

临床论著

纳米羟基磷灰石-聚酰胺 66 生物活性支撑体联合自体骨在颈前路重建中的应用

叶向阳¹, 甄平², 汤立新¹, 赵玉果¹, 王华磊¹, 程省¹

(1 南阳市中心医院骨科 473000 南阳市; 2 兰州军区兰州总医院全军骨科中心 730050 兰州市)

【摘要】目的:评估纳米羟基磷灰石-聚酰胺 66(n-HA/PA66)生物活性支撑体+自体骨应用于颈前路椎体次全切除减压融合内固定术治疗下颈椎损伤的临床效果,并与自体髂骨植骨进行对比。**方法:**回顾性研究 2009 年 1 月~2013 年 12 月期间我院及兰州军区总医院收治的 62 例下颈椎损伤患者临床资料,损伤均为单一颈椎椎体骨折并颈髓损伤。入选的患者均行颈前路椎体次全切除减压椎间融合+前路钛板内固定术;根据术中支撑融合所用的植骨材料的不同,将患者分为 2 组:A 组,应用自体髂骨植骨融合 30 例;B 组,应用 n-HA/PA66 支撑体+自体骨植骨融合 32 例。比较两组的术中出血量、手术时间、并发症发生率;术后随访包括影像学评价及临床疗效评价,影像学评价以颈椎标准侧位 X 线片评估颈椎曲度、融合节段椎间高度及术后支撑体下沉率,以 CT 三维重建(3D CT)评估骨融合率;临床疗效评价采用 JOA 评分评价术后脊髓功能改善情况。**结果:**随访时间 6~24 个月,平均 13±2.2 个月。A 组术中出血量及手术时间明显大于 B 组($P<0.05$)。两组均无排斥反应出现,A 组 8 例出现取骨区感染,16 例出现取骨区疼痛、麻木不适;B 组无术后并发症发生,A、B 两组术后并发症发生率分别为 80%及 0%,两组间比较有统计学差异($\chi^2=17.12, P=0.00$);术后 6 个月两组的 JOA 评分较术前均明显改善($P<0.05$),但术后 6 个月两组间比较 JOA 评分改善率无统计学差异($P>0.05$)。术后 6 个月两组的骨性融合分别为 A 组 100%,B 组 96.9%,两组融合率比较差异无统计学意义($P=0.20$);术后 6 个月两组的植骨下沉率分别为 0%及 3.1%($P=0.20$),两组的术后植骨下沉率比较无统计学差异。两组手术前后的颈椎曲度矫正角度及椎间矫正高度比较,差异有统计学意义($P<0.05$),而两组相对应时间点的组间比较,差异无统计学意义($P>0.05$)。**结论:**纳米羟基磷灰石-聚酰胺 66 生物活性支撑体能有效恢复并维持颈椎融合节段生理高度及生理曲度,其骨融合率同自体髂骨相似,且不影响术后手术节段的影像学观察,是一种比较理想的颈椎前路重建植骨替代材料。

【关键词】 纳米羟基磷灰石-聚酰胺;支撑体;自体骨;下颈椎损伤

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2016.11.05

中图分类号:R681.5 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2016)-11-0984-07

Anterior decompression and fusion with n-HA/PA66 composite artificial vertebral body and autogenous for the treatment of lower cervical spine injury/YE Xiangyang, ZHEN Ping, TANG Lixin, et al// Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2016, 26(11): 984-990

【Abstract】 Objectives: To study clinical effect and difference between the n-HA/PA66 composite artificial vertebral body and the iliac bone autograft in anterior cervical decompression and fusion for treatment of lower cervical spine injury. **Methods:** From January 2009 to December 2013, the clinical data of 62 patients with lower cervical spine injury (All damage in the patients with single cervical vertebral fracture combined with cervical spinal cord injury) were retrospectively analyzed. 62 cases of lower cervical spine injury were treated with anterior cervical subtotal corpectomy and fixed by titanium locking plates. According to the bone-grafting materials, the patients were divided into 2 groups: 30 cases implanted with iliac bone autograft (group A) and 32 with n-HA/PA66 composite artificial vertebral body and autogenous bone(group B). Blood loss in operation, operative time, complications after operation, prosthesis subsidence rate after operation were

