

·临床研究·

前路减压 n-HA/PA66 支撑体植骨融合术治疗 下颈椎骨折脱位的临床观察

杨曦, 宋跃明, 刘立岷, 吕超亮, 孔清泉, 屠重棋
(四川大学华西医院骨科, 四川 成都 610041)

【摘要】 目的:探讨前路减压、纳米羟基磷灰石/聚酰胺 66(n-HA/PA66)支撑体植骨融合内固定术治疗下颈椎骨折脱位的中期临床效果。**方法:**回顾性分析 2008 年 1 月至 2010 年 12 月应用 n-HA/PA66 支撑体行植骨融合术治疗的 42 例下颈椎骨折脱位患者的临床资料,其中男 29 例,女 13 例;年龄 20~65 岁,平均 46.8 岁。损伤节段:C₃ 5 例,C₄ 14 例,C₅ 12 例,C₆ 7 例,C₇ 4 例。伤后神经功能损伤按 Frankel 分级:A 级 4 例,B 级 11 例,C 级 13 例,D 级 9 例,E 级 5 例。28 例行前路伤椎次全切减压,14 例行椎间盘切除减压。根据 Frankel 分级评估神经功能恢复程度;依据疼痛视觉评分(VAS)评价临床症状改善情况;通过颈椎侧位 X 线片评估融合节段高度以及前凸角度;通过三维 CT 评估支撑体位置、外形以及植骨块融合情况。**结果:**42 例均获随访,时间 3~5.2 年,平均 4.1 年。术后神经功能 Frankel 分级:A 级 2 例,B 级 3 例,C 级 11 例,D 级 8 例,E 级 18 例,较术前明显改善($Z=-4.845, P<0.001$)。术后 3 d 及末次随访时 VAS 评分分别为 2.6 ± 1.8 和 1.3 ± 1.0 ,均较术前改善($P<0.05$)。无支撑体脱出、塌陷、破裂等情况出现。末次随访时,1 例患者(2.4%)支撑体轻微移位($<2\text{ mm}$),总体植骨融合率为 97.6%(40/41)。患者术后融合节段高度及前凸角度较术前有明显提高($P<0.001$),但术后各时间点之间差异无统计学意义($P>0.05$)。支撑体下沉距离平均为(1.5 ± 1.1) mm,下沉率(下沉距离 $>3\text{ mm}$)为 4.8%。**结论:**n-HA/PA66 支撑体能有效恢复及维持融合节段生理高度及弧度,促进植骨融合,方便术后手术节段的影像学观察,是一种较为理想的颈椎前路支撑植骨材料。

【关键词】 颈椎; 骨折; 脱位; 脊柱融合术; 减压; 骨折固定术,内
DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2014.02.002

Anterior decompression and fusion with n-HA/PA66 cage for the treatment of lower cervical fracture and dislocation YANG Xi, SONG Yue-ming, LIU Li-min, LÜ Chao-liang, KONG Qing-quan, and TU Chong-qi. Department of Orthopaedics, West China Hospital, Sichuan University, Chengdu 610041, Sichuan, China

