

1~6 岁正常小儿胸椎椎弓根形态学研究

刘磊^{1,2}, 孙琳¹, 孙记航³, 段晓珉³(1 首都医科大学附属北京儿童医院骨科 100045 北京市; 2 北京市东城区第一人民医院外科 100075 北京市;
3 首都医科大学附属北京儿童医院放射科 100045 北京市)

【摘要】目的:测量 1~6 岁小儿胸椎椎弓根的形态学参数,为小儿胸椎椎弓根螺钉固定提供解剖学依据。方法:收集 2009 年 7 月~2010 年 1 月在北京儿童医院行胸部 CT 检查的 1~6 岁非脊柱疾患小儿胸椎螺旋 CT 影像资料。根据年龄将入组儿童分为 1~岁组(1 组),2~岁组(2 组),4~6 岁组(3 组),每组 20 例。每例均测量 T1~T12 左右两侧椎弓根参数共 24 组数值。将 64 排螺旋 CT 平扫胸椎的三维重建数据传至工作站,在多平面重建技术下获得每个椎弓根的矢状面及横断面成像,测量胸椎椎弓根横径(内外径)、纵径(内外径)、骨-螺钉通道长度、椎弓根横断面夹角、椎弓根矢状面夹角,并将上述各参数与年龄进行相关性分析,椎弓根横断面夹角和椎弓根矢状面夹角年龄组间采用多重 T 检验。结果:(1)椎弓根的横径(内外径)T1~T4 逐渐减小,T5~T12 逐渐增大;横内径值(除 T1、T6、T11、T12 外)与年龄无显著相关性(r_s :0.011~0.363,除 T1、T6、T11、T12 外, $P>0.05$),其随年龄增长变化不明显;横外径值(除 T4 外)与年龄均存在显著正相关性(r_s :0.151~0.539,除 T4 外, $P<0.05$),其随年龄增长而增长。(2)椎弓根纵径(内外径)T1~T12 逐渐增大,除 T1 外纵径均大于横径;各节段参数与年龄均存在显著正相关性(纵内径 r_s :0.526~0.786,纵外径 r_s :0.692~0.864, $P<0.05$)。(3)骨-螺钉通道长度各年龄组中最短为 T1 或 T2,最长为 T9 或 T10,T1~T9 有逐渐增加的趋势,T10~T12 有逐渐减小的趋势;各节段参数与年龄均存在显著正相关性(r_s :0.299~0.676, $P<0.05$)。(4)椎弓根横断面夹角最大为 T1,T1~T12 逐渐减小,部分小儿 T11 及 T12 的椎弓根横断面夹角可达 0°甚至负角,除 T1 外,其余各节段参数与年龄均存在显著负相关性(r_s :-0.432~-0.107,除 T1 $P>0.05$ 外,余 $P<0.05$),1 组与 2、3 组间存在显著性差异($P<0.05$),2 组与 3 组间无显著性差异($P>0.05$)。(5)椎弓根矢状面夹角 T1~T12 呈下降趋势,各节段参数与年龄无显著相关性(r_s :-0.125~0.127, $P>0.05$),1、2、3 组间无显著性差异($P>0.05$)。结论:1~6 岁小儿胸椎椎弓根横外径、纵径、骨-螺钉通道长度与年龄的相关性较大,而椎弓根横内径的生长速度较慢,与年龄的相关性较小;横断面及矢状面夹角与年龄的相关性较小,除 1~岁年龄组外,其余年龄段的参数值随年龄增长无明显变化。因此行 1~6 岁小儿胸椎椎弓根螺钉内固定手术时,应根据患儿年龄及术中情况妥善选择螺钉型号及进钉方式,以避免手术风险。

【关键词】胸椎;椎弓根;螺旋 CT;断层影像解剖学;小儿

doi:10.3969/j.issn.1004-406X.2013.08.08

中图分类号:R322.7 文献标识码:A 文章编号:1004-406X(2013)-08-0711-07

Pedicle morphology of the immature thoracic spine in children aged 1 to 6 years/LIU Lei, SUN Lin, SUN Jinhang, et al//Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2013, 23(8): 711-717

【Abstract】Objectives: To quantify the morphometric characteristics of the pedicles of the immature thoracic spine(aged 1 to 6 years old), and to provide morphologic basis pedicular screw instrumentation. Methods: A total of 60 patients without musculoskeletal disease and aged 1 to 6 years underwent standard spiral computed tomography of the chest in Beijing children's hospital. The patients were grouped according to age: group 1(1-2 years old), group 2(2-3 years old) and group 3(4-6 years old), with 20 cases per group. For each case measurement was taken from pedicles on both sides from T1 to T12. Images were reconstructed by the 64 row helical CT and multiplanar reconstructions were used to attain images of thoracic pedicles on sagittal, coronal, and transverse planes. The measurements included the inner and outer pedicle diameters on both transverse and sagittal planes, the pedicle angle on both transverse and sagittal planes, and distance to anterior cortex. Their correlations with age were analyzed, inter-group comparisons of transverse pedicle angle