基金项目:国家自然科学基金委员会资助项目(编号:81371983)

第一作者简介:男(1978-),主治医师,医学硕士,研究方向:脊柱外科、关节镜

电话:(0377)63200095 E-mail:yexyang2008@163.com

通讯作者:甄平 E-mail:zhenpingok@163.com

compared between two groups. The patients was followed up by imaging evaluation and clinical curative effect evaluation. Segmental height and sagittal lordosis were measured by radiographs. Instrument displacement and fusion status were assessed by 3D-CT images. Neurological function was followed up by improvement rate of JOA score. **Results:** 62 patients were followed up for an average of 13 ± 2.2 months (6–24 months). Blood loss in operation and operative time of group A were significantly higher than those of group B ($P < 0.05$). Iliac bone infection were observed in 8 cases of group A; pain and numbness at donor site occurred in 16 cases of Group A. There was no rejection reaction in the two groups. The incidence of postoperative complications of the two groups were 80% and 0%. There was significant difference in complications between 2 groups ($\chi^2 = 17.12$, $P = 0.00$). The JOA score at 6 months after operation significantly improved when compared with preoperative score in 2 groups ($P < 0.05$), but no significant difference was found between two groups at preoperation and 6 months after operation ($P > 0.05$). The graft fusion rate was 100% in group A and 96.9% in group B ($P = 0.20$). 1 case (3.1%) were noted prosthesis subsidence (loss of height ≥ 3 mm) at 6 months in group B, and two groups of prosthesis subsidence showed no significant difference. Both segmental height and lordosis improved significantly after surgery in two groups ($P < 0.05$). There was no significant difference between segmental height and lordosis of the two groups at the corresponding time points. **Conclusions:** The n-HA/PA66 composite artificial vertebral body can not only restore and maintain the fusion segmental height and lordosis, but also promote the osseous fusion and profit the radiographic assessment after operation. And the n-HA/PA66 composite artificial vertebral body was the same fusion rate as iliac bone autograft. Therefore, n-HA/PA66 composite artificial vertebral body can be taken as an ideal graft for anterior cervical spine reconstructive surgery.

[Key words] Nano-hydroxyapatite/polyamide 66; Cage; Autogenous bone; Lower cervical spine injury

[Author's address] Department of Orthopedics, Nanyang Central Hospital, Nanyang, 473000, He'nan Province, China

下颈椎损伤是一种现代生活中常见的脊柱损伤,往往伴有程度不等的脊髓损伤,个别严重者会出现肢体瘫痪症状,甚至危及生命^[1]。下颈椎损伤又称低位颈椎损伤,是指各种原因导致的 C3~C7 节段骨、关节、椎间盘韧带结构及脊髓神经根的损伤。颈前方减压植骨融合内固定术是一种治疗下颈椎损伤行之有效的方法,因此该术式得到了广泛的应用,其优点在于:可直视下行颈椎管充分减压,可有效恢复并重建颈椎前柱^[2]。目前较为常用的颈前路支撑重建材料有自体髂骨、同种异体骨、钛网支撑体等,这些材料均存在不同程度的优缺点^[3]。单就融合率而言,自体髂骨移植融合率极高,这是大家公认的事实,但存在植骨块支撑力差,容易吸收、下沉等并发症及供骨区感染、延期愈合、麻木等并发症^[4]。纳米羟基磷灰石-聚酰胺 66 (nano-hydroxyapatite/polyamide 66, n-HA/PA66) 生物活性支撑体是一种合成材料,为新型仿生具有生物活性的支撑体,具有与人类皮质骨类似的良好骨传导性和力学特性^[5]。以该材料为原料制备的 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]已被广泛应用于颈椎病减压融

合术中^[6],但关于该支撑体在下颈椎损伤中应用的报道较少。下颈椎损伤前路减压重建与颈椎病前路减压重建的不同点在于前者常常合并压缩骨折脱位,需恢复伤椎正常高度,重建颈椎正常序列,内固定需更牢靠,椎间融合率要求更高。为此我们对近年收治的下颈椎损伤患者临床资料进行回顾性研究,比较两种植骨融合方法的优劣,报告如下。