ABSTRACT Objective: To explore the clinical effects of anterior decompression and fusion with a nano-hydroxyapatite/polyamide 66 (n-HA/PA66) cage in treating lower cervical fracture and dislocation. **Methods:** From January 2008 to December 2010, the clinical data of 42 patients with lower cervical fracture and dislocation were retrospectively analyzed. There were 29 males and 13 females aged from 20 to 65 years old. The mean age was 46.8 years. Five cases got injured in C₃, 14 cases in C₄, 12 cases in C₅, 7 cases in C₆ and 4 cases in C₇. According to Frankel grade, 4 cases were classified in grade A, 11 cases in grade B, 13 cases in grade C, 9 cases in grade D and 5 cases in grade F. Twenty-eight cases were treated with anterior corpectomy and fusion and 14 cases with anterior discectomy and fusion. Frankel grade was used to do neurologic assessment and visual analogue scale (VAS) was used to evaluate the improvement of clinical symptoms. Segmental height and sagittal lordosis were measured by radiographs and cage location. Cage appearance and fusion status were assessed by 3D-CT images. **Results:** All patients were followed up for 3 to 5.2 years with an average of 4.1 years. Frankel grade had obviously improved than preoperative ($Z=-4.845, P<0.001$). There were 2, 3, 11, 8, 11 cases classified in grade A, grade B, grade C, grade D and grade E respectively. At the third day after operation and latest follow-up, VAS was (2.6 ± 1.8), (1.3 ± 1.0) scores respectively. Both had improved than preoperative ($P<0.05$). Up to the latest follow-up, there was only one patient (2.4%) with slight cage translocation (less than 2 mm), however, no cage prolapsed, or collapse, or breakage were found. Both segmental height and lordosis improved significantly after surgery ($P<0.001$). And there was not significant difference in both parameters between each post-operative time points ($P>0.05$). The mean distance of cage subsidence was 1.5 mm and the rate of cage subsidence ($>3\text{ mm}$) was 4.8%. **Conclusion:** The n-HA/PA66 cage can not only restore and maintain the fusion segmental height and radian, but

基金项目:四川省科技厅科技支撑项目(编号:2011FZ0043)

Fund program: This work received the funding from Science & Technology Support Projects of Sichuan Province of China (No.2011FZ0043)

通讯作者:刘立岷 E-mail:18980601394@163.com

Corresponding author: LIU Li-min E-mail:18980601394@163.com

also promote the osseous fusion and profit the radiographic assessment after operation. Thus, it was an ideal material for propp graft.

KEYWORDS Cervical vertebrae; Fractures; Dislocations; Spinal fusion; Decompression; Fracture fixation, internal

Zhongguo Gu Shang/China J Orthop Trauma, 2014, 27(2):92-96 www.zggszz.com

下颈椎骨折脱位是一种严重的脊柱损伤,常伴随脊髓损伤引起患者瘫痪症状或危及生命。前路手术能够提供直视下的充分减压、有效恢复并重建颈椎生理曲度,其治疗下颈椎骨折脱位的安全性和有效性获得了广泛的认可^[1]。目前临床应用的颈椎前路重建材料较多,包括自体髂骨、异体骨、钛网支撑体等,但各种材料均存在一定不足^[2-3]。纳米羟基磷灰石/聚酰胺 66(nano-hydroxyapatite/polyamide 66, n-HA/PA66)是一种新型仿生合成材料,具有与人皮质骨相近的力学性能以及良好的骨传导性。目前,以该材料为原料制成的 n-HA/PA66 椎体支撑体[四川国纳科技有限公司,国食药监械(准)字 2005 第 3460204 号,图 1]已被广泛地应用于脊柱骨折前路重建手术中,但是有关该支撑体中远期临床疗效的报道较少。2008 年 1 月至 2010 年 12 月,笔者应用 n-HA/PA66 椎体支撑体治疗 42 例下颈椎骨折脱位患者,临床效果满意,报告如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料 本组 42 例,男 29 例,女 13 例;年龄 20~65 岁,平均 46.8 岁。其中车祸伤 20 例,高坠伤 16 例,重物撞击头部 6 例。受伤至手术时间为 1~15 d,平均 6 d。术前颈椎正侧位 X 线片、三维 CT、MRI 检查显示椎体骨折,椎体间高度丢失,节段后凸畸形,骨折块或破裂的椎间盘突入椎管压迫脊髓,但后方关节突关节无绞锁。损伤节段:C₃ 5 例,C₄ 14 例,C₅ 12 例,C₆ 7 例,C₇ 4 例。神经功能损伤程度按 Frankel 分级:A 级 4 例,B 级 11 例,C 级 13 例,D 级

9 例,E 级 5 例。

1.2 手术方法 常规气管插管下全麻,患者均取仰卧位。经颈前外侧入路暴露至椎前,术中透视定位。根据患者受伤节段范围设计具体减压方式:28 例行伤椎次全切减压,14 例行椎间盘切除减压。充分椎管减压后,通过撑开器撑开椎间隙,测量椎间隙长度并选择合适长度的 n-HA/PA66 支撑体。将切除椎体时取出的碎骨粒填充支撑体(行椎间盘切除的病例需于椎体边缘咬除适量骨粒以植骨)。将准备好的椎体支撑体植入椎体间,松开撑开器(或适当加压)后完成颈椎前路钉板内固定系统的安置。安放引流管后冲洗切口并逐层缝合。术后佩戴颈胸支具或颈托 2~3 个月。

