

# 钛合金与不锈钢内固定材料置入修复脊柱结核的生物相容性

陈欣, 黄亚娟, 田谦, 薛超, 李浩鹏(西安交通大学第二附属医院骨二科, 陕西省西安市 710004)

## 文章亮点:

1 以往临床内固定大多使用不锈钢, 不锈钢材料具有良好的强度, 但其弹性模量过大, 无法很好地与骨之间弹性模量予以匹配, 因此可能会导致各种不良后果的出现。钛是一种安全的金属元素, 与人骨的弹性模量十分接近, 因此在置入人体之后, 可以与人体力学产生良好的相容性。而且, 钛合金具有较强的惰性及抗腐蚀能力, 不容易出现各种感染等情况。因此, 钛合金被广泛应用于临床对各种疾病的治疗之中, 并发挥良好的作用。

2 试验比较钛合金和不锈钢内固定材料置入治疗脊柱结核的效果及生物相容性, 发现在脊柱结核治疗过程中, 置入钛合金或不锈钢内固定材料均能获得良好的效果, 并具有良好的生物相容性。

## 关键词:

生物材料; 骨生物材料; 钛合金内固定材料; 不锈钢内固定材料; 生物相容性; 脊柱结核

## 主题词:

结核, 脊柱; 钛; 合金; 不锈钢

## 摘要

**背景:** 钛合金和不锈钢是两种较为常用的内固定植入材料, 但两种材料的治疗效果和生物相容性存在一定的差异。

**目的:** 分析钛合金和不锈钢内固定材料置入治疗脊柱结核的效果及生物相容性。

**方法:** 纳入脊柱结核患者 71 例, 其中男 35 例, 女 36 例, 年龄 17-81 岁, 35 例进行钛合金内固定材料置入治疗, 36 例进行不锈钢内固定材料置入治疗。随访 12 个月, 分析两组脊柱后凸畸形角度变化、治疗效果、Frankel 脊髓损伤分级及材料生物相容性。

**结果与结论:** 两组治疗前的脊柱后凸畸形角度、Frankel 脊髓损伤分级比较差异无显著性意义, 两组治疗后末次随访的脊柱后凸畸形角度、Frankel 脊髓损伤分级均较治疗前明显改善( $P < 0.05$ ), 但两组间比较差异无显著性意义; 钛合金内固定组治愈 34 例(97%), 不锈钢内固定组治愈 33 例(92%), 两组间治愈率比较差异无显著性意义。两种材料均具有良好的生物相容性, 未发生感染等不良反应。表明在脊柱结核治疗过程中, 置入钛合金或不锈钢内固定材料均能获得良好的效果, 并具有良好的生物相容性。

陈欣, 黄亚娟, 田谦, 薛超, 李浩鹏. 钛合金与不锈钢内固定材料置入修复脊柱结核的生物相容性[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(30):4860-4864.

doi:10.3969/j.issn.2095-4344.2015.30.020

## Biocompatibility of titanium alloy and stainless steel internal fixation materials in the treatment of spinal tuberculosis

Chen Xin, Huang Ya-juan, Tian Qian, Xue Chao, Li Hao-peng (Department of Orthopedics, Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, Shaanxi Province, China)

## Abstract

**BACKGROUND:** Titanium alloy and stainless steel are two common internal fixation materials, but there are some difference in their therapeutic effects and biocompatibility.

**OBJECTIVE:** To explore the therapeutic effects and biocompatibility of titanium alloy and stainless steel internal fixation materials for the treatment of spinal tuberculosis.

**METHODS:** Seventy-one spinal tuberculosis patients, 35 males and 36 females, aged 17-81 were enrolled. Among them, 35 patients received titanium alloy internal fixation, and the 36 patients underwent stainless steel internal fixation. At the end of 12-month follow-up, Cobb angle changes, therapeutic effect and Frankel grade were analyzed in the two groups.