1 资料与方法

1.1 临床资料

选取 2009 年 1 月~2013 年 12 月期间我院及兰州军区总医院收治的下颈椎损伤患者临床资料纳入研究。本研究中前路椎体次全切除的手术指征为:伤椎压缩性骨折,椎体高度及椎间高度变低,颈椎稳定性差,节段性后凸,骨折块或破裂的椎间盘组织突入椎管,颈髓受压水肿,无来自颈髓后方的压迫,有明显的神经症状。

根据术中融合所用的植骨材料将患者分为两组:A 组,取自体髂骨植骨融合共 30 例;B 组,用 n-HA/PA66 支撑体+自体骨植骨融合共 32 例。

A 组 30 例,男 21 例,女 9 例;年龄 21~65 岁,



图 1 a n-HA/PA66 椎体支撑体实物图 b 术中应用情况

Figure 1 a Real figure of n-HA/PA66 b The application in the operation

平均 46.8 ± 3.2 岁。其中车祸外伤 13 例,高空坠落伤 10 例,重物撞击头部 7 例。受伤至手术时间为 1~15d, 平均 6 ± 1.2 d。伤椎节段:C4 2 例,C5 10 例,C6 12 例,C7 6 例;

B 组 32 例,男 24 例,女 8 例;年龄 23~67 岁,平均 47.5 ± 3.4 岁。其中车祸外伤 14 例,高空坠落伤 11 例,重物撞击头部 7 例。受伤至手术时间为 2~12d, 平均 5 ± 1.5 d。伤椎节段:C4 3 例,C5 11 例,C6 12 例,C7 6 例。两组患者的下颈椎损伤 Allen 分型情况详见表 1。

入选的患者术前均行颈椎正侧位 X 线检查、CT、MRI 检查显示颈椎骨折,椎间高度降低,节段性后凸,骨折块或破裂的颈椎椎间盘组织突入椎管,压迫颈髓,合并或不合并椎体半脱位,均为颈椎单一椎体骨折,但后方关节突关节无绞锁。纳入研究的患者在年龄、性别比例、病程、伤椎节段分布、Allen 分型、单一伤椎椎体次全切等基线资料方面相比较,无统计学差异 ($P > 0.05$),基线一致,具有可比性。

表 1 两组患者 Allen 分型情况比较

Table 1 Comparison of Allen classification between the two groups

Allen 分型 Allen Classification	A 组 (例数) Group A (Cases)	B 组 (例数) Group B (Cases)
屈曲压缩型 Buckling compression type	4	5
垂直压缩型 Vertical compression type	20	22
伸展压缩型 Extension compression type	2	2
牵张伸展型 Stretch type	4	3

1.2 手术方法及术后处理

常规插管全麻,麻醉满意后患者平卧位,颈后垫小圆枕,使得颈部自然后仰,以伤椎水平为基准取颈前路横切口,依次切开皮肤、皮下、颈阔肌,沿颈内脏鞘和颈动脉鞘之间疏松结缔组织间隙钝性分离进入椎前,C 型臂 X 线机透视定位伤椎。安装颈椎椎体撑开器,适当撑开相应椎间隙。依据术前计划,选择正确的减压节段,施行伤椎的椎体次全切除,彻底椎管减压,再次适当撑开椎间隙,恢复颈椎前凸生理曲度,测量椎间骨槽高度。应用 n-HA/PA66 椎体支撑体组则根据骨槽大小选取合适长度的 n-HA/PA66 椎体支撑体,将椎管减压时咬除的碎骨粒填充于支撑体中空部分压实,植入椎间骨槽;应用自体髂骨组则于患者右侧髂嵴作一长约 4.0cm 长的斜切口,用骨刀切取大小约 1.5×3.5 cm 全板髂骨条,修整后植入椎间骨槽。松开撑开器并适当加压后行颈椎前方钛板内固定。冲洗切口,放置引流管,逐层缝合切口。术后均给予激素、脱水药、抗生素、神经营养药物治疗。术后 7d 拆线,术后患者佩戴颈托 3 个月。

