

临床论著

胸腰椎骨折复位术后椎体“空壳现象”的相关因素分析

胡海刚, 谭 伦, 林 旭, 吴 超, 钟泽荏, 曾 俊, 邓佳燕

(四川省自贡市第四人民医院骨一科 643000)

【摘要】目的:探讨胸腰椎骨折复位术后椎体“空壳现象”的相关因素。**方法:**对 2013 年 1 月~2015 年 12 月我科行后路椎弓根钉棒系统复位内固定术治疗的 116 例胸腰椎单节段骨折患者进行回顾性分析。分别记录患者的年龄、性别、病程、术前椎体压缩程度、术前矢状面 Cobb 角、骨折类型、骨密度、伤椎置钉、骨折撑开复位情况、椎体复位程度、螺钉位置等相关因素,观察患者术后椎体“空壳现象”的发生情况,应用单因素和多因素 Logistic 回归分析研究各因素与椎体“空壳现象”发生的相互关系。**结果:**116 例患者中有 72 例患者术后发生椎体“空壳现象”,发生率为 62.1%。单因素分析结果显示患者骨折撑开复位情况、椎体复位程度、术前椎体压缩程度及骨密度与术后椎体“空壳现象”的发生有明显的相关性($P<0.05$),而患者的年龄、性别、病程、骨折类型、术前矢状面 Cobb 角、伤椎置钉情况、螺钉位置与术后椎体“空壳现象”的发生无相关性($P>0.05$)。多因素分析结果显示患者术前椎体压缩程度及骨密度是影响术后椎体“空壳现象”发生的独立危险因素。**结论:**胸腰椎骨折复位术后出现椎体“空壳现象”受多种因素影响,其中椎体压缩程度和骨密度可能是造成上述问题的主要原因。

【关键词】 胸腰椎骨折;空壳现象;相关因素

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.03.08

中图分类号: R683.2, R619 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2017)-03-0242-06

Analysis of influencing factors for "shell" phenomenon in centrum after thoracolumbar fracture reduction/HU Haigang, TAN Lun, LIN Xu, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2017, 27 (3): 242-247

【Abstract】 Objectives: To investigate the influencing factors for the "shell" phenomenon after thoracolumbar fracture reduction. **Methods:** A retrospective analysis was conducted in 116 patients with single-segment thoracolumbar fracture who received posterior pedicle screw reduction and internal fixation in our department from January 2013 to December 2015. Their detailed information was recorded, including age, gender, course of disease, degree of preoperative spinal compression, preoperative sagittal Cobb angle, fracture type, bone density, screw placement in diseased spinal segment, distraction and reduction of fracture, degree of reduction, and screw position. The incidence of the "shell" phenomenon was observed. Single-factor analysis and multiple-factor logistic regression analysis were used to study the correlation between these factors and the incidence of the "shell" phenomenon. **Results:** The "shell" phenomenon in centrum occurred in the 72 of 116 patients, with an incidence of 62.1%. Single-factor analysis showed that the "shell" phenomenon was significantly correlated with distraction and reduction of fracture, degree of reduction, degree of preoperative spinal compression, and bone density($P<0.05$), but not related to age, gender, course of disease, fracture type, preoperative sagittal Cobb angle, screw setting in diseased spinal segment, and screw position($P>0.05$). Multiple-factor Logistic regression analysis showed that bone density and degree of preoperative spinal compression were major risk factors for "shell" phenomenon. **Conclusions:** The "shell" phenomenon after thoracolumbar fracture reduction is influenced by many factors, the degree of preoperative vertebral compression and bone density may be the major risk factors of the problem.

基金项目:四川省卫生和计划生育委员会项目(编号:16PJ596);自贡市科技局项目(编号:2016SF04)

第一作者简介:男(1984-),主治医师,医学硕士,研究方向:脊柱外科

电话:(0813)2204523 E-mail:gggydbh@163.com

通讯作者:谭伦 E-mail:tlcml@263.net

【Key words】Thoracolumbar fractures; "Shell" phenomenon; Influencing factor

【Author's address】Department of Orthopaedics, the Fourth People's Hospital of Zigong City, 643000, Zigong, China