第一作者简介:男(1982-),住院医师,医学硕士,研究方向:骨外科

电话:(010)67253468 E-mail:liulei8312997@163.com

通讯作者:孙琳 E-mail: marksunhk@hotmail.com

(TPA)/sagittal pedicle angle(SPA) were analyzed using Multiple T test. **Results:** (1)Transverse pedicle diameters decreased gradually from T1 to T4, and then increased gradually from T5 to T12. The shortest transverse diameter of the thoracic pedicle located at T4 or T5. There was no correlation between the transverse pedicle inner diameter and age, except T1, T6, T11, T12(r_s : 0.011–0.363, $P>0.05$, except T1, T6, T11, T12). The correlations between age and the transverse pedicle outer diameters were significant in all thoracic vertebra except T4(r_s : 0.151–0.539, $P<0.05$, except T4). (2)Sagittal pedicle diameters increased from T1 to T12 and was significant longer than transverse diameter except T1. The correlations between age and sagittal pedicle diameters were significant in all thoracic vertebra(the inner r_s : 0.526–0.786, the outer r_s : 0.692–0.864, $P<0.05$). (3)The length from posterior cortex to anterior cortex of the vertebra increased from T1 to T10, decreased slightly from T10 to T12. The correlations between age and the length to anterior cortex were significant in all thoracic vertebrae(r_s : 0.299–0.676, $P<0.05$). (4)The transverse pedicle angle decreased gradually from T1 to T12 though some cases did not show this trend. The correlations between age and TPA were significant in all thoracic vertebra except T1(r_s : (–0.432)–(–0.107), $P<0.05$, except T1]. TPA in group 1 were significantly greater than group 2 and 3($P<0.05$), there was no significant difference between group 2 and 3($P>0.05$). (5)There was no significance with respect to the sagittal pedicle angles between three groups. There was no correlation between SPA and age(r_s : (–0.125)–0.127, $P>0.05$). There was no significant difference among three groups($P>0.05$). **Conclusions:** The correlations between age and the transverse pedicle outer diameters, the sagittal pedicle diameters, distance to anterior cortex are significant in all thoracic vertebra of children aged 1–6 years. However, the transverse pedicle inner diameters increase slowly with age. There is no correlation between the transverse pedicle inner diameters and age nor between age and the pedicle angle on both the transverse and sagittal planes. The angular dimensions show little change due to vertebral growth except group 1. It is cautious to place thoracic pedicle screw in patients aged below 6 years in order to avoid high risks.

【Key words】 Thoracic vertebra; Pedicle; Spiral computed tomography; Sectional and imaging anatomy; Children

【Author's address】 Orthopedics, The First People's Hospital of Beijing Dongcheng District, 100075, China

椎弓根是连接椎体和椎弓的力学桥梁,通过椎弓根进行螺钉固定为脊柱后路内固定术提供了解决方法。但由于脊柱的解剖关系复杂,节段性差异较大,若进钉操作不当,可导致严重的并发症,因此椎弓根的解剖学及影像学研究对于椎弓根内固定具有极其重要的意义。目前,国内外对于成人的脊柱形态学研究已经相当成熟,而对于儿童脊柱椎弓根及相关结构随年龄发育的形态学特征、力学变化及内部骨松质分布的特点等的研究尚不多。我们通过螺旋 CT 三维重建技术对 1~6 岁小儿胸椎椎弓根进行断层影像解剖学研究,旨在为小儿胸椎椎弓根螺钉孤立技术的应用提供形态学依据。

1 资料与方法

1.1 一般资料

收集 2009 年 7 月~2010 年 1 月在北京儿童医院放射科行胸部 CT 检查的 1~6 岁小儿胸椎螺旋 CT 影像资料,所收集儿童年龄 1 岁 2 天~5 岁

9 个月。入组资料均含有 T1~T12 图像数据,CT 检查时检查范围已向患儿家属交代清楚。

排除标准:入组儿童排除脊柱、胸廓畸形、内分泌结缔组织疾病,及其他可能影响脊柱生长发育的先天及后天性疾病,如脊柱侧凸、半椎体畸形、佝偻病、矮小病等。

分组标准:根据年龄分为 1~岁组(1 组),2~岁组(2 组),4~6 岁组(3 组),每组 20 例。每例均测量 T1~T12 左右两侧椎弓根参数共 24 组数值。