1.3 疗效评估及方法

比较两组患者的术中出血量、手术时间、并发症发生率及支撑体塌陷率情况。术后 7d、术后 6 个月及末次随访复查一次,行颈椎侧位 X 线检查及三维 CT 扫描。采用 Carestream 软件测量侧位片上术前、术后及末次的融合节段高度(伤椎上位椎体上终板的中点到下位椎体下终板中点之间的距离)及颈椎前凸 Cobb 角(融合节段前凸 Cobb 角:上位椎体上终板的切线与下位椎体下终板切线所成的角度)。术后 6 个月时评价融合情况,融合标准为三维 CT 检查可见支撑体或自体髂骨条

与邻近椎体终板间的界面变模糊,有新生的连续性骨小梁通过支撑体及上、下终板之间;融合节段椎间高度改变 $\geq 3\text{mm}$ 即为下沉。采用颈椎 JOA 评分分别于术前及术后 6 个月评分,并评价患者术后的改善率。JOA 改善率=(术后 JOA 评分-术前 JOA 评分)/(17-术前 JOA 评分) $\times 100\%$;改善率 $\geq 75\%$ 为优,50%~74%为良,25%~49%为中,<25%为差。

1.4 统计学分析

采用 SPSS 13.0 统计软件分析。计量资料以

均数 $\pm$ 标准差来表示,组间比较采用单因素方差分析,两两比较采用 SNK 检验;术前与术后 6 个月 JOA 评分比较采用配对 t 检验;颈椎曲度 Cobb 角及融合节段高度采用 t 检验,计数资料以率来表示,组间比较采用 χ^2 检验。检验水准为 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

两组患者均顺利完成手术。A 组术中出血量及手术时间明显大于 B 组($P<0.05$,表 2)。两组均无排斥反应出现,A 组 6 例出现取骨区感染,6 例

表 2 两组患者手术时间、术中出血量及 JOA 评分比较

($\bar{x}\pm s$)

Table 2 Comparison of operation time, intraoperative blood loss, and JOA score among 2 groups

组别 Group	例数 <i>n</i>	手术时间(min) Operation time	术中出血量(ml) Intraoperative blood loss	JOA 评分 JOA score	
				术前 Preoperative	术后 6 个月 Six months after operation
A 组 Group A	30	140.23 $\pm$ 8.89	180.87 $\pm$ 50.51	8.1 $\pm$ 2.1	13.4 $\pm$ 2.9 ^①
B 组 Group B	32	94.21 $\pm$ 7.89 ^②	140.11 $\pm$ 30.44 ^②	8.5 $\pm$ 1.9	14.0 $\pm$ 2.5 ^①

注:①与术前比较 $P<0.05$;②与 A 组比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with preoperation, $P<0.05$; ②Compared with group A, $P<0.05$

出现取骨区疼痛、麻木不适;B 组无术后并发症发生,A、B 两组术后并发症发生率分别为 40%及 0%,两组并发症的发生率相比较有统计学差异($\chi^2=17.12, P=0.00$)。患者均获随访,随访时间 6~24 个月,平均 13 $\pm$ 2.2 个月。术后 6 个月两组的 JOA 评分较术前均明显改善($P<0.05$),但术后 6 个月两组组间比较 JOA 评分改善率无统计学差异($P>0.05$,表 2)。术后 6 个月时,两组的骨性融合率 A 组为 100%,B 组为 96.9%,两组间比较差异无统计学意义($P=0.20$);两组的植骨下沉率分别为 0%及 3.1%($P=0.20$),两组间比较无统计学差异(表 3)。两组各自手术前后的颈椎曲度矫正角度及椎间矫正高度比较差异有统计学意义($P<0.05$),而两组相对应时间点的组间比较差异无统计学意义($P>0.05$,表 3)。影像学复查显示两组患者内固定位置良好,植骨融合(图 2、3)。

3 讨论

下颈椎损伤常常破坏了颈椎的稳定性,颈椎损伤产生的骨折片或破碎的颈椎间盘组织压迫或刺激颈髓,导致神经症状的出现。治疗的基本原则是彻底椎管减压,重建颈椎前柱,恢复颈椎正常序列及颈椎稳定性。颈前入路能直视下行椎管充分减压,同时方便恢复颈椎序列及重建颈椎稳定性。

表 3 两组患者颈椎曲度、融合节段高度、融合率及下沉率的比较

($\bar{x}\pm s$)

Table 3 Comparison of segmental angle, Interspace height, fusion rate and prosthesis subsidence rate between the two groups