**RESULTS AND CONCLUSION:** Before treatment, there was no difference in the spinal kyphosis angle and Frankel grade between the two groups. At the last follow-up, the Frankel grade and Cobb angle were both improved in the two groups ( $P < 0.05$ ), but there was still no difference between the two groups. The cure rate was 97% ( $n=34$ ) in the titanium alloy group and 92% in the stainless steel group ( $n=33$ ), and no significant difference was found between the two groups. These two kinds of internal fixation materials exhibited good biocompatibility, and no infection and other adverse reactions occurred. These findings indicate that both titanium alloy and stainless steel as internal fixation materials have good biocompatibility and therapeutic effects.

陈欣, 男, 1989 年生, 陕西省汉中市人, 西安交通大学在读硕士, 主要从事脊柱脊髓损伤研究。

通讯作者: 李浩鹏, 主任医师, 博士, 西安交通大学第二附属医院骨二科, 陕西省西安市 710004

中图分类号:R318

文献标识码:B

文章编号:2095-4344

(2015)30-04860-05

稿件接受: 2015-04-21

<http://www.crter.org>

Chen Xin, Studying for master's degree, Department of Orthopedics, Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, Shaanxi Province, China

Corresponding author: Li Hao-peng, M.D., Chief physician, Department of Orthopedics, Second Affiliated Hospital of Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710004, Shaanxi Province, China

Accepted: 2015-04-21

**Subject headings:** Tuberculosis, Spinal; Titanium; Alloys; Stainless Steel

Chen X, Huang YJ, Tian Q, Xue C, Li HP. Biocompatibility of titanium alloy and stainless steel internal fixation materials in the treatment of spinal tuberculosis. *Zhongguo Zuzhi Gongcheng Yanjiu*. 2015;19(30):4860-4864.

## 0 引言 Introduction

结核病是由结核分枝杆菌引起的一种慢性肉芽肿,与艾滋病、疟疾是严重危害人类健康的3大传染病。统计显示,中国结核病年发病人数为130万人,居全球第2位<sup>[1]</sup>。脊柱结核是最常见的肺外结核之一,发病部位依次为腰椎、胸椎、胸腰段、颈椎及骶椎,其常见症状有背部疼痛、后凸畸形、脓肿、神经功能障碍,严重者可出现瘫痪。脊柱结核具有发病隐匿、病程长等特点,导致很多患者在就诊时已出现椎体骨质严重破坏的情况,甚至表现出程度不同的截瘫症状,具有极高的致残率。脊柱结核存在耐药性强、致残率高、治疗难度大等特点,手术内固定治疗是一种常用的治疗方法。手术治疗过程中要对病灶予以彻底清除,可以清除脓液、结核性肉芽组织、干酪样坏死物质和死骨,另外还需要积极的重建脊柱稳定性<sup>[2]</sup>。手术过程中可以采用内固定植入方式进行治疗。

近年来随着医用材料学的发展,骨科内固定材料的研制更新也是日新月异。将材料植入人体需要几个条件,首先要求这种物质必须无毒,对人体无不良反应;其次是抗腐蚀性;另外,如果作为骨替代物需要强度高、耐疲劳,同时弹性模量要与人骨接近。目前,临床可供选择的内固定植入材料有很多,钛合金和不锈钢两种较为常用的植入材料<sup>[3]</sup>。