胸腰椎骨折(T11~L2)是临床上最常见的脊柱骨折类型,经后路椎弓根钉棒系统复位内固定术可实现三柱固定,并充分矫正后凸畸形及恢复椎体的高度,是常用的手术方式之一^[1-3]。近年来较多的作者发现,由于胸腰椎骨折后椎体内骨小梁支架结构的破坏,在后路钉棒复位过程中,虽椎体外形恢复,但椎体内的骨架结构并不能恢复,而是形成了椎体内的腔隙,使椎体内部出现骨缺损区,形成“蛋壳样”椎体,此病理改变称之为“空壳现象”^[1,4-9]。“空壳现象”的产生易导致术后出现椎体塌陷,内固定松动、断裂及椎体高度再次丢失导致脊柱后凸畸形,甚至发生后路融合失败、椎体不愈合等长期慢性腰背痛的严重并发症^[2-4,8]。因此,我们回顾了一组胸腰椎骨折患者资料,旨在分析影响椎体“空壳现象”发生的相关因素,为临床治疗提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2013 年 1 月~2015 年 12 月我科收治的胸腰椎单节段骨折患者共 116 例,其中男 65 例,女 51 例,年龄 22~66 岁,平均 43 ± 8.6 岁;年龄 ≤ 30 岁 10 例,31~50 岁 68 例, >50 岁 38 例;根据 Denis 分型:压缩性骨折 43 例(A 型 8 例、B 型 30 例、C 型 5 例);爆裂性骨折 73 例(A 型 15 例、B 型 48 例、C 型 10 例);受伤原因:车祸伤 24 例,高坠伤 54 例,重物砸伤 38 例;骨折部位:T11 5 例,T12 38 例,L1 52 例,L2 21 例;神经功能分级 Frankel C 级 10 例,D 级 35 例,E 级 71 例。伤后至手术的平均时间为 5d(3~10d)。

病例纳入标准:①受伤时间小于 2 周的 Denis 压缩性及爆裂性骨折;②后方韧带复合结构破坏;椎管有占位(T12 及以上 $<30\%$,L1 $<40\%$,L2 及以下 $<50\%$)伴或不伴神经功能损伤^[10]。排除标准:①T11~L2 骨折脱位;②需前路减压植骨融合者;③伴颅脑和胸腹腔内重要脏器损伤者,以及其他全身性疾病不能耐受手术或需延期手术者。按国务院《医疗机构管理条例》要求,患者均了解研究设计情况并签署知情同意书,并且得到了医院伦理委员会批准。

1.2 手术方法

手术由本科室具有丰富经验的脊柱外科医师施行。常规全麻取俯卧位,以伤椎为中心取后正中切口,显露伤椎及相邻上下椎的棘突、椎板及上下关节突,运用“人字嵴顶点法”和椎板边缘法^[11]结合定位入钉点,常规置钉(4 钉、5 钉或 6 钉),完成后连接预弯棒尽量复位到正常椎体或接近正常椎体高度的程度,使节段生理弧度基本恢复。当患者有脊髓神经功能损伤或骨块侵占椎管大于 30% 时行椎板切除减压,根据 CT 影像尽可能的有限减压,再行关节突及椎板外缘间植骨融合。

1.3 观察指标

①病历资料复习:复习 116 例单节段胸腰椎骨折病历资料,统计记录了患者的年龄、性别、受伤到手术的时间及骨密度测量值。②影像学观察:收集了术前术后胸腰段脊柱的 DR 片和 CT 片,分析并记录患者的骨折 Denis 分型、术前椎体压缩程度、椎管有无占位、术前矢状面 Cobb 角、伤椎置钉、骨折撑开复位情况、椎体复位程度及螺钉位置。

1.4 测量方法

①椎体“空壳现象”:术后矢状位或水平位 CT 图像上椎体内低密度的骨缺损区域(图 1a);②椎体压缩程度:患椎前缘高度 $[($ 患椎上位邻椎前缘高度 $+$ 患椎下位邻椎前缘高度 $)/2] \times 100\%$,即 $a/[(a1+a2)/2] \times 100\%$ (图 1b);③矢状面 Cobb 角:采用 Phillips 等^[12]的方法,即伤椎上位椎体上终板与下位椎体下终板延长线相交 Cobb 角(图 1b);④骨折撑开复位情况:根据腰椎间隙自上而下逐渐增加的规律,若椎间隙前缘高度大于等于下一椎间隙高度者视为过度撑开,椎间隙前缘高度小于下一椎间隙高度者为适度撑开^[13](图 1a);⑤椎体复位程度:优(伤椎前缘达到相邻上下椎体前高之和平均值的 90%以上)、良(伤椎前缘达到相邻上下椎体前高之和平均值的 80%~90%);⑥螺钉位置:采取置钉方向是否平行于上终板作为标准;⑦骨密度:采用美国 GE 双能 X 射线骨密度仪检查,测定 L2、L3、L4 的骨密度(bone mineral density, BMD),取其平均值,单位以 g/cm^2 表示。根据世界卫生组织骨质疏松的诊断标准,骨量减