	A 组 Group A	B 组 Group B	<i>t</i> 值 <i>t</i> value	<i>P</i> 值 <i>P</i> value
颈椎曲度(融合节段 Cobb 角) Segmental angle				
术前 Preoperative	5.0 $\pm$ 2.1	5.0 $\pm$ 1.9	0.124	0.754
术后 Postoperative	8.3 $\pm$ 3.2 ^①	8.4 $\pm$ 2.9 ^①	0.048	0.978
末次随访 Final follow-up	8.0 $\pm$ 2.2 ^①	8.2 $\pm$ 2.6 ^①	0.547	0.589
矫正角度 Correction	3.1 $\pm$ 1.8	3.0 $\pm$ 1.9	0.375	0.638
融合节段高度 Interspace height(mm)				
术前 Preoperative	19.50 $\pm$ 1.32	19.47 $\pm$ 1.73	-1.212	0.216
术后 Postoperative	25.70 $\pm$ 0.67 ^①	25.73 $\pm$ 0.76 ^①	-0.183	0.816
末次随访 Final follow-up	24.40 $\pm$ 0.54 ^①	24.79 $\pm$ 0.52 ^①	-0.564	0.511
矫正高度 Correction	5.05 $\pm$ 1.32	5.45 $\pm$ 1.24	1.037	0.301
融合率 Fusion rate	30/30(100%)	31/32(96.9%)	/	0.20
下沉($\geq 3\text{mm}$) Prosthesis subsidence	0/30(0%)	1/32(3.1%)	/	0.20

注:①与同组术前比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with preoperation of same group, $P<0.05$

