

临床论著

营养不良型和非营养不良型神经纤维瘤病性
脊柱侧凸中异常椎弓根发生率的比较

李 宁, 王 杰, 罗 明, 申明奎, 白 玉, 刘 磊, 夏 磊

(郑州大学第一附属医院骨科 450052 郑州市)

【摘要】目的:观察 I 型神经纤维瘤病性脊柱侧凸(neurofibromatosis type 1 scoliosis, NF1-S)中椎弓根异常的发生率,并比较其在营养不良型和非营养不良型 NF1-S 患者中的差异。方法:基于 CT 图像测量 30 例营养不良型和 30 例非营养不良型 NF1-S 患者的椎弓根,并根据椎弓根最宽平面的最窄距离将这些椎弓根分为 5 种类型:A 型,松质骨通道>4mm;B 型,松质骨通道 2~4mm;C 型,松质骨通道<2mm 且皮质骨通道 $\geq$ 2mm;D 型,皮质骨通道<2mm 且椎弓根存在;E 型,椎弓根缺如。B、C、D 和 E 型定义为异常。比较异常椎弓根在不同分型 NF1-S 患者中的发生率情况及其在侧凸弧范围内的分布情况。结果:NF1-S 患者中异常椎弓根的发生率为 67.5%(1376/2040),其中 B 型 39.6%(807/2040),C 型 22.3%(455/2040),D 型 3.6%(74/2040),E 型 2.0%(40/2040)。侧凸弧范围内异常椎弓根发生率高达 75.3%(975/1294),占全部异常椎弓根的 70.9%(975/1376)。对于侧凸弧范围内,营养不良型 NF1-S 异常椎弓根发生率显著高于非营养不良型(83.3% vs. 66.7%, $P<0.05$)。结论:NF1-S 患者异常椎弓根主要集中于侧凸弧弧范围内,且营养不良型异常椎弓根发生率显著高于非营养不良型。

【关键词】异常椎弓根; I 型神经纤维瘤病;脊柱侧凸;营养不良型;非营养不良型

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2018.05.08

中图分类号:R682.3, R730.264 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2018)-05-0434-06

Comparison of abnormal vertebral pedicles between dystrophic and nondystrophic scoliosis in neurofibromatosis type 1/LI Ning, WANG Jie, LUO Ming, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2018, 28(5): 434-439

【Abstract】Objectives: To explore the prevalence of abnormal vertebral pedicles in neurofibromatosis type 1 (NF1-S), and to compare the difference between dystrophic and nondystrophic scoliosis. Methods: Based on computed tomography images, vertebral pedicles from 30 patients with NF1-S with dystrophic scoliosis and 30 patients with NF1-S with nondystrophic scoliosis were carefully measured. Pedicle morphology was classified into five types: type A, cancellous channel >4mm; type B, cancellous channel from 2mm to 4mm; type C, cancellous channel <2mm with entirely cortical channel $\geq$ 2mm; type D, cortical channel <2mm; type E, absent pedicle. Type B, C, D and E were defined as abnormal. The incidence of anomalous pedicles in different NF1-S patients and their distribution in the area of lateral convex arc were compared. Results: The total prevalence of abnormal pedicles in patients with NF1-S was 67.5%(1376/2040), including type B 39.6%(807/2040), type C 22.3%(455/2040), type D 3.6%(74/2040) and type E 2.0%(40/2040). The prevalence of abnormal pedicles in the arc region was as high as 75.3%(975/1294), which accounted for 70.9% of total abnormal pedicles(975/1376). The prevalence of abnormal pedicles of dystrophic scoliosis was much higher than that of nondystrophic scoliosis(72.3% vs. 62.6%, $P<0.05$). Conclusions: Abnormal pedicles in patients with NF1-S mainly concentrate in the arc region. The prevalence of abnormal pedicles of dystrophic scoliosis is significantly higher than that of nondystrophic ones.