由于不锈钢与骨质之间的不相容性及膨胀系数不同等原因,可能产生免疫反应,患者在术后容易出现各种不适的感觉。而且不锈钢内固定物过于坚硬,受到应力遮挡的影响,可能会导致骨质疏松、延迟愈合及再骨折的出现。不锈钢弹性模量大多很高,与骨之间弹性模量不匹配,使得载荷不能由植体很好地传递到相邻骨组织,出现“应力屏蔽”现象,使种植体周围发生骨吸收,导致局部骨质疏松,最终引起种植体松动或附近的骨断裂。而钛及其合金可用于人体硬组织修复和替换,或用于心血管和软组织修复及人工器官的制造,是一种与人生命和健康密切相关的特殊功能材料。钛及其合金作为外科植入物材料应用具有很多优点,包括密度小、强度高、韧性好、生物相容性好、无毒、弹性模量低、耐蚀性良好、低X射线吸收率等,因而在医用金属材料中占有越来越重要的地位。钛合金弹性模量和人骨非常接近,这样就不会产生应力屏蔽,且与人体力学相容性非常好,会随着自身骨的变形而变形,不会出现过敏、发炎、生锈等问题。但是,总体来看,目前关于不同内固定植入材料的治疗效果和生物相容性,临床尚缺乏统一的定论。

为此,本研究中回顾性分析了西安交通大学第二附属医院2013年1月至2014年1月收治71例脊柱结核患者的临

床资料,均接受内固定手术治疗,并分别置入钛合金和不锈钢内固定材料。置入后随访12个月,经末次随访发现两组Frankel脊髓损伤分级较置入前均得到显著改善,但两组间Frankel脊髓损伤分级情况比较差异无显著性意义;末次随访两患者Cobb角较置入前均出现显著减小的情况,但两组间Cobb角比较差异无显著性意义。钛合金组和不锈钢组满足治愈标准的治愈率分别为97%和92%,钛合金组高于不锈钢组,但治愈率经比较差异无显著性意义,且两组均未出现内固定植入感染等情况,即表明利用不同内固定植入材料治疗脊柱结核均能获得良好的效果,并具有良好的生物相容性。

## 1 对象和方法 Subjects and methods

**设计:** 回顾性病例分析。

**时间及地点:** 于2013年1月至2014年1月在西安交通大学第二附属医院完成。

**对象:** 纳入71例脊柱结核患者,其中男35例,女36例;年龄17~81岁,平均(39.02±10.21)岁;病变椎体情况统计:单个椎体8例,2个椎体56例,3个椎体7例。所有患者均接受内固定手术治疗,按照内固定植入材料的不同分为钛合金组( $n=35$ )和不锈钢组( $n=36$ )。

**纳入标准:** 所有患者均经临床影像学检查确诊为严重结核;患者均存在椎体破坏或后凸畸形,并伴有椎旁脓肿,临床均表现出不同程度的脊髓压迫、疼痛及各种神经根刺激症状,排除存在严重心肾功能疾病者及无法耐受手术治疗者。

**材料:**

**钛合金通用脊椎内固定系统:** 由深圳市生物桥科技开发有限公司提供;产品标准:YZB/国 725-46-2004《钛合金通用脊椎内固定系统》;产品性能结构及组成:该系统由椎弓根螺钉、提拉椎弓根螺钉、万向椎弓根螺钉、万向提拉椎弓根螺钉、连接棒、横连装置及锁紧螺塞组成。材料采用Ti6Al4V钛合金,非灭菌包装。

**不锈钢内固定系统:** 由北京市奥斯比利克新技术开发有限公司提供,材料具有高强度、耐腐蚀、较好延伸性和韧性、无磁性等综合性能;产品标准:进口产品注册标准YZB/USA 3304-2005《脊柱固定系统手术工具》。

**方法:** 对患者实施规气管插管全麻,选择病灶损害较重一侧作为手术侧,患者取侧卧位,按照不同患者的病灶位置选择手术入路。将病灶充分暴露,对脓液进行吸取,吸取干净后对椎体动脉予以结扎,将肉芽组织刮除。所有患者均取肋骨,根据椎体骨缺损形态进行修整,然后分别予以钛合金植入和不锈钢。如果存在明显后凸畸形,则

先予以内固定对畸形进行矫正, 然后进行自体髂骨植骨; 如果畸形或很小则先进行植骨。植骨结束后关闭切口, 开胸者予以引流管, 并对患者进行常规术后处理。置入后随访12个月, 对两组患者的临床效果及植入材料的生物相容性进行观察。手术流程见图1。