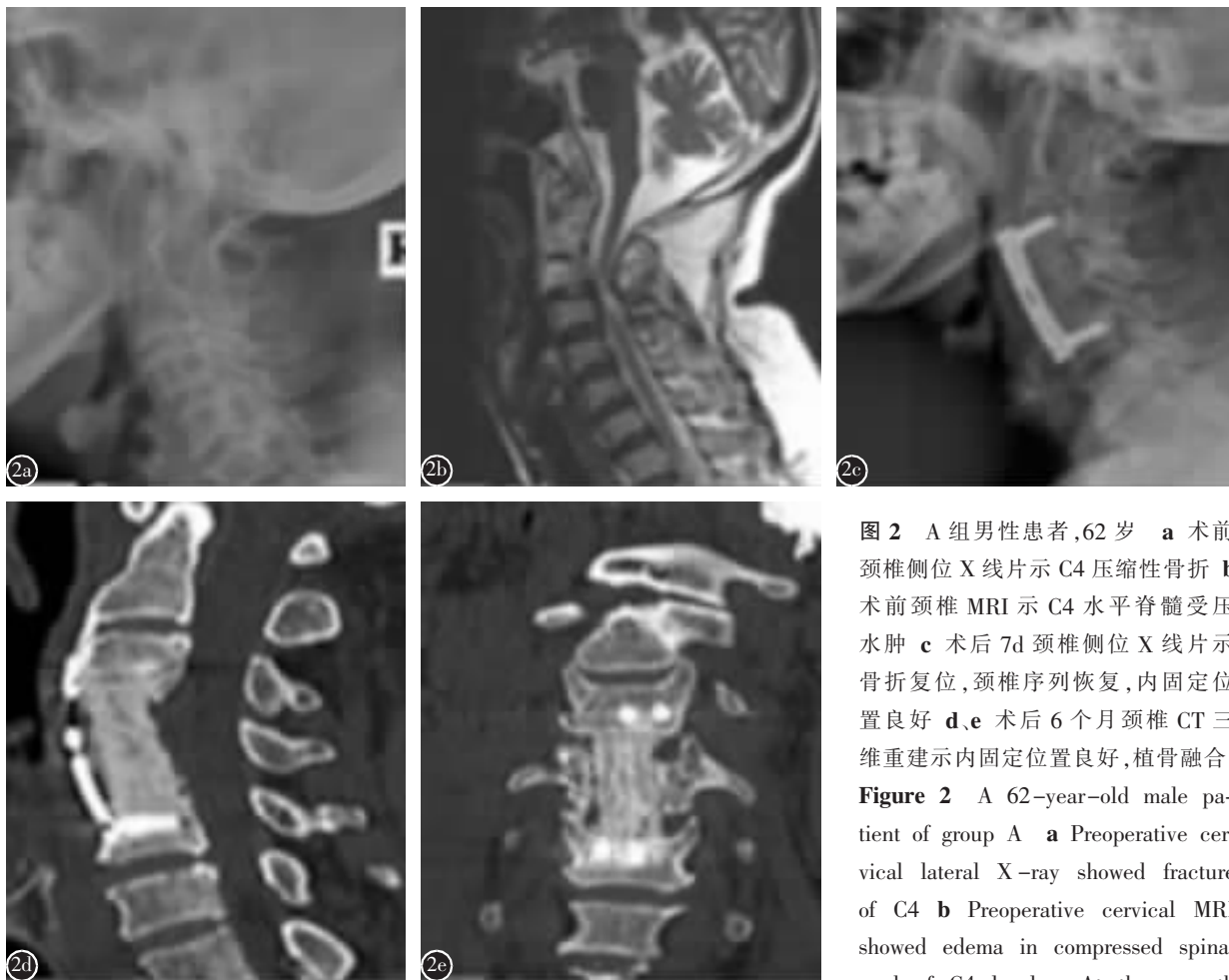


图 2 A 组男性患者, 62 岁 a 术前颈椎侧位 X 线片示 C4 压缩性骨折 b 术前颈椎 MRI 示 C4 水平脊髓受压水肿 c 术后 7d 颈椎侧位 X 线片示骨折复位, 颈椎序列恢复, 内固定位置良好 d、e 术后 6 个月颈椎 CT 三维重建示内固定位置良好, 植骨融合

Figure 2 A 62-year-old male patient of group A a Preoperative cervical lateral X-ray showed fracture of C4 b Preoperative cervical MRI showed edema in compressed spinal cord of C4 level c At the seventh

day after operation, cervical lateral X-ray showed reduction and good internal fixation d, e Six months after operation, cervical 3D-CT scan showed no instability and well bone fusion

故颈前方减压植骨融合术是该类伤病的较理想的首选术式, 但对于合并难以复位的关节突绞锁的患者必要时需加作颈后路手术。对于减压后遗留的椎间隙, 取自体髂骨条重建颈椎前柱, 融合率高, 并发症少, 至今仍被视为前路植骨融合的金标准。自体髂骨虽有三面皮质骨, 但是皮质骨菲薄, 大部分为松质骨, 强度低, 容易下沉塌陷、吸收, 有增加创伤、感染、供区慢性疼痛、股外侧皮神经损伤等并发症^[3]。而同种异体骨至今没很好地解决强度较低、易塌陷吸收的问题, 并且存在移植排斥反应及传播疾病的潜在风险。因此有必要寻找一种新型具有生物活性的支撑体材料。

目前骨科界一致认为理想的脊柱前柱支撑体应该满足: ①良好的生物组织相容性; ②与脊椎骨相比有相似的支撑强度和力学特性; ③具有良好的诱导成骨活性; ④不影响术后影像学检查, 便于

植骨愈合情况的影像学观察与评价。n-HA/PA66 生物活性支撑体是由羟基磷灰石纳米颗粒 (n-HA) 和聚酰胺 66 (PA66) 两种材料通过共沉淀技术合成的仿生复合物。利用 n-HA 模拟自然骨组织中骨磷灰石成分, PA66 模拟胶原蛋白基质, 通过一定的方法合成这种新型的人工骨材料。PA66 类似骨胶原结构, 无细胞毒性, 植入体内无排斥反应, 组织相容性良好, 安全性高^[7]。本研究 A 组 8 例出现取髂骨区感染, 考虑与术中用明胶海绵堵塞髂骨缺损有关, 属于明胶海绵的排斥反应导致感染。文中支撑体组与自体髂骨组相比患者无特殊不适, 术后颈部切口愈合良好, 无排斥反应发生, 提示 n-HA/PA66 支撑体具有与自体髂骨一样的良好的生物相容性和安全性。