【Key words】Abnormal pedicles; Neurofibromatosis type 1; Scoliosis; Dystrophic; Nondystrophic

【Author's address】The First Affiliated Hospital of Zhengzhou University, Zhengzhou, 450052, China

基金项目:河南省基础与前沿技术研究计划项目资助(142300410379);河南省国际科技合作计划项目资助(152102410062)

第一作者简介:男(1985-),主治医师,博士,研究方向:脊柱外科

电话:(0371)67967191 E-mail:lining117826@126.com

通讯作者:夏磊 E-mail:zxzmx@126.com

神经纤维瘤病是一种神经源性错构瘤,临床上分为周围型和中央型。神经纤维瘤病性脊柱侧凸(neurofibromatosis type 1 scoliosis, NF1-S)是骨科常见疾病^[1],它在周围型患者中的发生率约为2%~36%^[2,3]。NF1-S一般分为营养不良型和非营养不良型两个亚型,二者的自然史和治疗方案存在很大差异,区分其类型十分重要。非营养不良型脊柱侧凸作为NF1-S中常见的脊柱畸形,其影像学表现、治疗方案及并发症情况和青少年特发性脊柱侧凸十分相似。若主弯Cobb角超过40°,则需进行后路脊柱融合。营养不良型NF1-S主要特点是侧凸节段短、锐角成角畸形^[4],典型的发生部位为上胸椎。目前认为,早期积极的外科干预是阻止营养不良型NF1-S进展的必要措施^[5]。

对于NF1-S,目前尚无广泛认可的用于术前椎弓根测量和评估分类系统。为了探讨异常椎弓根在NF1-S患者中的发生率,我们使用CT图像测量了30例营养不良型和30例非营养不良型NF1-S患者的椎弓根,并将这些椎弓根分为5种类型,旨在为临床应用提供依据,报道如下。

1 资料与方法

1.1 一般资料

纳入标准:(1)根据1987年美国国立卫生研究院确立的诊断标准^[6]确诊NF1患者;(2)伴随脊柱侧凸患者;(3)术前有完整的脊柱全长DR和CT图像。排除标准:(1)先天性脊柱侧凸、青少年特发性脊柱侧凸或者其他结构性脊柱侧凸患者;(2)由于肢端肥大或者长骨发育不良造成的功能性脊柱侧凸患者;(3)既往行脊柱后路手术的NF1-S患者。诊断由两位高年资脊柱外科医生共同完成。

所有NF1-S患者来自我院2011年1月~2017年10月收治的病例。对于符合纳入及排除标准的NF1-S患者,将其分为营养不良型和非营养不良型两组,以主弯Cobb角差值不超过10°的标准进行1:1比例配对,各选取30例患者进行后续测量研究。

1.2 影像学评估

记录NF1-S患者的基本特征,包括性别、年龄、主弯Cobb角,并将患者分为营养不良型和非营养不良型。营养不良型脊柱侧凸的诊断主要基于影像学特征,包括肋骨铅笔样改变、椎体前缘或

后缘或侧缘扇贝样改变、椎体楔形变、横突梭形改变、以及椎管径及椎间孔扩大^[7]。

应用轴位CT图像仔细测量T1~L5各椎体松质骨和皮质骨通道的横截面宽度。使用的CT图像为64层平扫(型号:CT750 HD;GE医疗公司)电压120KV,层厚为1.25mm。使用PACS系统将CT数据传送至工作站,在骨窗下测量最宽的椎弓根横截面的上最狭窄椎弓根的宽度。

1.3 椎弓根分类

椎弓根的形态学分类基于椎弓根最宽横断面的最窄的椎弓根宽度,分类如下:A型,松质骨通道>4mm;B型,松质骨通道2~4mm;C型,松质骨通道<2mm且皮质骨通道≥2mm;D型,皮质骨通道<2mm且椎弓根存在;E型,椎弓根缺如。A型椎弓根有足够的松质骨通道允许椎弓根螺钉通过,视为正常椎弓根,B、C、D和E型视为异常椎弓根(图1)^[8]。本研究将侧凸弧范围定义为脊柱侧凸上、下端椎之间的区域(包括上端椎和下端椎)。NF1-S的椎弓根发育异常多存在该区域,本研究进一步比较了侧凸弧范围内的异常椎弓根发生率情况。