少: -2.5 个标准差 (standard deviation, SD) < T 值 < -1SD; 骨质疏松: T 值 ≤ -2.5SD; 严重骨质疏松: T 值 ≤ -2.5SD, 且伴有一处或多处骨折史。为尽量减少记录数值的误差, 我们选择了两名对本项研究的设计方法及目的不知情, 并且具有丰富阅片和影像学测量经验的专科医师分别进行记录, 每名测量者对同一测量结果行两次重复, 最终结果取两者的平均值。

1.5 统计学处理

相关因素量化赋值情况见表 1。应用 SPSS 19.0 统计学软件进行数据处理, 采用单因素 Logistic 回归分析确定各种因素(如性别、年龄等)对椎体“空壳现象”发生的影响, 将有统计学意义的单因素纳入多因素 Logistic 回归分析, 进而筛选出主要因素, 以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

116 例患者中, 共有 72 例患者术后出现椎体空壳, 发生率为 62.1%。具体分布情况: 男 32 例, 女 40 例; 年龄 ≤ 30 岁 3 例, 31~50 岁 40 例, >50 岁 29 例; T11 2 例, T12 22 例, L1 37 例, L2 11 例; 压缩性骨折 27 例, 爆裂性骨折 45 例; 骨量正常 23 例, 骨量减少 7 例, 骨质疏松 37 例, 严重骨质疏松 5 例; 伤椎前高压程度 <25% 8 例, 25%~50% 53 例, 51%~75% 9 例, >75% 2 例; 撑开复位情况: 过度撑开 21 例; 适度撑开 51 例; 椎体复位程度: 优 49 例, 良 23 例。

椎体“空壳”形态各异, 缺乏规律性, 位置分布主要集中在椎体前柱及上终板薄弱区附近 (图 2), 并且“空壳”的形成与骨折的愈合密切相关。单因素分析结果显示: 患者骨折撑开复位情况、椎体

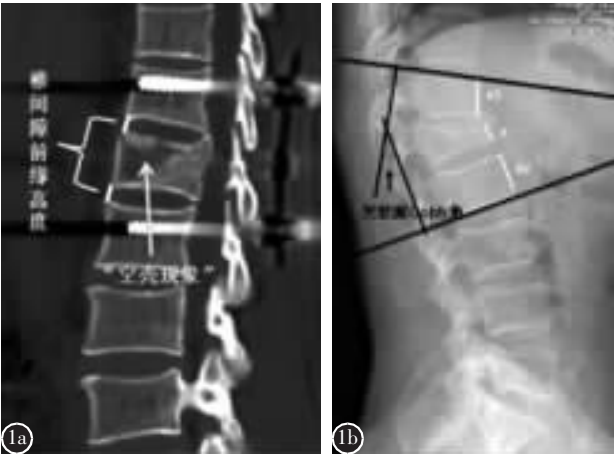


图 1 a “空壳现象”示意图, 测量相邻椎间隙前缘高度 (白线) b 矢状面 Cobb 角测量示意图, 测量伤椎及相邻椎体前缘高度 (白线)

Figure 1 a The sketch map of “shell phenomenon”, measuring the anterior height of adjacent intervertebral space (red line) b The sketch map of the sagittal Cobb angle measurement, measuring the vertebral and adjacent vertebral height (white line)

表 1 椎体“空壳现象”的可能相关因素及量化赋值

Table 1 Possible influencing factors and quantitative evaluation of centrum “shell phenomenon”