本研究中 A 组由于应用自体髂骨植骨, 需额外手术切取, 增加创伤, 延长手术时间, 增加了术

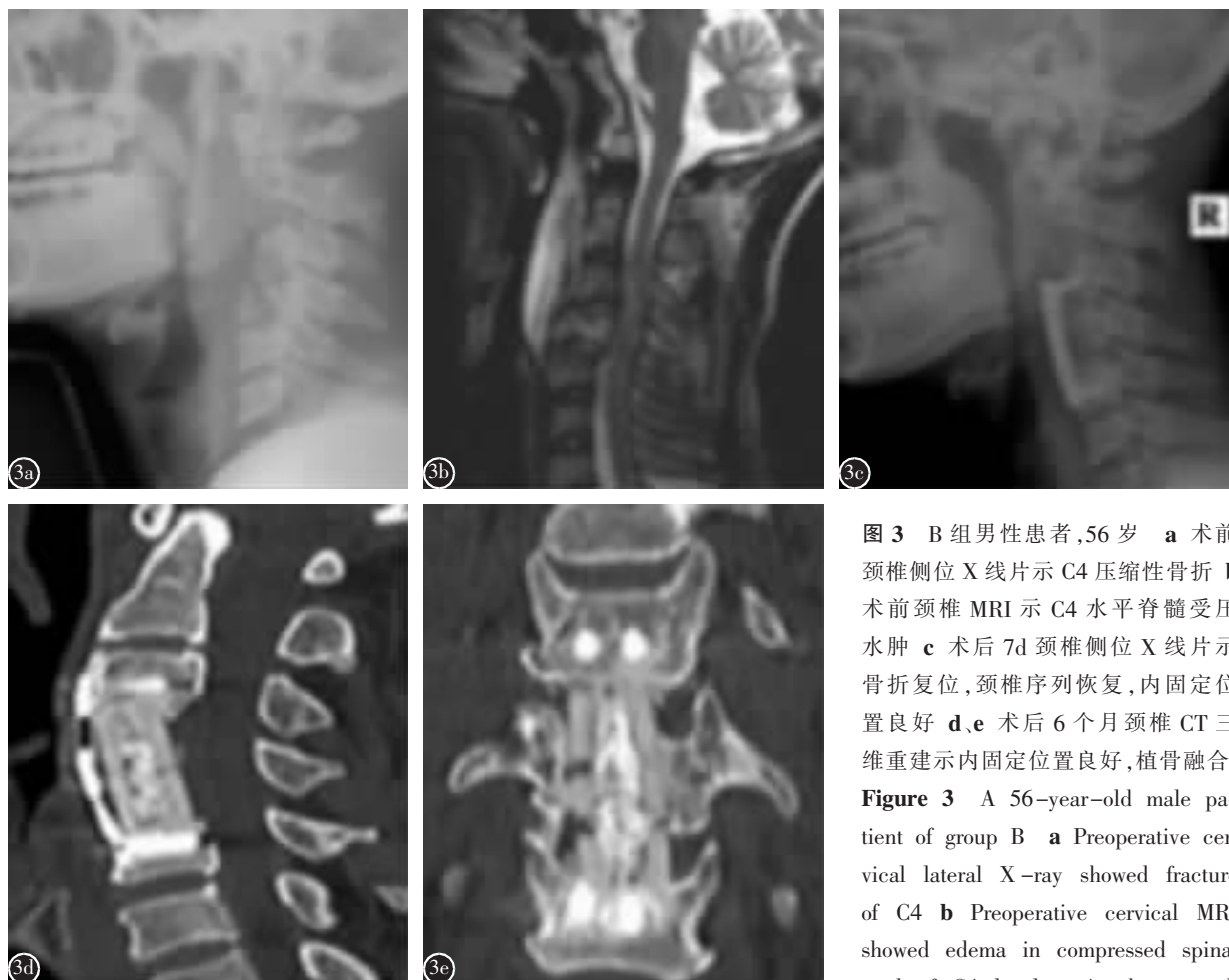


图3 B组男性患者,56岁 a 术前颈椎侧位X线片示C4压缩性骨折 b 术前颈椎MRI示C4水平脊髓受压水肿 c 术后7d颈椎侧位X线片示骨折复位,颈椎序列恢复,内固定位置良好 d、e 术后6个月颈椎CT三维重建示内固定位置良好,植骨融合

