 颈椎 CT 示 C5/6 椎体密度增高伴 C5/6 椎间半脱位,椎间隙消失 **d** 颈椎 MRI 示 C5/6 椎前及后椎管内大量脓肿形成,脊髓明显受压 **e~g** 术后 1 个月、12 个月、36 个月时的颈椎侧位片示人工椎体无移位和塌陷,颈椎曲度得到恢复 **h** 术后 36 个月 CT 冠状面重建示人工椎体植骨以及侧方植骨融合良好,Bridwell 分级 I 级

Figure 2 A male, 31 years, C5/6 vertebral tuberculosis **a, b** Cervical anteroposterior and lateral radiographs showed C5/6 subluxation and local kyphosis **c** CT scan showed increase of C5/6 vertebral density with C5/6 subluxation, and loss of intervertebral space **d** Cervical MRI showed large abscess formation in front of C5/6 vertebrae and spinal canal significantly compressing the spinal cord **e~g** Postoperative radiographic follow-up on 1 month, 12 months and 36 months showed the cervical alignment was rebuilt gradually without displacement and collapse of artificial vertebrae **h** CT coronal reconstruction at 36 months postoperatively showed solid fusion on the interface of bone and prosthesis without subsidence, Bridwell grade I

腹股沟韧带深层流注可以形成腹股沟和髋关节周围脓肿。脊柱后凸畸形是另一个诊断线索,几乎每个脊柱结核都伴有一定后凸畸形。脊柱结核可出现约 30% 的白细胞增高和 70% 的血沉加快,淋巴细胞/单核细胞比例也可以作为骨关节结核的治疗评价指标之一^[13]。PPD 即结核菌素实验一般用于结核病的筛查,约 60%~80% 的脊柱结核阳性。T-SPOT.TB 是 γ 干扰素释放试验的一种,其结果不受既往注射 BCG 疫苗影响,是一种较好的辅助诊断方法。

通过实验室检查和典型的影像学特征可初步诊断脊柱结核,明确诊断需要组织学病理、细菌培养、或结核杆菌的 PCR 检查。本组病例通过开放手术或者术前穿刺的取得了组织学结果诊断,其中 1 例耐药结核经过了 Xpert MTB 实验确诊并发现利福平耐药。

3.2 手术指征和手术目的

文献中关于脊柱结核的手术指征尚无统一标准,多药化疗是结核病治疗的里程碑进步,手术前一般建议抗结核药物化疗 2 周以上,存在脊髓压迫症状和严重后凸畸形者建议手术,神经症状可以是渐进性的或者由于畸形进展快速加重,有学者建议肢体肌力小于 2 级或者神经症状快速恶化者进行手术治疗^[14]。大于 60° 的成人结核后凸和儿童的“spine at risk”危险脊柱征也是手术指征。椎旁脓肿是继发于椎体结核病灶,不作为手术的绝对指征。本组病例掌握的手术指征比较严格,病例相对较重,术前均有不同程度脊髓或神经损伤,椎体死骨明显,病灶清除范围较大。我们总结的病灶清除手术目标:(1)清除椎体和间盘死骨及干酪样坏死物质;(2)清除硬膜腹侧等脊髓周围病灶,解除压迫;(3)清除椎体前方和侧方脓肿;(4)纠正脊柱畸形。而最终脊柱结核成功治愈的临床目标包括:(1)治疗结核感染;(2)预防发展成耐药结核;(3)预防由于神经损伤或者脊柱后凸造成的残疾;(4)预防复发。

3.3 人工椎体用于脊柱结核的可行性

2003 年一项研究表明,结核分支杆菌在钛合金和不锈钢上的黏附均较表皮葡萄球菌少^[15],提示钛合金内置物不会增加结核杆菌的传染性,临床上,钛合金内置物包括脊柱的椎弓根钉、钛笼等用于脊柱结核病灶清除后重建已有长期的随访和大量文献报道^[16,17]。我们使用的 3D 人工椎体为钛