可能相关因素变量 Possible influencing factors	赋值 Assignment
椎体“空壳现象”(Y) “Shell phenomenon”	无 0, 有 1/No 0, Yes 1
年龄(X1, 岁) Age	≤30=0, 31-50=1, >50=2
性别(X2) Gender	女 0, 男 1/Female 0, Male 1
病程(X3, d) Course of disease	≤3=0, 4-7=1, >7=2
骨折类型(X4) Type of fracture	压缩性骨折 1, 爆裂性骨折 2/Compression fracture 1, Burst fracture 2
术前椎体压缩程度(X5) Degree of preoperative spinal compression	<25%=0, 25%-50%=1, 51%-75%=2, >75%=3
术前矢状面 Cobb 角(X6, 度) Preoperative sagittal Cobb angle	<20=0, ≥20=1
骨密度(X7) Bone density	骨量正常=0, 骨量减少=1/Bone mass normal=0, Bone mass loss=1 骨质疏松=2, 严重骨质疏松=3/Osteoporosis=2, Serious osteoporosis=3
螺钉位置(X8) Screw position	不平行于上终板 0, 平行于上终板 1 Not Parallel to the upper end plate 0, parallel to the upper end plate 1
伤椎置钉(X9) Screw setting in diseased spinal segment	无 0, 有 1 No 0, Yes 1
骨折撑开复位情况 Distraction and reduction of fracture	适度撑开 0, 过度撑开 1 Moderate distraction 0, Excessive distraction 1
椎体复位程度 Degree of centrum reduction	优 0, 良 1/Excellent 0, Good 1

复位程度、术前椎体压缩程度及骨密度与术后椎体“空壳现象”的发生有一定的相关性($P<0.05$, 表 2), 而患者的年龄、性别、病程、骨折类型、术前矢状面 Cobb 角、伤椎置钉、螺钉位置与术后椎体“空壳现象”的发生无相关性($P>0.05$, 表 2)。为排除各单因素之间的相互作用和可能的混杂作用, 将单因素分析结果中有相关性的四个因素进行多因素 Logistic 回归分析, 结果显示患者的术前椎体压缩程度及骨密度为影响术后椎体“空壳现象”发生的主要因素($P<0.05$, 表 3)。

3 讨论

胸腰椎骨折后路复位术后椎体常常出现“空壳现象”, 可发生在不同的年龄、性别以及骨折类型的患者, 其形态有大有小, 位置不定, 并且发生率也报道不一, 最高达到 100%^[4], 本研究回顾发现其发生率达到 62.1%。其中术前椎体压缩程度及骨密度在一定程度上决定了伤椎复位后椎体的形态学以及生物力学的改变, 从而成为椎体空壳产生的主要因素。

3.1 术前椎体压缩程度与椎体“空壳现象”的关系

术前椎体压缩程度反映了椎体高度丢失的情况。压缩程度越重, 自身结构破坏就越严重。在后

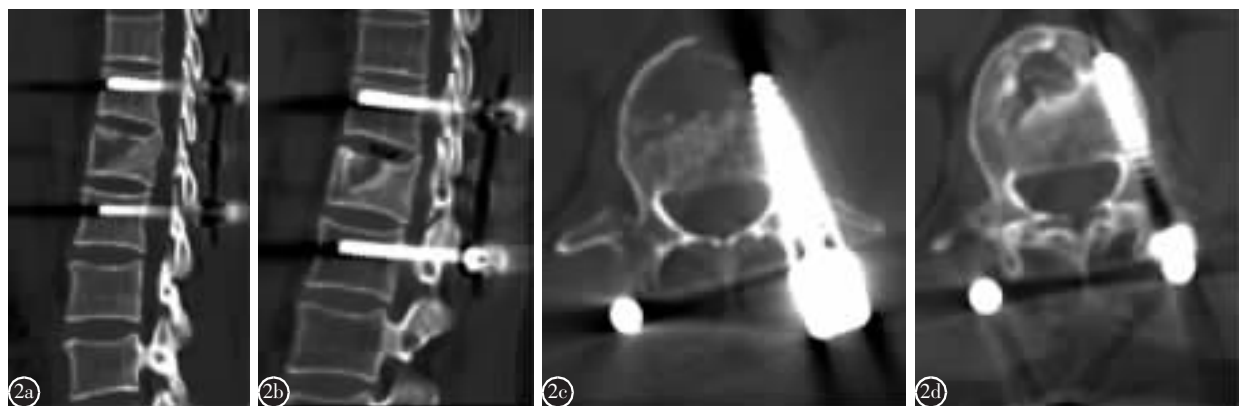


图 2 40 岁女性, L1 椎爆裂骨折 a、b 复位后 CT 片上出现“空壳现象” c、d 术后 1 年时椎体空壳有缩小, 但仍然存在, 边缘出现硬化带, 发生骨不愈合