图1 内固定材料置入治疗脊柱结核的手术流程

Figure 1 Operation process of implanting internal fixation materials for treatment of spinal tuberculosis

**主要观察指标:** ①脊柱后凸畸形角度: 利用脊柱后凸角度Cobb测量标准对两组患者置入前、末次随访的后凸畸形情况进行评估。②治疗效果: 参照Mehtaet结核治愈相关标准, 如果经随访, 患者在置入后6个月未出现结核症状复发现象, 经X射线片检查病变椎体已骨性愈合, 可恢复正常工作 and 活动3-6个月, 经血沉检测水平处于正常范围, 即视为治愈。③Frankel脊髓损伤分级变化情况(表1)。④内固定植入材料生物相容性: 置入后随访, 观察两组是否出现感染等情况。

表1 Frankel 脊髓损伤分级标准

Table 1 Frankel grading system for spinal cord injury

级别	功能状况
A	患者损伤平面以下的所有深浅感觉均全部消失
B	患者损伤平面以下的所有深浅感觉均全部消失, 但存在某些骶区感觉
C	患者损伤平面以下仅存在某些肌肉运动功能, 但不存在有用功能
D	患者损伤平面以下存在肌肉功能不完全现象, 但扶拐情况下可维持行走
E	患者深浅感觉良好、尿便正常、肌肉功能良好, 存在一定的病理反射

**统计学分析:** 利用SPSS 18.0软件进行数据处理, 两组患者术前及末次随访Cobb角测量结果等均予以 $t$ 检验, 两组治愈率等均予以 $\chi^2$ 检验。 $P < 0.05$ 表示经比较两组数据存在统计学差异。

## 2 结果 Results

**2.1 参与者数量分析** 按意向性分析处理, 入组的71例患者全部获得随访并进入结果分析, 未出现脱落病例。

**2.2 两组患者情况及基线资料比较** 两组的一般资料比较差异无显著性意义( $P > 0.05$ ), 即说明两组具有可比性(表2)。

**2.3 置入前及末次随访Frankel分级情况比较** 经末次随访, 两组Frankel脊髓损伤分级均较置入前得到显著改善( $P < 0.05$ ), 但两组间Frankel脊髓损伤分级情况比较差异无显著性意义( $P > 0.05$ ), 见表3。

**2.4 置入前及末次随访Cobb角测量结果分析** 经末次随访, 两组Cobb角均较置入前出现显著减小的情况( $P < 0.05$ ), 但两组间Cobb角比较差异无显著性意义( $P > 0.05$ ), 见表4。

表2 两组患者情况及基线资料比较

Table 2 Comparison of baseline data of patients between two groups

指标	钛合金组(n=35)	不锈钢组(n=36)	P
男/女(n)	17/18	18/18	> 0.05
年龄( $\bar{x} \pm s$ , 岁)	39.23±12.15	38.97±10.69	> 0.05
体质量( $\bar{x} \pm s$ , kg)	67.35±2.69	66.58±3.27	> 0.05
病灶位置(n)			> 0.05
颈椎	3	3	
胸椎	11	12	
胸腰椎	6	6	
腰椎	13	13	
腰骶椎	2	2	
病程( $\bar{x} \pm s$ , 月)	7.51±2.35	7.12±5.34	> 0.05

表3 两组置入前及末次随访 Frankel 分级情况的比较

Table 3 Comparison of Frankel grade before treatment and at the last follow-up in the two groups

组别	置入前				末次随访			
	B级	C级	D级	E级	B级	C级	D级	E级
钛合金组(n=35)	10	18	7	0	0	1	19	18
不锈钢组(n=36)	10	19	7	0	0	1	20	15