合金成分,采用骨小梁结构设计,利于骨的张入,在脊柱肿瘤的切除后椎体重建应用非常广泛,而在脊柱结核中仅有个案报道^[3]。Chen 等^[18]文献报道 300 例颈椎前路钛笼重建病例,随访 12 个月,内置物塌陷概率达到了 79.7%。3D 打印人工椎体根据切除情况和解剖形态设计假体和终板接触面,最大面积贴附骨界面,可减少假体的塌陷。前路自稳定型固定模式利用椎体剩余骨质或者由前向后植入椎弓根钉,无需再次后路固定,同时可减少融合的脊柱节段(图 1 病例),适合于不规则病灶或多节段的结核手术。

3.4 手术入路和植骨

脊柱结核病灶清除术根据不同受累节段的入路选择优势略有不同,由于大多数结核病灶累及椎体和椎间隙为主,因此前入路有独特的优势,前路可直接切除病灶,选择较大融合器或者植骨块植骨,尤其适合颈椎和颈胸段结核^[19]。后入路一般用于胸腰椎结核,多篇文献比较前路和后路的手术优劣。Hu 等^[20]将 149 例胸腰椎结核手术分为三组,微创前路+后路固定组,传统前路组,后路组,结果发现微创前路辅助后路固定可较好纠正后凸角,并发症较低,残留结核少,较其他组有明显的优势。后路手术适合于后凸角度比较小,椎体侧方流注脓肿较局限的胸腰椎结核者^[5,21],Zhou 等^[21]报道单纯后路可取得前后路联合手术类似的临床疗效。

3.5 人工椎体的融合问题

3D 打印人工椎体重建的目的主要是即刻的稳定性及有效的植骨融合。本组的个体化固定模式经过临床验证均取得了很好的即刻稳定性,其中两例腰骶部结核选择前路终板下螺钉或者前路经椎弓跟螺钉固定,即可稳定性良好,避免了后路稳定手术,减少了融合节段。典型病例 1 可见 24 个月随访时的假体稳定性良好,融合确切。典型病例 2 的颈椎多个椎体结核,由于结核破坏了 C5/6 间盘和 C6 椎体上终板,人工椎体锚定在 C6 上半的部分松质骨上,随访 3 年时人工椎体并无塌陷,植骨融合良好。考虑原因为 3D 假体的骨小梁空间,个体化终板形态设计,较大的接触面积有效分散了内置物的应力。但假体的长期融合问题仍不确定。尽管钛合金的 3D 椎体与宿主骨接触面大,即刻稳定性好,不会发生异体骨的吸收问题;但较大的钛合金接触面必然减少植骨槽的设

计,植骨空间有限,而钛合金和骨界面融合时间未必理想。本组病例随访均 1 年以上,Bridwell 分级Ⅲ度有 3 例,Ⅳ度有 1 例,进一步采用更清晰的重建 CT 片评估假体和宿主骨的界面,发现延迟愈合和不愈合达到了 50%,其中原因尚需进一步研究观察。