Figure 2 A 40-year-old female, L1 burst fracture a, b CT after reduction showed the "shell phenomenon" c, d 1 year later vertebral shell has narrowed, but still exist, edge hardening with bone nonunion

表 2 单因素 Logistic 回归分析结果

Table 2 Single-factor logistic regression analysis

	回归系数 Regression coefficient	回归系数 标准误 S.E	χ^2 值 Chi-square value	自由度 Wald	P 值 P-value	优势比 O.R	优势比 95% 置信区间 O.R-95%CI	
							低值 Low value	高值 High value
年龄 Age	0.425	0.539	0.622	1	0.430	1.530	0.532	4.399
性别 Gender	0.149	0.531	0.079	1	0.779	0.862	0.305	2.437
病程 Course of disease	0.338	0.449	0.567	1	0.452	1.402	0.582	3.379
骨折类型 Type of fracture	0.414	0.546	0.573	1	0.449	0.661	0.227	1.929
椎体压缩程度 Degree of spinal compression	1.106	0.462	5.742	1	0.017	3.023	1.223	7.741
矢状面 Cobb 角 Sagittal Cobb angle	0.202	0.430	0.220	1	0.639	1.224	0.527	2.843
骨密度 Bone density	1.063	0.433	6.012	1	0.014	2.895	1.238	6.770
伤椎置钉 Screw setting in diseased spinal segment	0.306	0.548	0.313	1	0.576	0.736	0.252	2.154
撑开复位情况 Distraction and reduction of fracture	0.993	0.460	4.653	1	0.031	2.700	1.095	6.658
椎体复位程度 Degree of centrum reduction	0.693	0.388	3.183	1	0.042	2.000	0.934	4.283

表 3 多因素 Logistic 回归分析结果

Table 3 Multiple-factor logistic regression analysis

	回归系数 Regression coefficient	回归系数标准误 S.E	X ² 值 Chi-square value	自由度 Wald	P 值 P-value	优势比 O.R
椎体压缩程度 Degree of spinal compression	-20.211	21773.095	9.197	1	0.027	0.000
骨密度 Bone density	-21.437	17001.939	14.425	1	0.002	0.000
撑开复位情况 Distraction and reduction of fracture	0.899	0.530	2.876	1	0.090	2.458
椎体复位程度 Degree of centrum reduction	1.311	0.339	14.976	1	0.083	3.708

路复位过程中,常常是利用后纵韧带和纤维环的张力使伤椎高度及外形基本恢复,而在压缩程度较重的椎体,特别是松质骨受到严重暴力塌陷后,复位过程存在困难,难以完全恢复椎体高度^[5,8];在另一方面,若强行进行复位易出现椎体的过度撑开,造成椎体空虚或分离(即“空壳现象”),使前中柱的稳定性丧失。有研究^[14]发现,椎体空壳的形成将会使椎体松质骨部分所受的应力变大,皮质骨所受的应力减小,当空腔逐渐增大时,椎体皮质及松质骨的应力均随之增大,使脊柱的压应力相对集中,常常出现内固定失败以及椎体的再次塌陷等风险及并发症,同时“空壳”现象的存在也为内固定物取出后椎体高度的再丢失及脊柱慢性不稳留下了潜在的隐患。

我们通过观察发现,在胸腰椎骨折 Denis 分型中,压缩性骨折中的 B 型和 D 型最常见,因其主要涉及椎体前柱,中后柱无损伤,脊柱稳定性尚存;爆裂性骨折中的 A 型和 B 型最常见,因其累及中柱,椎体呈粉碎骨折,折块向四周移位,常合并脊髓神经的损伤,使脊柱稳定性丧失。爆裂性骨折在形态特点上与压缩性骨折相比更易在复位后出现椎体空壳,但本组病例两者无明显差异性。本组资料显示,共有 72 例骨折椎体出现空壳,其中压缩性骨折 27 例,爆裂性骨折 45 例;术前椎体压缩程度<25%的患者有 36 例(8 例空壳,占 22.2%),25%~50%有 67 例(53 例空壳,占 79.1%),51%~75%有 11 例(9 例空壳,占 81.8%),>75%有 2 例(2 例空壳,占 100%)。说明椎体压缩程度越重,复位后椎体出现空壳的风险也相应增加,这与文献^[1,2,3,8]报道一致。