1.4 观察者之间和观察者自身的可信度评估

为建立观察者之间的可信度,两位脊柱外科医生分别测量了15例NF1-S患者510个椎弓根,包括皮质骨和松质骨通道,并根据分类系统将这些椎弓根分为A、B、C、D和E型。观察者间一致性的Kappa值是0.72。为了评估观察者自身的可信度,两位脊柱外科医生分别测量了15例NF1-S患者的510个椎弓根并将其进行分类,1周后分别再次测量这些椎弓根。观察者自身一致性的Kappa值是0.83,具有良好的一致性。

1.5 统计学分析

采用IBM SPSS 21.0软件(IBM,USA)进行统计分析。观察者间和观察者自身的可靠性使用Kappa值评估,Kappa值≥0.75提示一致性良好。椎弓根宽度使用配对样本的t检验分析,椎弓根形态学分类由 χ^2 检验分析,以 $P<0.05$ 为有统计学差异。

2 结果

2.1 人口统计学数据

本研究纳入了60例NF1-S患者,其中女性21例,男性39例,平均年龄12.3岁,主弯平均

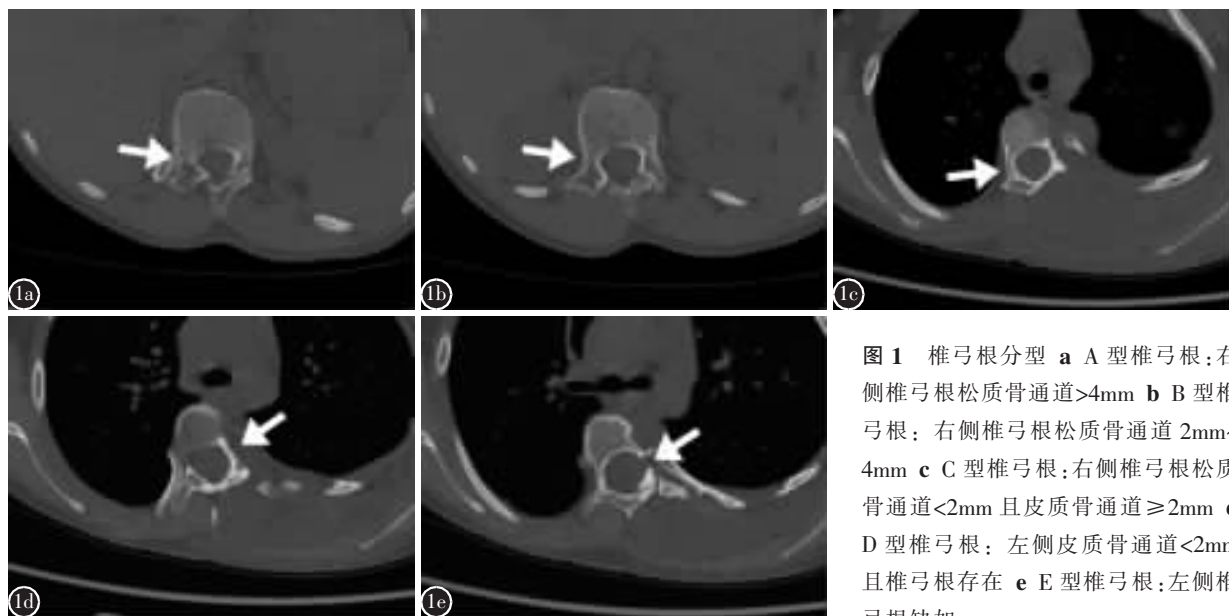


图 1 椎弓根分型 a A 型椎弓根:右侧椎弓根松质骨通道>4mm b B 型椎弓根:右侧椎弓根松质骨通道 2mm~4mm c C 型椎弓根:右侧椎弓根松质骨通道<2mm 且皮质骨通道≥2mm d D 型椎弓根:左侧皮质骨通道<2mm 且椎弓根存在 e E 型椎弓根:左侧椎弓根缺如

Figure 1 Pedicle classification a Type A, a right cancellous channel of >4mm b Type B, a right cancellous channel of 2mm to 4mm c Type C, a right cancellous channel of <2mm with an entirely cortical channel of ≥2mm d Type D, a left cortical channel of <2mm e Type E, left absent pedicle