表注: 末次随访时, 两组 Frankel 脊髓损伤分级均较置入前得到显著改善( $P < 0.05$ ), 但两组间 Frankel 脊髓损伤分级情况比较差异无显著性意义( $P > 0.05$ )。

表4 两组置入前及末次随访 Cobb 角测量结果分析

Table 4 Cobb angle measurement in the two groups before treatment and at the last follow-up

时间	钛合金组(n=35)	不锈钢组(n=36)	P
置入前	33.41±12.62	34.12±10.59	> 0.05
末次随访	15.53±6.71	16.23±5.12	> 0.05
P	< 0.05	< 0.05	

**2.5 治疗结果** 经随访和疗效判定, 钛合金组和不锈钢组满足治愈标准的患者分别有34例和33例, 治愈率分别为97%和92%, 钛合金组治愈率虽高于不锈钢组, 但统计学比较差异无显著性意义( $P > 0.05$ )。

**2.6 内固定材料生物相容性** 随访12个月, 两组均未出现内固定植入感染等情况。

## 3 讨论 Discussion

近年来, 因为多方面原因, 结核病的发病率有一定回升趋势, 尤其是脊柱这类发病部位深、缺乏典型症状的结核, 更是给及时诊治带来很大难度<sup>[4]</sup>。脊柱骨骼存在十分明显的组织细胞含氧量贫乏现象, 导致结核杆菌的生长速度十分缓慢, 因此不会表现出十分明显的临床症状<sup>[5]</sup>。另外, 临床诊断过程中, 一些疾病的临床症状与脊柱结核较为相似, 容易出现混淆, 导致误诊等情况的出现, 例如脊柱布鲁氏菌感染等<sup>[6-7]</sup>。因此, 很多脊柱结核患者早期仅表现为消瘦、午后潮热、盗汗等症状, 待病变累及脊椎时,

患者已感腰背部疼痛,不敢弯腰。很多患者在发病初期往往被诊断为椎间盘突出症、软组织劳损,甚至类风湿。脊柱结核若得不到及时治疗,可造成患者瘫痪<sup>[8-9]</sup>。以往的治疗方法是在长期应用抗结核药物,病情彻底稳定后再考虑手术,此时,患者已远离正常的社会生活很长时间,生理和心理方面都受到巨大影响,不利于提高预后效果及患者的生活质量等<sup>[10]</sup>。

目前,在充分有效药物治疗的前提下,脊柱结核早期手术已成为可能。手术的目的是尽早清除病灶里的死骨及坏死组织,通过内固定方法为脊柱提供充分的稳定性及恢复创造条件<sup>[11-13]</sup>。通过有效的手术内固定可以有效重建脊柱稳定性,对局部结核的控制及骨性融合等予以积极的影响,达到治疗疾病,维护脊柱稳定性的目的<sup>[14-15]</sup>。有学者通过研究报道,对于脊柱结核患者实施一期前路病灶清除植人工珊瑚骨内固定治疗,可以达到矫正畸形的效果,有效减少术后结核的复发,是一种安全可靠的治疗方案<sup>[16]</sup>。刘志功<sup>[17]</sup>也报道,对各种脊柱结核患者进行外科内固定治疗,可以充分发挥内固定的即刻重建作用,从而有效维持患者脊柱的稳定状态,对局部结核的控制及骨性融合等产生积极的促进作用。

在进行内固定的过程中,可以选择不同的内固定植入材料<sup>[18]</sup>。钛合金和不锈钢两种较为常用的植入材料,但不同内固定植入材料的治疗效果和生物相容性存在一定的差异<sup>[19-27]</sup>。在内固定植入过程中,受到人体体液环境等因素的影响,植入材料需要具备良好的生物相容性。以往临床内固定大多使用不锈钢,不锈钢材料具有良好的强度,但其弹性模量过大,无法很好地与骨之间弹性模量予以匹配,因此可能会导致各种不良后果的出现,例如种植体松动等<sup>[28-32]</sup>。钛是一种安全害的金属元素,与人骨的弹性模量十分接近,因此在置入人体之后,可以与人体力学产生良好的相容性<sup>[33-34]</sup>。而且,钛合金具有较强的惰性及抗腐蚀能力,不容易出现各种感染等情况<sup>[35-37]</sup>。因此,钛合金被广泛应用于临床对各种疾病的治疗之中,并发挥良好的作用。