3.2 骨密度与椎体“空壳现象”的关系

脊柱椎体多为松质骨,随着年龄增长、女性绝经等原因,骨量丢失增多,成骨减少,骨重建处于

负平衡状态,导致骨小梁疏松,骨皮质变薄,骨质疏松患者尽管骨骼的外表单位体积是一样的,但骨强度差,支撑力大为降低,不仅更容易骨折,而且骨折后修复能力减退,新骨生成不足,骨缺损往往难以修复填补,致使骨折裂隙长期存在,导致了后期椎体真空征的发生。Hulme 等^[15]已经证实骨密度是反映椎体生物力学性质的较良好指标。椎体空壳现象与椎体真空征两者之间存在相关性,但也有区别。若椎体空壳长期存在导致骨不愈合,后期则会出现椎体真空征,但椎体真空征不是所有存在椎体空壳的患者都会发生。

本组资料里,骨量正常者 56 例(空壳 23 例,占 41.0%),骨量减少者 13 例(空壳 7 例,占 53.8%),骨质疏松者 42 例(空壳 37 例,占 88.0%),严重骨质疏松者 5 例(空壳 5 例,占 100%)。这说明了骨密度越低,复位后出现椎体空壳的风险也会相应增加。并且我们观察发现,椎体空壳的发生主要集中在椎体前缘中央部分及上终板薄弱区附近。在骨质疏松的患者,术中复位不够,椎体高度恢复不满意;复位过度,则椎体易出现空壳,导致后期骨愈合困难,出现慢性腰背痛等并发症。分析原因:①椎体骨密度低,强度减弱,受到外力时更易塌陷,对于骨密度相对较低的椎体,骨小梁稀疏,在后路钉棒系统撑开复位时,撑开部分骨量不能完全充填,从而易形成腔隙,骨质越疏松,腔隙越大。②椎体上半及前半部分的骨密度较下半及后半部分的骨密度低,骨折时以上终板塌陷多见^[4,9,16,17],本组观察也印证了这点。

3.3 椎体“空壳现象”的其他可能影响因素及预防选择

本组发现患者的年龄、性别、病程、骨折类型、术前矢状面 Cobb 角、伤椎置钉、螺钉位置与术后椎体“空壳现象”的发生无显著相关性,在这几项

指标中, 伤椎置钉一直是胸腰椎后路手术中较关注的问题。已有研究表明, 在伤椎建立一个支点, 分散了钉杆连接应力, 降低了悬挂效应和平行四边形效应, 更有利于椎体复位和减少后期高度的丢失, 降低内固定失败的几率^[8,18-21]; 结合我们的观察及随访, 伤椎置钉与非置钉病例相比, 椎体的复位及维持效果更好, 但有时术者为了追求椎体高度及角度的完全纠正而造成过度复位的情况, 致使椎体空壳发生。患者骨折撑开复位情况和椎体复位程度也是空壳产生的影响因素之一, 但不是主要影响因素, 我们分析原因: 部分患者虽然术中撑开过度、优良复位, 但由于其存在术前椎体本身压缩程度不重或(和)骨密度基本正常等情况, 使得复位后椎体内部不易出现“空壳现象”。较小的空壳椎体可自愈, 较大的空壳易导致椎体不愈合。目前针对预防椎体“空壳”的术式较多, 如椎体内植自体骨、同种异体骨、自固化磷酸钙人工骨、骨水泥等等, 但对手术适应证和手术方式的选择上较模糊, 也缺乏统一的指征。我们通过既往病例分析总结认为: ①若患者存在骨质疏松或严重骨质疏松, 椎体前缘压缩程度较重, 复位后“空壳”建议行骨水泥填充; 若伴有脊髓神经受损表现, 需行减压并附加相邻节段钉棒系统固定。②若患者骨密度基本正常, 椎体前缘压缩程度不重, 骨折线较局限, 可选择不作预防性填充; 若椎体前缘压缩程度较重, 无论骨密度正常与否, 都建议术中行椎体内支撑, 首选自体骨质。

综上所述, 患者的术前椎体压缩程度及骨密度是造成胸腰椎骨折复位术后椎体空壳现象产生的独立危险因素, 术前应充分评估上述指标并制定相应治疗策略, 从而降低手术失败率。