4 参考文献

1. Khanna K, Sabharwal S. Spinal tuberculosis: a comprehensive review for the modern spine surgeon[J]. *Spine J*, 2019, 19(11): 1858–1870.
2. Ali A, Musbahi O, White V, et al. Spinal Tuberculosis: A Literature Review[J]. *JBJS Rev*, 2019, 7(1): e9.
3. Zhang YW, Deng L, Zhang XX, et al. Three-dimensional printing-assisted cervical anterior bilateral pedicle screw fixation of artificial vertebral body for cervical tuberculosis [J]. *World Neurosurg*, 2019, 127: 25–30.
4. Wang B, Hua W, Ke W, et al. The efficacy of allograft bone using titanium mesh in the posterior-only surgical treatment of thoracic and thoracolumbar spinal tuberculosis [J]. *BMC Surg*, 2020, 20(1): 133.
5. Gao Y, Ou Y, Deng Q, et al. Comparison between titanium mesh and autogenous iliac bone graft to restore vertebral height through posterior approach for the treatment of thoracic and lumbar spinal tuberculosis[J]. *PLoS One*, 2017, 12(4): e175567.
6. Li L, Xu J, Ma Y, et al. Surgical strategy and management outcomes for adjacent multisegmental spinal tuberculosis: a retrospective study of forty-eight patients[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(1): E40–E48.
7. Yu Y, Kong Y, Ye J, et al. Performance of conventional histopathology and GeneXpert MTB/RIF in the diagnosis of spinal tuberculosis from bone specimens: a prospective clinical study[J]. *Clin Biochem*, 2020, 85: 33–37.
8. Ali A, Musbahi O, White V, et al. Spinal tuberculosis: a literature review[J]. *JBJS Rev*, 2019, 7(1): e9.
9. Williams AL, Gornet MF, Burkus JK. CT evaluation of lumbar interbody fusion: current concepts [J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2005, 26(8): 2057–2066.
10. Oshina M, Oshima Y, Tanaka S, et al. Radiological fusion criteria of postoperative anterior cervical discectomy and fusion: a systematic review[J]. *Global Spine J*, 2018, 8(7): 739–750.
11. Bridwell KH, Lenke LG, Mcenery KW, et al. Anterior fresh frozen structural allografts in the thoracic and lumbar spine: do they work if combined with posterior fusion and instrumentation in adult patients with kyphosis or anterior column defects[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1995, 20(12): 1410–1418.
12. Khanna K, Sabharwal S. Spinal tuberculosis: a comprehensive review for the modern spine surgeon[J]. *Spine J*, 2019, 19(11): 1858–1870.
13. Agarwal A, Bhat MS, Kumar A, et al. Lymphocyte/monocyte ratio in osteoarticular tuberculosis in children: a haematological biomarker revisited[J]. *Trop Doct*, 2016, 46(2): 73–77.
14. Nene A, Bhojraj S. Results of nonsurgical treatment of thoracic spinal tuberculosis in adults[J]. *Spine J*, 2005, 5(1): 79–84.
15. 周劲松, 陈建庭, 金大地, 等. 结核分枝杆菌对材料粘附能力的体外实验研究[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2003, 13(11): 670–673.
16. Li L, Xu J, Ma Y, et al. Surgical strategy and management outcomes for adjacent multisegmental spinal tuberculosis: a retrospective study of forty-eight patients[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(1): E40–E48.
17. Cui X, Li LT, Ma YZ. Anterior and posterior instrumentation with different debridement and grafting procedures for multi-level contiguous thoracic spinal tuberculosis[J]. *Orthop Surg*, 2016, 8(4): 454–461.
18. Chen Y, Chen D, Guo Y, et al. Subsidence of titanium mesh cage: a study based on 300 cases[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2008, 21(7): 489–492.
19. Li Z, Li K, Tang B, et al. Analysis of the curative effect of the anterior approach to the lower cervical spine for cervicothoracic spinal tuberculosis[J]. *J Craniofac Surg*, 2020, 31(2): 480–483.
20. Hu D, Fei J, Chen G, et al. Mini-open anterior approach focal cleaning combined with posterior internal fixation for thoracolumbar tuberculosis: follow-up of 149 cases[J]. *Asian J Surg*, 2020, 43(1): 78–86.
21. Zhou Y, Li W, Liu J, et al. Comparison of single posterior debridement, bone grafting and instrumentation with single-stage anterior debridement, bone grafting and posterior instrumentation in the treatment of thoracic and thoracolumbar spinal tuberculosis[J]. *BMC Surg*, 2018, 18(1): 71.

(收稿日期:2022-07-15 末次修回日期:2022-09-24)

(英文编审 谭 啸)

(本文编辑 彭向峰)