1.3 观察项目与方法 术后 1、3、6、12 个月以及以后的逐年门诊随访。随访过程中通过 Frankel 分级评估患者神经功能恢复情况。采用视觉模拟评分(VAS)评价疼痛改善情况。术后 3 d、6 个月及末次随访时常规摄颈椎正侧位 X 线片及融合节段三维 CT,通过侧位 X 线片测量融合节段高度(上位椎体上终板中点至下位椎体下终板中点之间距离),计算每个时间点之间节段高度的差值,即支撑体下沉距离(下沉距离>3 mm 为支撑体下沉^[4]),同时通过侧位 X 线片测量融合节段前凸 Cobb 角(上位椎体上终板与下位椎体下终板之间成角)。通过三维 CT 观察支撑体位置及外形,并且评价植骨融合情况^[5]:融合区域融合骨的密度在影像学上较术后更成熟致密或相似,可观察到成熟骨小梁形成骨桥定义为植骨融合;融合区域出现小部分透亮影或小片骨吸收定义为可能不融合;明显的假关节、植骨吸收、融合区可见透光区或透光带、支撑体或内固定损坏定义为植骨不融合。

1.4 统计学处理 采用 SPSS 17.0 软件进行统计分析,手术前后神经功能 Frankel 分级应用 Wilcoxon 秩和检验进行分析;不同时间患者融合节段高度、融合节段前凸角、VAS 评分行单因素方差分析(one way-ANOVA),各时间点组间两两比较采用最小显著差数法(least significant difference, LSD)进行分析。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

本组手术时间 70~150 min,平均 97 min;术中出血量 80~350 ml,平均 165 ml。术后切口均 I 期愈合;



图 1 n-HA/PA66 支撑体实物图

Fig.1 The photograph of n-HA/PA66 cage

2 例术后并发肺部感染,1 例并发尿路感染,给予敏感抗生素治疗后好转;1 例患者术后 3 d 内出现喉头水肿,应用激素治疗后好转。

所有患者获随访,时间 3~5.2 年,平均 4.1 年。Frankel 分级:A 级 2 例,B 级 3 例,C 级 11 例,D 级 8 例,E 级 18 例,较术前改善($Z=-4.845, P<0.001$),见表 1。术前 VAS 评分为 7.8 ± 2.1 ,术后 3 d 改善至 2.6 ± 1.8 ($t=3.687, P<0.001$),末次随访进一步改善至 1.3 ± 1.0 ($t=2.523, P=0.018$)。

随访过程中 1 例患者(2.4%)出现支撑体轻微移位(<2 mm),无支撑体脱出、塌陷、破裂等情况出现。至末次随访时,41 例患者显示植骨已融合(图 2-3),另 1 例患者植骨区存在小片吸收影像,评定为可能不融合,总体植骨融合率为 97.6%。

表 1 下颈椎骨折脱位 42 例患者手术前后 Frankel 分级比较(例)

Tab.1 Comparison of Frankel grade in 42 patients with lower cervical fracture and dislocation between pre-and post-operation(case)

Frankel 分级	术前	末次随访时				
		A 级	B 级	C 级	D 级	E 级
A 级	4	2	1	1	-	-
B 级	11	-	2	7	1	1
C 级	13	-	-	3	5	5
D 级	9	-	-	-	2	7
E 级	5	-	-	-	-	5

注:末次随访与术前比较, $Z=-4.845, P=0.000$

Note: Latest follow-up vs preoperation, $Z=-4.845, P=0.000$

表 2 两组下颈椎骨折脱位患者手术前后影像学指标比较($\bar{x}\pm s$)

Tab.2 Comparison of radiographic parameters of patients with lower cervical fracture and dislocation between pre-and post-operation($\bar{x}\pm s$)