Figure 3 A 56-year-old male patient of group B a Preoperative cervical lateral X-ray showed fracture of C4 b Preoperative cervical MRI showed edema in compressed spinal cord of C4 level c At the seventh

day after operation, cervical lateral X-ray showed reduction and good internal fixation d, e Six months after operation, cervical 3D-CT scan showed no instability and well bone fusion

中出血量,而应用n-HA/PA66生物活性支撑体节省手术时间,减少出血量,减少额外创伤及取髂骨后的并发症。

本研究中支撑体组与自体髂骨组在术后恢复椎间高度及颈椎融合节段Cobb角方面基本一致,末次随访时二者之间的差别不明显。n-HA/PA66生物活性支撑体上下两端成角 7° ,与颈椎生理曲度一致,有助于恢复颈椎生理前凸。B组出现一例支撑体下沉,考虑与术中邻近椎体骨性终板过度刮除有关,导致支撑体下沉。该支撑体采用面-面接触,增大了接触面积,起到环形支撑及界面稳定作用,同时支撑体与人体骨弹性模量相似,有效减小了对终板的切割,减少下沉的幅度^[10],能提供颈椎的即刻稳定性,有效恢复并维持椎间高度及颈椎曲度,而稳定的力学环境可促进骨愈合。

根据融合标准,治疗后6个月本研究中两组

患者椎间骨性融合率差异无统计学意义($P>0.05$),提示n-HA/PA66生物活性支撑体作为颈椎前路植骨支撑材料,融合率与自体髂骨相似,证明支撑体的生物活性优良,可与自体髂骨相媲美。n-HA/PA66支撑体具有优秀的力学特性,能为减压融合节段提供早期良好的支撑,从而为后期植骨融合提供了稳定的力学环境;由于该支撑体具有较好的成骨诱导活性,显著提高了植骨融合率,满足了重建节段长期稳定性的目的,进而保证了术后颈椎的稳定性。

通过我们的对比研究发现,在下颈椎损伤术后患者功能改善、骨融合率方面,n-HA/PA66生物活性支撑体与自体髂骨无统计学差异,而在手术时间、术中出血量、并发症方面,应用支撑体的病例与取自体髂骨的病例相比具有较为明显的优势。

总体来说, n-HA/PA66 生物活性支撑体是一种新型具有较好生物成骨活性的颈椎前路支撑植骨替代材料, 具有理想的力学强度、合适的弹性模量及较好的成骨活性, 与自体髂骨有近似的骨融合率, 可有效保持颈椎生理曲度、椎间高度及颈椎稳定性。

4 参考文献

1. 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, 21(1): 23-25.
2. 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.
3. Riew KD, Rhee JM. The use of titanium mesh cages in the cervical spine[J]. Clin Orthop Relat Res, 2002, 394: 47-54.
4. 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.
5. 杨曦, 宋跃明, 刘立岷, 等. 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[J]. 中国骨伤, 2014, 27(2): 92-96.
6. 修鹏, 刘立岷, 宋跃明. 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.
7. 孟纯阳, 安洪, 蒋电明, 等. 纳米羟基磷灰石/聚酰胺的细胞相容性研究[J]. 中华创伤骨科杂志, 2005, 7(8): 749-752.
8. 孟纯阳, 安洪, 蒋电明. 新型纳米骨关节修复重建材料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.
9. 徐海栋, 傅强, 汪涛, 等. 纳米羟基磷灰石增强聚酰胺 66 颈椎仿生骨块材料生物力学分析[J]. 中国组织工程研究与临床康复, 2009, 13(3): 529-532.
10. 王群波, 蒋电明, 安洪, 等. 纳米羟基磷灰石/聚酰胺 66 复合人工椎体在胸腰椎骨折中的应用[J]. 中华创伤杂志, 2005, 21(9): 690-692.
11. 桑裴铭. 医用纳米羟基磷灰石/聚酰胺 66 复合生物材料研究现状及进展[J]. 医学综述, 2012, 18(13): 2072-2074.
12. 吕超亮, 宋跃明, 刘浩, 等. 纳米羟基磷灰石/聚酰胺 66 椎体支撑体在下颈椎骨折脱位前路手术重建中的应用[J]. 中华外科杂志, 2012, 50(4): 338-341.

(收稿日期: 2016-05-26 末次修回日期: 2016-10-24)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)