1.2 螺旋 CT 扫描重建

在患儿平静呼吸状态下以 GE lightspeed VCT64 螺旋 CT 扫描,参数:层厚 5mm,扫描时间约 10s,螺距 1.375:1,120kV,150mA;FOV:36cm;矩阵 512×512,将原始图像数据以标准算法进行三维重建,层厚 0.625mm。后期处理应用 GE 公司的 Advantage Workstation AW4.3_04 工作站,在多平面重建技术下获得每个椎弓根的矢状面及横断面成像,并在横断面、矢状面图像上分别对 T1~T12 椎弓根进行测量,以横断面及矢状面最短内

径的垂直平分线为中轴线(图 1~3)。

1.3 参数测量

采用 GE 公司的 Advantage Workstation AW4.3_04 工作站中自带的测量工具于横断面成像上测量椎弓根横径、骨-螺钉通道长度及椎弓根横断面夹角,于矢状面成像上测量椎弓根纵径及椎弓根矢状面夹角,测量结果的有效数字到小数点后一位数。由本文第一作者和第三作者分别测量每个胸椎椎体的左右两侧椎弓根参数值。

1.3.1 椎弓根横径(内径和外径) 横内径:椎弓根内外皮质内缘之间的最短距离;横外径:椎弓根内外皮质外缘之间的最短距离(图 4)。

1.3.2 椎弓根纵径(内径和外径) 纵内径:椎弓根上下皮质内缘之间的最短距离;纵外径:椎弓根上下皮质外缘之间的最短距离(图 5)。

1.3.3 骨-螺钉通道长度 椎弓根后缘皮质沿椎弓根轴线至椎体前缘皮质的长度(图 4)。

1.3.4 椎弓根横断面夹角(transverse pedicle angle, TPA) 椎弓根轴线与椎体矢状面之间的夹角(图 6)。

1.3.5 椎弓根矢状面夹角(sagittal pedicle angle, SPA) 椎弓根轴线与椎体水平面之间的夹角(图 7)。

1.4 统计学处理

采用 SPSS 13.0 软件对数据进行处理,采用配对 T 检验比较 2 位测量者间有无统计学差异,如无差异则将 2 位测量者的数据合并统计分析。采用秩相关(Spearman 秩相关)分析胸椎的各个参数值与年龄的关系,秩相关系数为 r_s ,显著性水平设为双侧 $\alpha=0.05$ 。同时采用多重 T 检验比较 TPA 和 SPA 各节段年龄组间的差异,显著性水平设为双侧 $\alpha=0.05$ 。

2 结果

2.1 测量结果可信度分析

两位测量者的测量结果经过配对 T 检验无统计学差异($P>0.05$),说明不同测量者对测量结果的影响很小,故将 2 位测量者的数据合并统计分析。

2.2 胸椎椎弓根横径

各年龄组胸椎椎弓根横径测量结果见表 1、2。各年龄组中,椎弓根的横径(内外径)最窄者是 T4 或 T5。椎弓根横径 T1~T4 逐渐减小, T5~T12

逐渐增大。除 T1、T6、T11、T12 外,横内径值与年龄无显著相关性($r_s:0.011\sim0.363, P>0.05$);除 T4 外,横外径值与年龄均存在显著正相关性($r_s:0.151\sim0.539, P<0.05$)。提示在小儿 1~6 岁生长发育中,椎弓根横内径除 T1、T6、T11、T12 外随年龄增长变化不明显,椎弓根横外径除 T4 外随年龄增长而相应增长。

2.3 胸椎椎弓根纵径

见表 3、4。椎弓根纵径各个年龄组中最小为 T1,最大为 T12, T1~T12 逐渐增大。椎弓根纵内径和年龄的秩相关系数(r_s): $0.526\sim0.786, P<0.05$;椎弓根纵外径和年龄的秩相关系数(r_s): $0.692\sim0.864, P<0.05$,胸椎椎弓根纵径(内外径)与年龄呈显著正相关性,其随年龄增长而增长。

2.4 胸椎椎弓根的骨-螺钉通道长度

见表 5。各个年龄组中,骨-螺钉通道长度最短为 T1 或 T2,最长为 T9 或 T10, T1~T9 有逐渐增加的趋势, T10~T12 有轻度减小。骨-螺钉通道长度和年龄的秩相关系数(r_s): $0.299\sim0.676, P<0.05$,提示胸椎椎弓根骨-螺钉通道长度与年龄呈显著正相关性,随年龄增长而增长。

2.5 胸椎 TPA

见表 6。椎弓根横断面夹角最大为 T1,从 T1 到 T12 逐渐减小,部分儿童 T11 及 T12 的 TPA 可达 0° 甚至负角;各胸椎 TPA 与年龄的秩相关系数(r_s): $-0.432\sim-0.107$,除 T1 $P>0.05$ 外,余椎体 $P<0.05$,除 T1 外,TPA 与年龄呈显著负相关。1 组与 2 组、1 组与 3 组间有显著性差异($P<0.05$),2 组与 3 组无显著性差异($P>0.05$);1 组儿童 TPA 与其他年龄组比较有特异性,提示 1 组儿童 TPA 大于其他年龄组儿童,椎弓根螺钉置入术中应注意适当增大内倾角度。