时间	伤椎次全切减压组(例数=28)		椎间盘切除减压组(例数=14)	
	融合节段高度(mm)	融合节段前凸角($^{\circ}$)	融合节段高度(mm)	融合节段前凸角($^{\circ}$)
术前	19.5 ± 3.6	5.0 ± 3.1	4.0 ± 1.4	2.5 ± 1.8
术后 3 d	25.0 ± 4.8^a	8.3 ± 3.4^a	7.1 ± 2.7^d	4.5 ± 2.6^d
术后 6 个月	24.3 ± 4.9^b	7.9 ± 4.0^b	6.5 ± 2.5^e	4.3 ± 2.2^e
末次随访时	23.2 ± 5.0^c	8.0 ± 3.9^c	6.2 ± 2.6^f	4.0 ± 2.1^f
F 值	12.467	9.332	11.436	7.898
P 值	0.000	0.000	0.000	0.000

注:与术前比较, $^aP<0.001; ^dP<0.001$ 。 a 与 b 比较, $P=0.732$; b 与 c 比较, $P=0.825$; c 与 f 比较, $P=0.796$; d 与 f 比较, $P=0.745$

Note: Compared with preoperative data, $^aP<0.001; ^dP<0.001$. a vs $^b, P=0.732; ^b$ vs $^c, P=0.825; ^c$ vs $^f, P=0.796; ^d$ vs $^f, P=0.745$

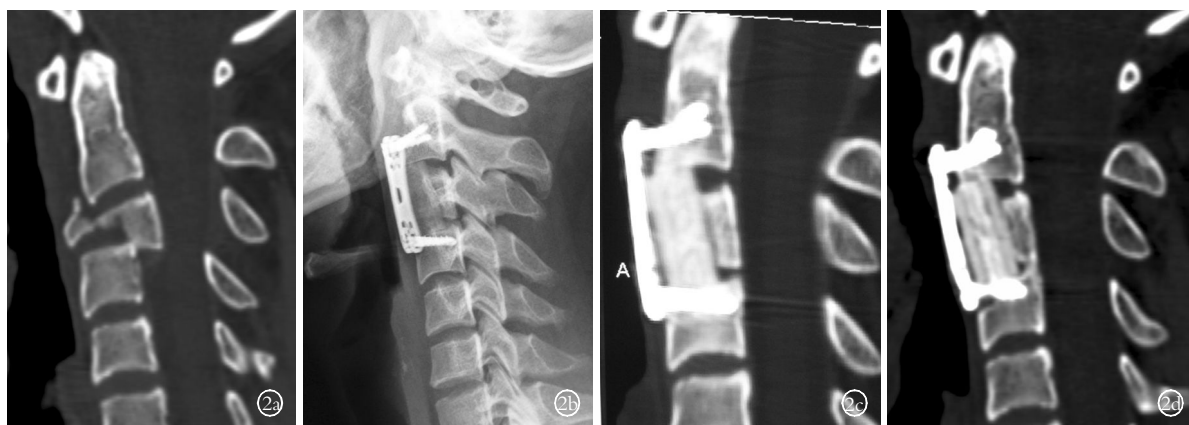


图 2 男性患者,23 岁,因车祸致 $C_{3,4}$ 骨折脱位伴不全瘫(Frankel C 级),经前路行 C_3 椎体次全切减压, n-HA/PA66 支撑体植骨融合内固定术
2a. 术前颈椎三维 CT 矢状面重建图像 2b. 术后 3 d 颈椎侧位 X 线显示骨折已复位,内固定在位 2c. 术后 6 个月三维 CT 显示内固定在位,植骨已融合 2d. 术后 4.5 年三维 CT 显示植骨区密度较前更加成熟,无明显支撑体下沉