Cobb角 46.23°。营养不良型和非营养不良型两组在年龄和主弯 Cobb 角上无统计学差异 ($P=0.27$; $P=0.32$)(表 1)。

2.2 椎弓根测量

椎弓根宽度,包括凸侧和凹侧椎弓根以及松质骨和皮质骨通道,通过测量,我们发现从 T1~T4 呈现逐渐减小的趋势。最小椎弓根在 T4 或 T5,以后逐渐变大。不过, T12 以后 L1 椎弓根再次变小,然后再次逐渐变大,直至 L5 椎弓根宽度为最大。无论对于松质骨还是皮质骨通道,营养不良型椎弓根总体小于非营养不良型。对于凹侧椎弓根,营养不良型 T3 松质骨通道小于非营养不良型 ($P<0.05$),营养不良型 T1、T3 和 L3 皮质骨通道小于非营养不良型 ($P<0.05$);对于凸侧椎弓根,营养不良型 L5 松质骨通道小于非营养不良型 ($P<0.05$)。

对于同种类型的脊柱侧凸,凹侧和凸侧椎弓根也存在不对称性。营养不良型组中 T8 凹侧椎弓根的松质骨通道小于凸侧 ($P<0.05$), T1 和 T8 的凹侧皮质骨通道也小于凸侧 ($P<0.05$)。在非营养不良组内的凹侧和凸侧椎弓根未发现显著性差异(表 2)。

2.3 异常椎弓根的发生率

根据松质骨和皮质骨通道的椎弓根宽度将 2040 例椎弓根分为 A、B、C、D 和 E 型。其中 664

例(32.5%)为 A 型;807 例(39.6%)为 B 型;455 例(22.3%)为 C 型;74 例(3.6%)为 D 型;40 例(2%)为 E 型,总计 1376 例(67.5%)异常椎弓根。

30 例营养不良型 NF1-S 患者,共测量 1020 例椎弓根。其中 283 (27.7%) 例为 A 型,445 例(43.6%)为 B 型,231 (22.6%) 例为 C 型,30 例(2.9%)为 D 型,31 例(3.0%)为 E 型,异常椎弓根共计 737 例(72.3%)。30 例非营养不良型 NF1-S 患者中,共测量 1020 例椎弓根。其中 381 例(37.4%)为 A 型,362 例(35.5%)为 B 型,224 例(22.0%)为 C 型,44 例(4.3%)为 D 型,9 例(0.9%)为 E 型,异常椎弓根共计 639 例(62.6%)。营养不良型异常椎弓根发生率显著高于非营养不良型(72.3% vs.62.6%, $P<0.05$)。

侧凸弧范围内总体异常椎弓根发生率高达

表 1 两组患者一般资料

Table 1 Baseline data of the two groups

	营养不良型 Dystrophic group	非营养不良型 Non dystrophic group	P 值 P value
性别(女/男) Gender (female/ male)	12/18	9/21	0.59
年龄(岁) Age (year)	12.60±2.05	12.00±2.38	0.27
主弯 Cobb 角(°) Cobb angle of major curve	49.98±17.20	42.48±19.42	0.32

75.3%(975/1294),且侧凸弧范围异常椎弓根占全部胸腰椎异常椎弓根的 70.9%(975/1376)。其中营养不良型异常椎弓根共计 560 例 (83.3%),非营养不良型异常椎弓根共计 415 例 (66.7%),侧凸弧范围内营养不良型异常椎弓根发生率显著高于非营养不良型($P<0.05$,表 3)。

3 讨论

本研究测量了 30 例营养不良型和 30 例非营养不良型 NF1-S 患者的椎弓根,共计 2040 例,其中,异常椎弓根总体发生率为 67.5%。通过比较发现,营养不良型异常椎弓根发生率显著高于非营养不良型。

相比非营养不良型,我们发现营养不良型

NF1-S 患者胸椎椎弓根更小,其原因之一可能是 NF-1 患者骨量减少^[9]。Lammert 等^[10]测量 104 例成人 I 型神经纤维瘤病患者骨密度,结果发现其骨密度低于正常对照组。Dulai 等^[11]也发现 23 例儿童 I 型神经纤维瘤病患者(平均年龄 10.8 岁)有骨质疏松倾向。南京鼓楼医院邱勇教授团队的研究^[12,13]指出,营养不良型和非营养不良型 NF-1 患者均存在骨量下降,且骨量下降为全身性的。