2.6 胸椎 SPA

见表 7。各胸椎 SPA 与年龄的秩相关系数(r_s): $-0.125\sim0.127, P>0.05$,SPA 与年龄之间无相关性。T1~T12 各年龄组间无显著性差异($P>0.05$)。

3 讨论

椎弓根是脊椎上最坚固的部位,可将所有的应力从后方结构传递至前方的椎体,当脊柱需要进行固定时,椎弓根是采用后路器械进行固定和控制稳定性的最好结构。节段性椎弓根螺钉固定

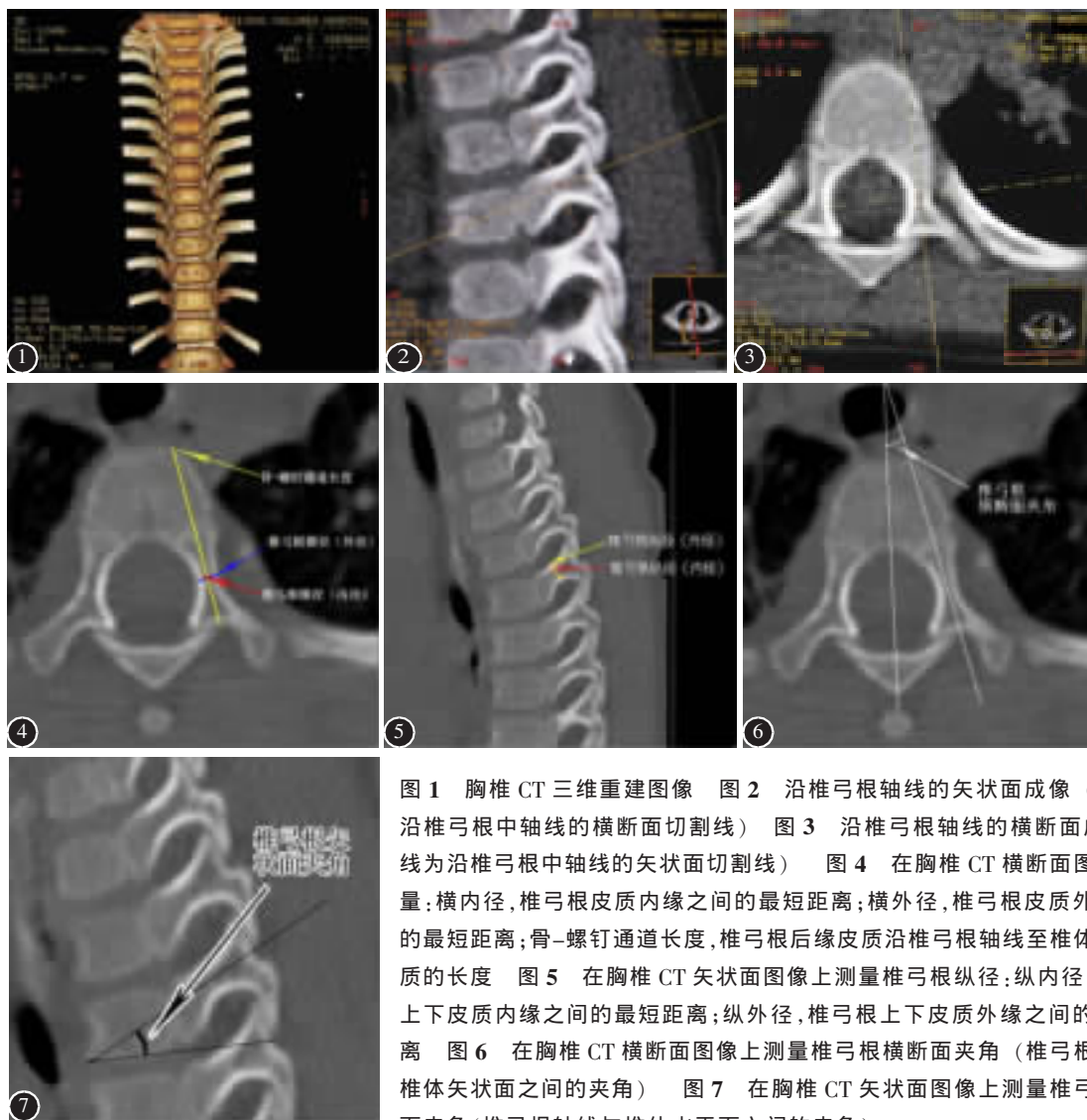


图 1 胸椎 CT 三维重建图像 图 2 沿椎弓根轴线的矢状面成像(实线为沿椎弓根中轴线的横断面切割线) 图 3 沿椎弓根轴线的横断面成像(实线为沿椎弓根中轴线的矢状面切割线) 图 4 在胸椎 CT 横断面图像上测量:横内径,椎弓根皮质内缘之间的最短距离;横外径,椎弓根皮质外缘之间的最短距离;骨-螺钉通道长度,椎弓根后缘皮质沿椎弓根轴线至椎体前缘皮质的长度 图 5 在胸椎 CT 矢状面图像上测量椎弓根纵径:纵内径,椎弓根上下皮质内缘之间的最短距离;纵外径,椎弓根上下皮质外缘之间的最短距离 图 6 在胸椎 CT 横断面图像上测量椎弓根横断面夹角(椎弓根轴线与椎体矢状面之间的夹角) 图 7 在胸椎 CT 矢状面图像上测量椎弓根矢状面夹角(椎弓根轴线与椎体水平面之间的夹角)

Figure 1 Spiral computed tomography of thoracic vertebrae **Figure 2** The sagittal image of the pedicle axis(solid line is the central axis of pedicle for transverse plane reconstruction) **Figure 3** The transvers image of the pedicle axis(solid line is the central axis of pedicle for sagittal plane reconstruction) **Figure 4** Measured on transverse plane of thoracic spine CT: the transverse pedicle inner diameter(measured at the narrowest point of the isthmus of the medial cortical bone of the pedicle), the transverse pedicle outer diameter(measured at the narrowest point of the isthmus of the lateral cortical bone), distance to anterior cortex(the distance from the posterior elements to anterior cortex by the pedicle axis) **Figure 5** The sagittal pedicle diameter measured on sagittal plane of thoracic spine CT: the sagittal pedicle inner diameter (measured at the narrowest of the isthmus of the medial cortical bone of the sagittal pedicle), the sagittal pedicle outer diameter (measured at the narrowest point of the isthmus of the lateral cortical bone of the sagittal pedicle) **Figure 6** The transverse pedicle angle on transverse plane of thoracic spine CT: the angle between the vertebral sagittal plane and the pedicle axis in the transverse plane **Figure 7** The sagittal pedicle angle on sagittal plane of thoracic spine CT: the angle between the vertebral horizontal plane and the pedicle axis in the sagittal plane