Fig. 2 A 23-year-old male patient with fracture and dislocation of $C_{3,4}$ accompanied with incomplete paraplegia (Frankel C) caused by traffic accident. The patient was treated with anterior corpectomy and fusion with n-HA/PA66 cage 2a. Preoperative cervical sagittal reconstruction 3D-CT image 2b. At the third day after operation, cervical lateral X-ray showed that fracture had been reduced and the position of internal fixation was good 2c. Six months after operation, 3D-CT scan showed the position of internal fixation was good and bone had already finished 2d. Postoperativ at 4.5 years, 3D-CT scan showed that the density of the bone graft became more mature, and there was not obvious subsidence with the cage



图 3 女性患者, 53 岁, 因坠伤至 C_{4,5} 骨折脱位伴不全瘫 (Frankel D 级), 经前路行 C_{4,5} 椎间盘切除减压, n-HA/PA66 支撑体植骨融合内固定术
3a. 术前颈椎侧位 X 线片 **3b.** 术后 3 d 颈椎侧位 X 线片显示骨折已复位, 内固定在位 **3c.** 术后 6 个月颈椎侧位 X 线显示内固定稳定, 植骨与邻近终板间可见骨桥生长影像 **3d.** 术后 4 年颈椎三维 CT 显示内固定在位, 植骨已融合, 支撑体无下沉

Fig. 3 A 53-year-old female patient with fracture and dislocation of C_{4,5} accompanied with incomplete paraplegia (Frankel D) caused by fall wound. The patient was treated with anterior C_{4,5} discectomy and fusion with n-HA/PA66 cage **3a.** Preoperative cervical lateral X-ray film **3b.** At the third day after operation, cervical lateral X-ray film showed that the fracture had been reduced and the internal fixation was good **3c.** Six months after operation, cervical lateral X-ray film showed the internal fixation was stable and the bone bridge growing between graft bone and adjacent endplates **3d.** Four years after operation, 3D-CT scan showed that the internal fixation was stable, bone fusion had already finished and cage was not submerged

为使影像学测量数据符合正态分布, 将行伤椎次全切减压组 (28 例) 和椎间盘切除减压组 (14 例) 患者的融合节段高度以及前凸角分别进行统计分析。两组患者中均发现术后融合节段高度及前凸角较术前有明显提高, 但术后各时间点之间差异无统计学意义 (表 2)。伤椎次全切组支撑体下沉平均距离为 (1.8±1.2) mm, 椎间盘切除组平均为 (0.9±0.8) mm; 所有患者支撑体下沉平均距离为 (1.5±1.1) mm, 其中 2 例患者支撑体下沉距离 >3 mm, 总体支撑体下沉率为 4.8%。

3 讨论

3.1 前路重建治疗下颈椎骨折脱位的重要性及方法 下颈椎骨折脱位是一种严重脊柱损伤, 前方椎体骨折塌陷破坏了颈椎稳定性并导致脊髓受压或损伤^[6]。针对该类患者的手术治疗也以彻底减压椎管以及重建节段稳定性为基本原则。颈椎前路手术能够在直视下直接、充分地解除脊髓神经压迫; 同时前路手术能够更好地恢复颈椎正常序列, 重建脊柱前柱稳定性。因此, 颈前路固定融合手术被认为是治疗下颈椎骨折脱位的首选术式^[7]。目前应用于前路植骨融合的材料主要包括: 自体骨、异体骨、钛网支撑体等。自体髂骨植骨融合率高、并发症较少, 成为前路植骨融合的“金标准”沿用至今。然而自体髂骨的强度小, 易发生塌陷, 同时存在取骨区并发症^[8]。同种异体骨仍然没有解决植骨块易塌陷等问题, 此外带来了移植并发症以及传播疾病等新问题^[9]。钛网支撑体易产生应力遮挡、支撑体下沉等并发症, 显著影响其远期的临床效果^[4]。这些问题的出现引起了