本次研究结果显示,经末次随访,两组患者的Frankel脊髓损伤分级较置入前均得到显著改善( $P < 0.05$ ),但两组间Frankel脊髓损伤分级情况比较差异无显著性意义( $P > 0.05$ );两组患者的Cobb角较置入前均出现显著减小的情况( $P < 0.05$ ),但两组间Cobb角比较差异无显著性意义( $P > 0.05$ ),经随访和疗效判定,钛合金组和不锈钢组治愈率经比较差异无显著性意义( $P > 0.05$ ),即表明在利用不同内固定植入材料治疗脊柱结核过程中,予以钛合金或者不锈钢植入均能获得良好的效果,本次研究结果还显示两组均未出现内固定植入感染等情况,即提示两种内固定植入材料均具有良好的生物相容性。但王鹏翔等<sup>[38]</sup>通过体外实验方式对结核杆菌与不同内固定材料的黏附情况予以动态观察,发现结核杆菌、表皮葡萄球菌及材料的黏附能力与生长曲线基本一致。结核杆菌与材料间的黏附均少于表皮葡

萄球菌;4种材料中细菌在聚醚醚酮上的黏附最多,在纯钛上黏附最少,在不锈钢上的黏附稍多于钛合金,且各种材料间差异有显著性意义,并认为从体外细菌黏附角度进行分析,在结核病灶内植入内固定材料是相对安全的,其中在内固定材料选择方面,钛合金及钛为首选,各种碳纤维材质则需要慎用。但其他一些研究也表明,结核分枝杆菌对内植物材料的低黏附性可能是临床脊柱结核内固定术安全的原因之一,临床对脊柱结核患者的内固定治疗过程中,要注意合理进行植入材料选择<sup>[39]</sup>。因此,对于不同植入材料的生物相容性等,还需要予以长期观察和验证。

综上所述,临床对脊柱结核患者可以积极的实施手术内固定治疗,并注意选择合适的内固定植入材料,以获得满意的治疗效果,减少各种不良事件的出现。关于不同内固定植入材料的选择及使用效果等还需要进一步的临床探究。

**作者贡献:** 第一作者负责设计和实施,第二、三作者负责实施及文章的修改。

**利益冲突:** 文章及内容不涉及相关利益冲突。

**伦理要求:** 本次研究相关内容和方法均经本院伦理部门审核并批准。

**学术术语:** 钛及其合金作为外科植入物材料应用具有很多优点,包括密度小、强度高、韧性好、生物相容性好、无毒、弹性模量低、耐腐蚀性良好、低X射线吸收率等,因而在医用金属材料中占有越来越重要的地位。钛合金弹性模量和人骨非常接近,这样就不会产生应力屏蔽,且与人体力学相容性非常好,会随着自身骨的变形而变形,不会出现过敏、发炎、生锈等问题。