技术已经成为脊柱固定的普遍方法,并取得了较理想的疗效。目前有很多不同的椎弓根螺钉固定系统,每一个系统都有其各自内在的优缺点,但无论使用何种系统,都要求对椎弓根的形态学参数

做出精确的分析,以免造成进钉操作不当,导致椎弓根或椎体皮质的破裂或穿透,出现脊髓、血管及神经根损伤等严重并发症。

近年来椎弓根内固定系统应用于儿童脊柱疾

表 1 儿童胸椎椎弓根的横内径及其与年龄的相关性

(mm, $\bar{x} \pm s$, $n=40$)

Table 1 The transverse pedicle inner cortical diameter and their relationship with age

分组 Group	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1组 (Group 1)	2.0±0.4	1.8±0.4	1.4±0.4	1.1±0.4	1.1±0.4	1.1±0.4	1.2±0.3	1.4±0.5	1.6±0.5	2.1±0.5	2.4±0.7	2.7±0.7
2组 (Group 2)	2.4±0.7	1.9±0.5	1.3±0.4	1.0±0.3	1.0±0.4	1.1±0.4	1.2±0.4	1.4±0.5	1.7±0.5	2.0±0.5	2.7±0.6	2.9±0.7
3组 (Group 3)	2.6±0.6	2.0±0.7	1.5±0.6	1.2±0.5	1.2±0.4	1.3±0.4	1.4±0.5	1.6±0.6	1.8±0.6	2.2±0.7	3.0±1.0	3.3±0.7
r_s	0.363	0.080	0.011	0.065	0.157	0.260	0.143	0.172	0.082	0.065	0.279	0.421

注:横内径与年龄的秩相关性分析,除 T1、T6、T11、T12 外, $P>0.05$ Note: Correlation between the transverse pedicle inner diameter and age, $P>0.05$, except T1, T6, T11, T12

表 2 儿童胸椎椎弓根的横外径及其与年龄的相关性

(mm, $\bar{x} \pm s$, $n=40$)

Table 2 The transverse pedicle outer cortical diameter and their relationship with age

分组 Group	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1组 (Group 1)	5.1±0.5	4.9±0.6	4.3±0.5	3.9±0.5	3.8±0.5	3.9±0.5	3.9±0.5	4.1±0.5	4.5±0.6	4.9±0.6	5.4±0.6	5.5±0.7
2组 (Group 2)	5.7±0.7	5.1±0.6	4.4±0.5	4.0±0.4	4.0±0.4	4.0±0.5	4.1±0.5	4.5±0.6	4.6±0.6	5.0±0.6	5.8±0.8	6.2±0.7
3组 (Group 3)	6.1±0.9	5.4±0.7	4.6±0.7	4.1±0.6	4.2±0.5	4.2±0.6	4.3±0.6	4.5±0.7	4.8±0.8	5.3±0.9	6.0±1.0	6.4±0.8
r_s	0.539	0.326	0.224	0.151	0.300	0.228	0.288	0.233	0.171	0.209	0.266	0.431