人们对新型非金属支撑体材料研究的热潮。

3.2 n-HA/PA66 复合物的生物学及力学特性 理想的脊柱前路支撑植骨材料需要满足: ①良好的生物组织相容性; ②理想的抗压抗弯机械强度; ③较好的成骨活性; ④不影响术后影像学观察。n-HA/PA66 是由羟基磷灰石纳米颗粒 (n-HA) 以及聚酰胺 66 (PA66) 两种材料通过共沉淀技术合成的仿生复合物^[10]。其设计理念是利用 n-HA 模拟自然骨组织中骨磷灰石成分, 利用 PA66 模拟胶原蛋白基质, 进而构成这种新型的人工骨材料。前期的研究表明, n-HA/PA66 复合物生物相容性良好, 无细胞毒性, 植入生物体内不产生免疫排斥反应^[11]。本组病例中无一例患者出现术后排异或过敏等毒副反应, 也充分说明该材料在人体内良好的相容性及安全性。动物实验将致密网孔的 n-HA/PA66 材料用于修复兔桡骨缺损亦取得了满意的结果, 说明该材料具有良好的成骨能力等生物活性^[12]。此外, 该复合材料有机结合了 HA 的强度以及 PA 的韧性, 前期的力学试验显示其抗压、抗弯强度以及弹性模量与人体皮质骨的力学属性相似^[13]。本组病例也未发现 n-HA/PA66 支撑体塌陷、破裂等并发症, 显示该材料从力学性能上能够充分满足颈椎前路重建所需的支撑强度需求。

3.3 n-HA/PA66 支撑体前路重建脊柱的应用 本组病例中所应用的 n-HA/PA66 支撑体是以 n-HA/PA66 复合物为原料, 由四川国纳科技有限公司、重庆医科大学附属第一医院骨科以及笔者科室共同研制外形的脊柱前路重建材料。其设计为中空圆柱体外形, 应用于颈椎的支撑体直径 8~14 mm, 管壁厚度 3~

4 mm,避免支撑体对邻近椎板的切割所引起支撑体下沉;侧壁设计多个直径约 3 mm 的交通孔方便血管长入辅助植骨生长;上下两端设计锯齿状凹槽,以防止支撑体移位、脱出;同时上下两端成角约 7°,与颈椎生理弧度相一致,有利于恢复节段生理曲度。近年来,该支撑体正被越来越广泛地应用于颈椎前路重建术中。系列研究显示应用该支撑体治疗颈椎病以及颈椎骨折等,具有植骨融合率高、支撑体下沉率低以及不影响术后植骨影像学观察等优点^[14]。但是这些研究中患者术后随访时间均较短,仅能体现 n-HA/PA66 的早期临床效果满意。

本研究随访 42 例下颈椎骨折脱位患者至术后 3~5 年时间,发现所有患者未出现支撑体脱出等情况,但有 1 例出现轻微的支撑体移位(约 2 mm)。分析支撑体移位原因可能是术中支撑体长度选择稍短,在植骨未完全融合之前支撑体发生轻微的位置移动,但直至末次随访时该患者未出现临床症状,同时植骨显示已融合,无须特殊处理。至末次随访,三维 CT 观察显示,41 例患者实现了植骨骨性融合;n-HA/PA66 支撑体优异的力学强度能够为融合节段提供早期良好的支撑,保证了后期植骨融合的稳定环境;同时该支撑体具有成骨活性,能够显著地提高植骨融合率,重建节段长期稳定性。同时,该支撑体可透射 X 线、对 CT 图像不产生干扰,在随访过程中方便植骨融合情况的观察。

此外,至末次随访时,n-HA/PA66 支撑体仅发生轻微的支撑体下沉(平均距离约 1.5 mm),下沉率为 4.8%。充分显示该支撑体适宜的弹性模量以及外形设计有利于减少支撑体下沉的发生,从而减少了手术恢复的融合节段高度以及生理弧度的丢失,进而保证了节段稳定性的长期维持。本组患者术后神经功能分级以及临床症状量表评分显示较术前显著改善,并在随访过程中能够长期保持,这与影像学结果相吻合。

总体上说,n-HA/PA66 支撑体力学性能优异,具有早期支撑稳定功能;能够促进植骨融合同时减少支撑体下沉,有利于手术节段长期稳定性的恢复和维持,是一种较为理想的颈椎前路支撑植骨材料。应用该支撑体行颈椎前路减压植骨融合内固定术治疗下颈椎骨折脱位患者的中期随访效果满意,但该支撑体长期的效果仍需要更长时间的临床随访来评价。