我们以松质骨和皮质骨的椎弓根横截面宽度为基础将 NF1-S 患者椎弓根分为 5 型,此分类法可作为术前评估的基础。Misenhimer 等^[14]发现椎弓根宽度和螺钉直径的不匹配可能导致椎弓根壁的破裂,增加神经损伤风险。Akazawa 等^[15]将椎弓根分为 4 个等级,其中椎弓根内径 $\geq 4\text{mm}$ 为 1

表 2 椎弓根皮质及松质骨通道椎弓根横径的测量

(mm)

Table 2 Measurement of the transverse diameter of cortical and cancellous pedicle

椎体 Vertebra	凹侧 Concave side				凸侧 Convex side			
	松质骨通道 Cancellous bone channel		皮质骨通道 Cortical bone channel		松质骨通道 Cancellous bone channel		皮质骨通道 Cortical bone channel	
	D组 D group	ND组 ND group	D组 D group	ND组 ND group	D组 D group	ND组 ND group	D组 D group	ND组 ND group
T1	3.30 $\pm$ 1.10	3.90 $\pm$ 1.40	6.62 $\pm$ 1.30 ^②	7.49 $\pm$ 1.46	3.66 $\pm$ 1.14	3.69 $\pm$ 0.95	7.20 $\pm$ 0.90	7.30 $\pm$ 1.36
T3	1.59 $\pm$ 1.23 ^①	2.37 $\pm$ 1.26	4.14 $\pm$ 2.10 ^①	5.29 $\pm$ 1.70	1.82 $\pm$ 1.29	1.91 $\pm$ 1.21	4.57 $\pm$ 1.87	4.71 $\pm$ 1.53
T8	1.53 $\pm$ 1.08 ^②	1.96 $\pm$ 1.79	4.13 $\pm$ 1.97 ^②	4.45 $\pm$ 2.76	2.29 $\pm$ 1.14	2.44 $\pm$ 1.17	5.21 $\pm$ 1.91	5.42 $\pm$ 1.57
L3	3.94 $\pm$ 1.48	4.31 $\pm$ 1.08	7.45 $\pm$ 1.95 ^①	8.23 $\pm$ 1.37	4.59 $\pm$ 1.65	4.62 $\pm$ 1.27	8.26 $\pm$ 1.94	8.56 $\pm$ 1.44
L5	7.33 $\pm$ 1.87	7.69 $\pm$ 1.96	12.27 $\pm$ 1.97	12.81 $\pm$ 1.67	7.34 $\pm$ 2.18 ^①	8.32 $\pm$ 1.66	12.56 $\pm$ 1.76	12.89 $\pm$ 1.55

注:①与非营养不良组(ND组)比较 $P<0.05$;②与同组凸侧比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with nondystrophic group(ND group), $P<0.05$; ②Compared with convex side, $P<0.05$

表 3 椎弓根分型情况

Table 3 Classification of pedicletypes

分类 Classification	A型 Type A	B型 Type B	C型 Type C	D型 Type D	E型 Type E	异常椎弓根 Abnormal pedicle
胸椎和腰椎椎弓根分型 Classification of thoracic and lumbar pedicles						
总计 Total (n=2040)	664(32.5%)	807(39.6%)	455(22.3%)	74(3.6%)	40(2.0%)	1376(67.5%)
营养不良型 Dystrophic group	283(27.7%) ^①	445(43.6%) ^①	231(22.6%)	30(2.9%)	31(3.0%) ^①	737(72.3%) ^①
非营养不良型 Nondystrophic group	381(37.4%)	362(35.5%)	224(22.0%)	44(4.3%)	9(0.9%)	639(62.6%)
侧凸弧范围内椎弓根分型 Classification of arcregion pedicles						
总计 Total (n=1294)	319(24.7%)	584(45.1%)	316(24.4%)	45(3.5%)	30(2.3%)	975(75.3%)
营养不良型 Dystrophic group	112(16.7%) ^①	329(49.0%) ^①	184(27.4%) ^①	23(3.4%)	24(3.6%)	560(83.3%) ^①
非营养不良型 Nondystrophic group	207(33.3%)	255(41.0%)	132(21.1%)	22(3.5%)	6(1.0%)	415(66.7%)