注:横外径与年龄的秩相关性分析,除 T4 外, $P<0.05$ Note: Correlation between the transverse pedicle outer cortical diameter and age, $P<0.05$ except T4

表 3 儿童胸椎椎弓根的纵内径及其与年龄的相关性

(mm, $\bar{x} \pm s$, $n=40$)

Table 3 The sagittal pedicle diameter and their relationship with age

分组 Group	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1组 (Group 1)	1.5±0.3	1.9±0.4	2.0±0.4	2.0±0.4	2.0±0.5	2.1±0.4	2.1±0.4	2.3±0.5	2.6±0.5	3.4±0.7	3.8±0.6	4.2±0.7
2组 (Group 2)	1.9±0.6	2.5±0.5	2.5±0.5	2.6±0.6	2.6±0.6	2.8±0.6	2.9±0.6	3.1±0.6	3.6±0.7	4.3±0.8	5.2±0.9	6.0±0.9
3组 (Group 3)	2.2±0.5	2.7±0.6	3.1±0.6	3.0±0.7	3.1±0.6	3.1±0.7	3.2±0.6	3.7±0.6	4.4±0.6	5.2±0.7	6.3±0.9	7.0±0.8
r_s	0.526	0.562	0.676	0.621	0.614	0.614	0.674	0.708	0.786	0.727	0.772	0.782

注:纵内径与年龄的秩相关性分析, $P<0.05$ Note: Correlation between the sagittal pedicle inner cortical diameter and age, $P<0.05$

表 4 儿童胸椎椎弓根的纵外径及其与年龄的相关性

(mm, $\bar{x} \pm s$, $n=40$)

Table 4 The sagittal pedicle diameter and their relationship with age

分组 Group	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1组 (Group 1)	4.6±0.4	5.3±0.5	5.4±0.4	5.2±0.5	5.2±0.5	5.2±0.5	5.1±0.5	5.4±0.5	5.8±0.5	6.7±0.8	7.2±0.7	7.4±0.6
2组 (Group 2)	5.4±0.7	6.1±0.5	6.2±0.6	6.3±0.5	6.2±0.5	5.9±1.0	6.3±0.5	6.5±0.6	7.0±0.6	7.9±0.7	8.7±0.7	9.5±0.7
3组 (Group 3)	5.9±0.5	6.8±0.7	7.0±0.6	7.0±0.7	6.8±0.5	6.8±0.6	7.0±0.5	7.4±0.6	8.1±0.6	9.1±0.7	10.0±0.8	10.6±0.8
r_s	0.692	0.742	0.784	0.777	0.773	0.774	0.835	0.845	0.864	0.821	0.837	0.833

注:纵径与年龄的秩相关性分析, $P<0.05$ Note: Correlation between the sagittal pedicle outer cortical diameter and age, $P<0.05$

表 5 儿童胸椎椎弓根的骨-螺钉通道长度及其与年龄的相关 (mm, $\bar{x}\pm s$, $n=40$)

Table 5 distance to anterior cortex and their relationship with age

分组 Group	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1组 (Group 1)	24.5±1.8	24.6±1.8	25.0±1.9	25.5±1.8	26.3±2.0	27.0±1.8	27.5±1.8	27.5±2.0	27.3±1.9	26.8±2.4	26.9±2.9	25.8±3.2
2组 (Group 2)	26.3±1.9	26.3±2.0	26.1±2.3	27.0±2.2	27.8±2.6	28.4±2.9	28.9±2.8	28.9±3.0	29.0±2.9	29.2±2.5	29.0±3.2	28.7±5.2
3组 (Group 3)	28.3±3.0	27.4±2.4	28.1±2.6	28.9±2.4	29.5±2.8	30.5±3.0	31.0±3.1	31.1±3.2	31.7±3.1	32.3±3.1	30.7±4.1	29.0±5.0
r_s	0.551	0.504	0.491	0.565	0.522	0.557	0.542	0.529	0.624	0.677	0.439	0.299

注:骨-螺钉通道长度与年龄的秩相关性分析, $P<0.05$

Note: Correlation between the distance to anterior cortex and age, $P<0.05$

表 6 儿童胸椎椎弓根的横断面夹角及其与年龄的相关性 ($^{\circ}$, $\bar{x}\pm s$, $n=40$)