**作者声明:** 文章为原创作品,无抄袭剽窃,无泄密及署名和专利争议,内容及数据真实,文责自负。

#### 4 参考文献 References

- [1] 黄媛媛,徐海斌.脊柱结核内固定植入材料的临床应用及其生物相容性[J].中国组织工程研究与临床康复,2009,13(43):8544-8547.
- [2] 买尔旦·买买提,任龙龙,田娟,等.前路病灶清除同种异体冻干骨植入内固定治疗小儿脊柱结核[J].中国组织工程研究,2012,16(29):5485-5488.
- [3] 谷守山,李永民,王旭,等.钛网及同种异体骨植骨结合内固定治疗脊柱结核:23例随访验证[J].中国组织工程研究与临床康复,2010,14(30):5662-5665.
- [4] 张泽华,许建中,谭祖健,等.改良前方入路结核病灶清除、同种异体骨移植、内固定治疗颈胸段脊柱结核[J].中国脊柱脊髓杂志,2006,16(1):41-44.
- [5] 曹秦辉,部一,张淑红,等.一期前路病灶清除同种异体骨植骨钛网植入钛板内固定治疗脊柱结核100例[J].医学美容(中旬刊),2014,23(1):15-16.
- [6] 李俊,孟志斌,周健强,等.一期前路手术内固定珊瑚人工骨植入治疗脊柱结核[J].颈腰痛杂志,2007,28(3):177-178.
- [7] 矢庆明,殷明,顾玉荣,等.脊柱结核植入内固定安全性的体外实验研究[J].实用临床医学,2012,13(8):1-3,6.
- [8] 施向春.不同植入体置入内固定在胸腰椎结核治疗中的应用[J].中国组织工程研究与临床康复,2010,14(35):6591-6595.