注:①与非营养不良型比较 $P<0.05$

Note: ①Compared with nondystrophic group, $P<0.05$

级,内径 2~4mm 为 2 级,内径 1~2mm 为 3 级,内径<1mm 为 4 级。椎弓根螺钉置钉失败率对于 1 级椎弓根为 0.5%,2 级椎弓根失败率 2.9%,3 级失败率 12.%,4 级失败率 31.5%,具有显著差异($P<0.001$)。Akazawa 等^[15]进一步用 Logistic 回归分析发现椎弓根分级是椎弓根螺钉置入失败的危险因素($OR=4.0, P<0.001$)。Sarwahi 等^[8]通过术前 CT 测量青少年特发性脊柱侧凸椎弓根,将松质骨通道小于 4mm 的椎弓根定义为异常椎弓根,术后再次通过 CT 评估椎弓根螺钉准确率,结果显示异常椎弓根置钉位置不当的概率是正常椎弓根的 3 倍(21%和 7%)。

椎弓根螺钉在胸椎手术的使用中存在较高风险,如椎弓根螺钉位置不当致脊髓、神经、血管损伤^[16,17]。营养不良型 NF1-S 侧凸患者较特发性脊柱侧凸累及节段短,椎体旋转重,甚至会出现旋转半脱位,所以侧凸弧范围内发生椎弓根螺钉误置的可能性高于特发性脊柱侧凸。更棘手的是,由于 NF1-S 椎弓根变薄和骨量减少,椎弓根螺钉置入更具挑战性^[18]。对于松质骨通道小于 2mm 的 C 型椎弓根和皮质骨通道小于 2mm 的 D 型椎弓根,椎弓根螺钉置入是非常困难的。尤其对于 D 型椎弓根,可能需要通过“椎弓根-肋骨间”(IN-OUT-IN)途径置钉。E 型为最严重的异常椎弓根,并且还可能伴随肋骨头脱位。

本研究结果显示,NF1-S 患者异常椎弓根发生率为 67.5%,明显高于 Sarwahi 等^[8]报道的青少年特发性脊柱侧凸患者异常椎弓根发生率,约 22%。NF1-S 患者椎弓根发育不全,以及相比于白色人种、蒙古人种更小的椎弓根尺寸,也许是导致此差异的两个主要原因。另外,营养不良型患者存在异常椎弓根的高风险。

NF1-S 的异常椎弓根主要集中在侧凸弧范围内域。本研究中营养不良型侧凸弧范围异常椎弓根发生率高达 83.3%。营养不良型 NF1-S 由于椎弓根发育不良,导致椎弓根横径小,由此增加了椎弓根螺钉置入的难度和风险。此外,由于脊柱侧凸是脊柱的三维畸形,此区域的椎体多伴严重的椎体倾斜和旋转,这使得置钉变得更加棘手。国内邱勇教授团队一项研究显示,对于营养不良型 NF1-S 顶椎区,徒手置钉的置钉准确率仅为 67%,O 臂导航置钉的准确率也仅为 79%^[19]。由此采用本研究中的测量和分类方法可以在术前充分评估

NF1-S 患者侧凸弧范围内异常椎弓根发生和分布情况,必要时结合导航置钉或放弃置钉,以减少由于置钉位置不当造成的神经血管损伤。

本研究的局限性主要在于本研究为回顾性研究,CT 平扫的检查方法使得椎弓根测量上存在一定的误差。由于脊柱侧凸是一种脊柱三维畸形,常伴椎体旋转倾斜,但 CT 无法像 MRI 一样平行于椎间盘扫描,所以在椎弓根的测量上存在一定误差。但由于 CT 在骨窗下区分皮质骨和松质骨分辨率方面有着独一无二的优势,并且本研究选取众多层面中椎弓根最宽的平面进行测量,所以我们认为本研究是可信的。同时,我们也在进行一项前瞻性的研究,将三维重建和有限元分析结合,进一步对神经纤维瘤病性脊柱侧凸的椎弓根发育情况进行探究。

综上所述,NF1-S 患者异常椎弓根主要集中在侧凸弧范围内,且营养不良型异常椎弓根发生率显著高于非营养不良型。因此,对于营养不良型 NF1-S 侧凸弧范围内置钉需要尤其小心。