Table 6 Transverse pedicle angle, TPA and their relationship with age

分组 Group	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1组 ^① (Group 1)	30.5±4.5	22.2±4.2	16.7±3.7	14.8±3.9	13.9±3.7	13.4±4.1	12.5±3.7	12.1±3.9	12.0±3.5	10.2±4.1	7.4±3.5	7.3±4.2
2组 ^② (Group 2)	29.0±4.2	19.1±4.3	13.6±3.0	12.1±3.1	10.9±3.9	10.0±3.8	9.3±3.8	8.1±4.8	8.4±4.4	7.4±3.5	5.7±3.9	4.0±5.4
3组 ^③ (Group 3)	29.0±5.7	18.3±4.7	14.5±4.2	11.9±4.2	10.2±3.5	9.3±4.0	8.3±3.8	7.3±5.3	7.4±4.3	8.0±2.9	4.8±4.0	2.6±5.2
r_s	-0.107	-0.326	-0.225	-0.292	-0.375	-0.377	-0.412	-0.403	-0.432	-0.247	-0.258	-0.376

注:TPA 与年龄的秩相关性分析,除 T1 外, $P<0.05$; ①与②比较,①与③比较, $P<0.05$, ②与③比较, $P>0.05$

Note: Correlation between TPA and age, $P<0.05$, except T1; Compared between ① and ②, ① and ③, $P<0.05$, ② and ③, $P>0.05$

表 7 儿童胸椎椎弓根的矢状面夹角及其与年龄的相关性 ($^{\circ}$, $\bar{x}\pm s$, $n=40$)

Table 7 sagittal pedicle angle, SPA and their relationship with age

分组 Group	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	T10	T11	T12
1组 ^① (Group 1)	19.5±3.8	21.1±4.3	21.8±3.8	22.1±3.7	21.0±3.5	20.6±2.8	19.5±2.9	18.0±3.1	16.7±3.9	15.4±3.9	11.6±3.6	10.3±2.7
2组 ^② (Group 2)	20.4±4.0	21.7±3.7	22.6±3.7	22.1±3.0	22.0±3.6	21.9±3.6	20.1±3.1	19.3±3.3	17.2±2.7	15.5±3.4	12.3±4.3	10.6±5.0
3组 ^③ (Group 3)	20.3±3.7	21.5±4.6	21.0±2.5	20.7±3.4	20.9±3.8	19.8±4.4	19.4±3.3	18.5±3.0	16.9±3.0	16.3±2.6	12.9±3.7	10.9±3.4
r_s	0.098	0.111	-0.093	-0.125	0.046	-0.010	0.047	0.100	-0.010	0.127	0.033	0.106

注:SPA 与年龄的秩相关性分析, $P<0.05$; ①、②、③间比较, $P>0.05$

Note: Correlation between SPA and age, $P<0.05$; Compared between ① and ② and ③, $P>0.05$

患已有报道,最小可达 1 岁 3 个月^[1-3]。但目前对儿童胸椎椎弓根的形态学研究仍不多,尤其是关于椎弓根内部构造的测量,国内尚无 5 岁以下低龄儿椎弓根的解剖形态学研究^[4]。目前国内外儿童椎弓根固定技术在临床上的应用研究缺乏完整、系统的技术参数标准和理论依据,制约了椎弓根螺钉内固定系统的设计和和生产,不能满足椎弓根螺钉技术临床应用的严格要求。本研究对低龄儿(1~6 岁)双侧椎弓根各项影像学参数进行了较系统的、更精确的测量,可以为儿童临床螺钉内固定术及胸椎椎弓根螺钉的制造提供解剖学资料。

安全置入椎弓根螺钉的关键在于脊柱各节段如何选择适当直径及长度的螺钉,并明确进钉点及进钉方向。

根据测量结果显示,儿童的椎弓根横径、纵经、骨-螺钉通道长度和年龄的相关性较大,与 6 岁以上儿童及成人^[4,5]比较,各年龄段的参数值随年龄的增大而增大,其中椎弓根横内径的生长速度较慢;而横断面及矢状面夹角和年龄的相关性较小,除 1~岁年龄组,其余年龄段的参数值与成人相比变化不大。因此选择儿童椎弓根螺钉的直径和长度时要根据其所处的年龄段进行判断。