- [9] 王文胜.一期前路病灶清除、钛网融合器植入内固定术治疗脊柱结核[J].中国医学创新,2010,7(36):41-42.
- [10] 张小飞,施红光,赵剑,等.脊柱结核内固定的生物学基础[J].实用骨科杂志,2012,18(4):321-322.
- [11] 羊明智,彭立军,胡文凯,等.一期前路病灶清除植骨选择性椎管内固定术治疗胸腰椎结核疗效观察[J].山东医药,2013,53(31):40-42.
- [12] 何志安.钛网在治疗脊柱结核中的应用进展[J].医学综述,2013,19(20):3745-3748.
- [13] 郝志强,刘志斌.脊柱结核外科诊疗进展[J].中华临床医师杂志(电子版),2013,7(15):7135-7137.
- [14] Agrawal A, Rao GM. Transverse cervical skin incision and vertical platysma splitting approach for anterior cervical vertebral column exposure. *Romanian Neurosurgery*. 2014; 21(1):89-93.
- [15] 邓强,郭海龙,盛伟斌,等.钉棒系统置入内固定结合病灶清除治疗老年胸腰骶椎结核[J].中国组织工程研究,2013,17(13):2463-2470.
- [16] 郭新军,朱振军.人工珊瑚骨内固定手术治疗脊柱结核的临床效果分析[J].现代预防医学,2012,39(10):2628-2629,2631.
- [17] 刘志功.内固定技术在脊柱结核外科治疗中的应用[J].中国骨伤,2006,19(8):507-509.
- [18] 蔡志群,马琪峰.一期前路病灶清除钛网植入治疗胸腰椎结核[J].按摩与康复医学(下旬刊),2010,1(4):101-102.
- [19] Jeromel M, Podobnik J. Magnetic resonance spectroscopy (MRS) of vertebral column – an additional tool for evaluation of aggressiveness of vertebral haemangioma like lesion. *Radiol Oncol*. 2014;48(2):137-141.
- [20] Papadopoulos M. 103 Expansion Duroplasty Improves Intraspinal Pressure, Spinal Cord Perfusion Pressure, and Vascular Pressure Reactivity Index in Patients With Traumatic Spinal Cord Injury. *Neurosurgery*. 2015;62 Suppl 1, CLINICAL NEUROSURGERY:197.
- [21] Sugita S, Hozumi T, Yamakawa K, et al. Risk factors for surgical site infection after posterior fixation surgery and intraoperative radiotherapy for spinal metastases. *Eur Spine J*. 2015. [Epub ahead of print]
- [22] Liu H, Niinomi M, Nakai M, et al.  $\beta$ -Type titanium alloys for spinal fixation surgery with high Young's modulus variability and good mechanical properties. *Acta Biomater*. 2015. pii: S1742-7061(15)00291-3. doi:10.1016/j.actbio.2015.06.022. [Epub ahead of print]
- [23] Filli L, Luechinger R, Frauenfelder T, et al. Metal-induced artifacts in computed tomography and magnetic resonance imaging: comparison of a biodegradable magnesium alloy versus titanium and stainless steel controls. *Skeletal Radiol*. 2015;44(6):849-856.
- [24] Kaku N, Tabata T, Tsumura H. Mechanical evaluation of hip cement spacer reinforcement with stainless steel Kirschner wires, titanium and carbon rods, and stainless steel mesh. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2015;25(3):489-496.
- [25] Yu W, Zhang C, Zhang B, et al. [Cytotoxic detection of laser welding between NiTi shape memory alloy and stainless steel in vitro]. *Zhonghua Kou Qiang Yi Xue Za Zhi*. 2014;49(4):239-243.
- [26] Heravi F, Moayed MH, Mokhber N. Effect of fluoride on nickel-titanium and stainless steel orthodontic archwires: an in-vitro study. *J Dent (Tehran)*. 2015;12(1):49-59.
- [27] Ghaith el-S, Hodgson S, Sharp M. Laser surface alloying of 316L stainless steel coated with a bioactive hydroxyapatite-titanium oxide composite. *J Mater Sci Mater Med*. 2015;26(2):83.
- [28] Renato de Souza Melo, Polyanna Waleska Amorim da Silva, Lícia Vasconcelos Carvalho da Silva. Avaliação postural da coluna vertebral em crianças e adolescentes com deficiência auditiva/ Vertebral column posture evaluation in children and teenagers with auditive deficiency. *Arquivos Int Otorrinolaringol (Impr.)*. 2011;15(2):195-202.
- [29] 王鹏翔.结核杆菌在不同内固定材料表面粘附情况的实验研究[D].南通医学院,2004.
- [30] 张宏其,邓展生,龙文荣,等.影响一期手术治疗脊柱结核并截瘫患者疗效的相关因素[C].//第三届全国脊柱外科学术论坛论文集,2007:232-234.
- [31] Puelma F, Olave E. Relaciones del Origen del Tronco Celiaco, Arterias Mesentéricas y Renales con la Columna Vertebral en Individuos Chilenos/ Relationships Between of the Origin of Celiac Trunk, Mesenteric and Renal Arteries with the Vertebral Column in Chilean Individuals. *Int J Morphol*. 2010; 28(4):1227-1234.
- [32] Olave E, Puelma F, Henríquez J. Niveles de Origen de las Arterias Renales y Mesentérica Superior Respecto a la Columna Vertebral en Individuos Chilenos: Estudio por Tomografía Computarizada Helicoidal. *Int J Morphol*. 2009; 27(2):447-452.
- [33] 陈东,高万军.前路椎体钢板在脊柱结核治疗中的应用[J].中国实用医药,2008,3(35):104-105.
- [34] 王永清,夏仁云,卢世璧,等.可调式人工椎体的改进及其在胸腰椎脊柱结核中的应用[J].中华骨科杂志,2005,25(2):92-96.
- [35] 侯金健,高强强,安晓婷.国内外高温钛合金研究及应用的最新发展[J].热加工工艺,2014,43(10):11-15.
- [36] 朱丽丽.羟基磷灰石涂层钛合金材料生物相容性研究初探[J].生物医学工程与临床,2014,18(4):323-326.
- [37] 贾庆卫,宁聪琴,丁冬雁,等.钛镍钴 $\beta$ 钛合金低弹性模量内固定材料的生物相容性研究[J].中国矫形外科杂志,2008,16(9):694-697.
- [38] 王鹏翔,赵剑,赵敦炎,等.结核杆菌在不同内固定材料表面粘附情况的实验研究[J].交通医学,2007,21(1):11-13,16.
- [39] 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.