4 参考文献

1. Crawford AH, Parikh S, Schorry EK, et al. The immature spine in type-1 neurofibromatosis [J]. J Bone Joint Surg Am, 2007, 89(Suppl 1): 123-142.
2. Akbarnia BA, Gabriel KR, Beckman E, et al. Prevalence of scoliosis in neurofibromatosis [J]. Spine, 1992, 17(8 Suppl): S244-S248.
3. Halmi V, Doman I, de Jonge T, et al. Surgical treatment of spinal deformities associated with neurofibromatosis type 1. Report of 12 cases [J]. J Neurosurg, 2002, 97(3 Suppl): 310-316.
4. Tsirikos AI, Ramachandran M, Lee J, et al. Assessment of vertebral scalloping in neurofibromatosis type 1 with plain radiography and MRI [J]. Clin Radiol, 2004, 59(11): 1009-1017.
5. Wang Z, Fu C, Leng J, et al. Treatment of dystrophic scoliosis in neurofibromatosis Type 1 with one-stage posterior pedicle screw technique [J]. Spine J, 2015, 15(4): 587-595.
6. National Institutes of Health Consensus Development Conference Statement: neurofibromatosis. Bethesda, Md., USA, July 13-15, 1987 [J]. Neurofibromatosis, 1988, 1(3): 172-178.
7. 吕国华. 儿童 I 型神经纤维瘤病性脊柱侧凸的自然史及其治疗选择 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2010, 20(5): 356-357.
8. Sarwahi V, Sugarman EP, Wollowick AL, et al. Prevalence, distribution, and surgical relevance of abnormal pedicles in spines with adolescent idiopathic scoliosis vs. no deformity: a CT-based study [J]. J Bone Joint Surg Am, 2014, 96(11): e92.
9. Brunetti-Pierri N, Doty SB, Hicks J, et al. Generalized

- metabolic bone disease in neurofibromatosis type 1 [J]. *Mol Genet Metab*, 2008, 94(1): 105–111.
10. Lammert M, Kappler M, Mautner VF, et al. Decreased bone mineral density in patients with neurofibromatosis 1 [J]. *Osteoporos Int*, 2005, 16(9): 1161–1166.
11. Dulai S, Briody J, Schindeler A, et al. Decreased bone mineral density in neurofibromatosis type 1: results from a pediatric cohort [J]. *Pediatr Orthop*, 2007, 27(4): 472–475.
12. 袁硕, 邱勇, 朱锋, 等. 青少年 I 型神经纤维瘤病性脊柱侧凸患者的骨密度 [J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2011, 21(4): 280–284.
13. 束昊, 邱勇, 孙超, 等. 青少年 I 型神经纤维瘤病性脊柱侧凸患者 Cobb 角与骨密度的相关性分析[J]. *中国脊柱脊髓杂志*, 2010, 20(5): 363–366.
14. Misenhimer GR, Peek RD, Wiltse LL, et al. Anatomic analysis of pedicle cortical and cancellous diameter as related to screw size[J]. *Spine*, 1989, 14(4): 367–372.
15. Akazawa T, Kotani T, Sakuma T, et al. Evaluation of pedicle screw placement by pedicle channel grade in adolescent idiopathic scoliosis: should we challenge narrow pedicles? [J]. *J Orthop Sci*, 2015, 20(5): 818–822.
16. Modi HN, Suh SW, Fernandez H, et al. Accuracy and safety of pedicle screw placement in neuromuscular scoliosis with free-hand technique[J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(2): 1686–1696.
17. Di Silvestre M, Parisini P, Lolli F, et al. Complications of thoracic pedicle screws in scoliosis treatment[J]. *Spine*, 2007, 32(15): 1655–1661.
18. Kim HW, Weinstein SL. Spine update. The management of scoliosis in neurofibromatosis[J]. *Spine*, 1997, 22(23): 2770–2776.
19. Jin M, Liu Z, Liu X, et al. Does intraoperative navigation improve the accuracy of pedicle screw placement in the apical region of dystrophic scoliosis secondary to neurofibromatosis type I: comparison between O-arm navigation and free-hand technique[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(6): 1729–1737.
- (收稿日期:2018-01-22 修回日期:2018-04-24)
(英文编审 郑国权/贾丹彤)
(本文编辑 彭向峰)