4 参考文献

1. 叶晶华, 王剑锋, 顾豪杰, 等. 对不同年龄段胸腰椎骨折复位后“空壳”现象的处理[J]. 吉林医学, 2016, 37(4): 808-810.
2. 印飞, 张绍东, 吴小涛, 等. 短节段椎弓根螺钉复位固定伤椎内植骨治疗 Denis B 型胸腰椎骨折的影像学观察[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(4): 341-346.
3. 敖俊, 辛志军, 陈方, 等. 两种植骨法对胸腰椎爆裂骨折复位后骨缺损空隙残存率及压缩刚度的影响[J]. 中国修复重建外科杂志, 2013(8): 974-979.
4. 刘困江, 郝定均, 王晓东, 等. 胸腰段骨折椎弓根钉复位固定术后骨缺损的 CT 研究[J]. 中国矫形外科杂志, 2003, 11(10): 706-707.
5. 桂忠山, 徐晓峰. 椎弓根螺钉置入修复胸腰椎骨折: 影响椎体高度恢复的相关因素分析[J]. 中国组织工程研究, 2015, 19(39): 6315-6320.
6. 安毅, 李晶, 刘兰泽, 等. 胸腰椎骨折经椎弓根椎体内植骨术后伤椎愈合情况的对比[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2015, 30(5): 460-463.
7. 沈军, 邹天明, 缪烨, 等. 决定胸腰椎骨折椎体内植骨组织爬行替代的因素[J]. 中国组织工程研究, 2013, 17(53): 9113-9118.
8. 胡海刚, 谭伦, 林旭, 等. 经伤椎椎弓根植骨置钉后路复位内固定术治疗胸腰椎骨折[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2011, 21(8): 663-668.
9. 辛志军. 不同植骨方法对胸腰椎爆裂骨折内固定后生物力学影响的实验研究[D]. 遵义医学院, 2012.
10. 夏群, 徐宝山, 张继东. 胸腰椎爆裂骨折手术入路的选择[J]. 中华骨科杂志, 2004, 24(12): 718-722.
11. 谭伦, 吴超, 罗晓中, 等. 以椎板边缘对腰椎椎弓根螺钉进钉点的个体化定位[J]. 中国矫形外科杂志, 2008, 16(3): 207-210.
12. Phillips FM, Ho E, Campbellhupp M, et al. Early radiographic and clinical results of balloon kyphoplasty for the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures [J]. Spine, 2003, 28(19): 2260-2267.
13. 崔志明, 李卫东, 保国锋, 等. 撑开-放松-再撑开复位技术在胸腰段骨折治疗中的应用[J]. 中华创伤骨科杂志, 2008, 10(2): 198-200.
14. 姜猛. 胸腰椎骨折去除内固定后“蛋壳样椎体”与椎体矫正度丢失关系的有限元分析[D]. 河北医科大学, 2014.
15. Hulme PA, Boyd SK, Ferguson SJ, et al. Regional variation in vertebral bone morphology and its contribution to vertebral fracture strength[J]. Bone, 2007, 41(6): 946-957.
16. 刘列华, 赵斌, 周强. 伤椎椎体内强化治疗胸腰椎骨折的现状[J]. 局解手术学杂志, 2016, 25(1): 62-65.
17. 丁明, 孙东升, 韩国华, 等. 胸腰段椎体区域性骨密度分析及其临床研究[J]. 中国骨与关节损伤杂志, 2010, 25(3): 237-238.
18. 肖斌, 李健, 蔡厚洪, 等. 跨骨折椎体固定联合单侧伤椎植钉治疗胸腰椎爆裂骨折的生物力学研究[J]. 中国修复重建外科杂志, 2016, 30(5): 580-584.
19. 熊为, 刘家国, 罗斌, 等. 椎弓根螺钉经伤椎与跨伤椎短节段内固定治疗胸腰椎骨折疗效的 Meta 分析[J]. 中国循证医学杂志, 2016, 16(2): 143-152.
20. 崔冠宇, 田伟, 刘波, 等. 椎体强化后椎弓根螺钉内固定术治疗骨质疏松性胸腰椎爆裂骨折 [J]. 中华创伤骨科杂志, 2015, 17(6): 502-508.
21. 朱立帆, 曾金才, 朱晓东, 等. 胸腰椎骨折三种不同内固定方式的疗效比较[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016, 26(10): 893-898.

(收稿日期: 2016-10-01 修回日期: 2017-02-16)

(英文编审 蒋欣/贾丹彤)

(本文编辑 彭向峰)