在椎弓根螺钉直径的选择上,因为除 T1 外, T2~T12 椎弓根横径(包括内外径)均明显小于矢状径,所以除 T1 外,椎弓根横径对于椎弓根螺钉直径的选择起决定性作用。螺钉直径与椎弓根横径的比值太小易引起螺钉松动、折断,过大则易造成椎弓根皮质损伤或破裂,同时椎弓根螺钉的把持力与置入螺钉的直径与长度成正比关系,因此如何根据椎弓根大小选择螺钉直径成为术者需注意的关键性问题。Vaccaro 等^[6]认为螺钉正好置于椎弓根骨皮质内侧缘是最合适的,因此横断面内径对螺钉直径的选择最有意义。同时儿童的骨皮质有一定的柔韧性,Polly 等^[7]认为小儿的椎弓根弹性好,椎弓根螺钉的直径可为拟固定椎弓根横径的 115%;Rinella 等^[8]研究青春期前儿童(9 岁)的尸体证明,通过逐渐增加置入螺钉直径的方式连续置入不同型号的椎弓根螺钉,可使儿童椎弓根横径的内径及外径分别增加 74%及 24%。理想的螺钉直径应与其对应的椎弓根骨松质相适应,并可根据儿童椎弓根的弹性及膨胀率较大的特点,使用“略粗”的螺钉以最大限度增加抗拔出与抗扭曲力。测量中发现儿童椎弓根横内径变化较大,部分儿童 T4、T5 椎弓根横内径值接近于 0,且脊柱侧凸患者中常有椎弓根发育不良情况发生,因此本文所测数值仅供参考,建议术前行脊柱 CT 检查以明确手术患儿椎弓根横径的具体数值。

椎弓根螺钉长度的选择取决于骨-螺钉通道长度、螺钉进钉点、进钉方向的选择及螺钉进入深度占据骨-螺钉通道比例多少的选择。目前大多数学者^[9,10]建议椎弓根螺钉的置入深度为椎体的 80%。本研究发现骨-螺钉通道长度值因儿童间个体差异,同年龄组间仍存在很大差异,故螺钉通道长度需术者于术中根据具体情况而定。

TPA 表示椎弓根螺钉进钉时的侧倾角,总体均值变化规律 T1~T12 逐渐减小。1~2 岁组与 2~岁及 4~6 岁组相比有差异,可能与 1~2 岁时儿童胸椎椎管形状变化有关。因此,1~2 岁儿童于置钉时可适当增加侧倾角度 2°~3°,而且术中置钉时需考虑个体差异、椎体旋转、损伤程度及变异情况。

SPA 表示椎弓根螺钉进钉时的后倾角,T1~T7 总体变化不大,T8~T12 角度逐渐减小。

由于 TPA(除 1~2 岁儿童)与 SPA 随年龄增长变化不大,故考虑 2~6 岁儿童行椎弓根内固定术时进钉点及进钉方向的选择可参照成人的进钉方法。

由于本文所收集的样本量较少,故我们对于 1~6 岁小儿胸椎椎弓根形态学的研究仅为临床中胸椎椎弓根螺钉置入技术提供了一个可供参考的依据,在进行小儿胸椎椎弓根螺钉固定手术之前,还需结合患儿年龄、固定节段和 X 线片及 CT 片等影像学资料,确定椎弓根螺钉的直径、长度及进钉方向。

4 参考文献

1. 陈立言,彭新生,李佛保,等. 椎弓根钉固定在 10 岁以下小儿胸腰椎疾患治疗中的应用[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2006, 16(4): 263-266.
2. Ruf M, Harms J. Pedicle screws in 1 and 2-year old children: technique, complications, and effect on further growth[J]. Spine, 2002 27(21): E460-466.
3. Ruf M, Harms J. Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrumentation: early correction in children aged 1 to 6 years[J]. Spine, 2003, 28(18): 2132-2138.
4. 郑昌坤, 黄其杉, 胡月正, 等. 正常儿童胸椎椎弓根的参数测量[J]. 中华小儿外科杂志, 2008, 29(7): 430-433.
5. 史亚民, 柴伟, 侯树勋, 等. 胸椎椎弓根形态测量研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2002, 12(3): 191-193.
6. Vaccaro AR, Zolo SJ, Lardye TJ, et al. Placement of pedicle screws in the thoracic spine[J]. J Bone Joint Surg, 1995, 77(8): 1193-1199.
7. Polly DP, Otter BK, Uklo T, et al. Volumetric spinal canal intrusion: a comparison between thoracic pedicle screws and thoracic hooks[J]. Spine, 2004, 29(1): 59-63.
8. Rinella A, Cahill P, Ghanayem A, et al. Thoracic pedicle expansion after pedicle screw placement in a pediatric cadaveric spine: a biomechanical analysis[C]. Paper presented at: the SRS 39th Annual Meeting, 2004, Buenos Aires, Argentina.
9. Krag MH, Van Hal ME, Beynon BD. Placement of transpedicular vertebral screws close to anterior vertebral cortex: description of methods[J]. Spine, 1989, 14(8): 879-883.
10. Whitecloud TS, Skalley T, Cook SD, et al. Roentgenographic measurements of pedicle screw penetration [J]. Clin Orthop Relat Res, 1989, 245(8): 57-68.

(收稿日期:2012-12-03 末次修回日期:2013-03-10)

(英文编审 蒋欣/党 礞)

(本文编辑 李伟霞)