参考文献

[1] Toh E, Nomura T, Watanabe M, et al. Surgical treatment for injuries of the middle and lower cervical spine[J]. Int Orthop, 2006, 30(1): 54-58.
 [2] Riew KD, Rhee JM. The use of titanium mesh cages in the cervical

spine[J]. Clin Orthop Relat Res, 2002, (394): 47-54.
 [3] Song KJ, Yoon SJ, Lee KB. Three- and four-level anterior cervical discectomy and fusion with a PEEK cage and plate construct[J]. Eur Spine J, 2012, 21(12): 2492-2497.
 [4] 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.
 [5] Brantigan JW, Steffee AD. A carbon fiber implant to aid interbody lumbar fusion. Two-year clinical results in the first 26 patients[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1993, 18(14): 2106-2117.
 [6] 袁文, 贾连顺, 陈德玉, 等. 前路手术治疗严重下颈椎骨折脱位[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2001, 11(1): 23-25.
 Yuan W, Jia LS, Chen DY, et al. Surgical treatment of severe lower cervical fractures and dislocations by anterior approach[J]. Zhongguo Ji Zhu Ji Sui Za Zhi, 2001, 11(1): 23-25. Chinese.
 [7] Lambiris E, Zouboulis P, Tyuianakis M, et al. Anterior surgery for unstable lower cervical spine injuries[J]. Clin Orthop Relat Res, 2003, (411): 61-69.
 [8] Silber JS, Anderson DG, Daffner SD, et al. Donor site morbidity after anterior iliac crest bone harvest for single-level anterior cervical discectomy and fusion[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2003, 28(2): 134-139.
 [9] Tomford WW. Transmission of disease through transplantation of musculoskeletal allografts[J]. J Bone Joint Surg Am, 1995, 77(11): 1742-1754.
 [10] Huang M, Feng J, Wang J, et al. Synthesis and characterization of nano-HA/PA66 composites[J]. J Mater Sci Mater Med, 2003, 14(7): 655-660.
 [11] 孟纯阳, 安洪, 蒋电明. 新型骨关节修复重建复合材料(n-HA/PA66)的生物活性及近期对机体钙磷代谢的影响[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2005, 20(10): 682-684.
 Meng CY, An H, Jiang DM, et al. Study on bioactivity of the nano-hydroxyapatite crystals and polyamide composite (n-HA/PA66) and its effects to body's metabolism of calcium and phosphorus[J]. Zhongguo Gu Yu Guan Jian Sun Shang Za Zhi, 2005, 20(10): 682-684. Chinese.
 [12] 孟纯阳, 安洪, 蒋电明, 等. 网孔纳米羟基磷灰石/聚酰胺人工骨修复兔桡骨缺损的实验研究[J]. 中华创伤杂志, 2005, 21: 201-205.
 Meng CY, An H, Jiang DM, et al. Repair of bone defect with porous composite of nano-hydroxyapatite and polyamide[J]. Zhonghua Chuang Shang Za Zhi, 2005, 21: 201-205. Chinese.
 [13] 张翔, 李玉宝, 左奕, 等. 纳米羟基磷灰石增强聚酰胺 66 复合材料动态力学性能分析[J]. 功能材料, 2007, 39(3): 419-422.
 Zhang X, Li YB, Zuo Y, et al. Dynamic mechanical analysis of the nano-hydroxyapatite and polyamide 66 composite[J]. Gong Neng Cai Liao, 2007, 39(3): 419-422. Chinese.
 [14] 修鹏, 刘立岷, 宋跃明, 等. 纳米羟基磷灰石/聚酰胺 66 椎体支撑体在脊髓型颈椎病前路手术重建中的应用[J]. 中国骨与关节外科, 2009, 2(5): 347-351.
 Xiu P, Liu LM, Song YM, et al. Application of n-HA/PA66 composite artificial vertebral body in anterior reconstruction of cervical spondylotic myelopathy[J]. Zhongguo Gu Yu Guan Jie Wai Ke, 2009, 2(5): 347-351. Chinese.

(收稿日期:2013-10-15 本文编辑:王宏)