doi:10.11659/jjssx.10E016047

·临床研究·

正常儿童胸椎椎弓根数字化形态学研究

张少杰[1,2],王 星[1,2],马世峰[1],蔡永强[1,2],刘红伟[1],任小燕[3],李志军[1,2] (1.内蒙古医科大学基础医学院人体解剖学教研室,内蒙古 呼和浩特 010059;2.内蒙古医科大学数字医学中心,内蒙古 呼和浩特 010059;3.内蒙古医科大学附属医院内分泌科,内蒙古 呼和浩特 010050)

[摘 要] **目的** 通过对4~12岁正常儿童胸椎椎弓根的数字化形态学测量,探讨其形态特征及发育特点,为儿童胸椎椎弓根螺钉内固定术提供理论依据。**方法** 收集60例正常儿童胸椎CT扫描数据,间隔3岁为1个年龄组,共分为3组,每组20例,将CT资料导入Mimics软件三维重建后测量椎弓根宽、椎弓根高、钉道长、e角和f角等相关参数。**结果** 椎弓根宽、椎弓根高、钉道长总体随年龄增长呈递增趋势,10~12岁组与4~6岁组、7~9岁组组间差异均有统计学意义($P<0.05$);椎弓根宽随椎序先减小再增大,椎弓根高、钉道长总体随椎序的增加呈明显递增趋势,e角、f角则在3组间差异无统计学意义($P>0.05$),e角总体随椎序的增加呈递减趋势,而到T_{11}~T_{12}为负角,f角总体呈波浪状下降趋势。**结论** 4~12岁正常儿童胸椎椎弓根相关参数随年龄的增长存在着较大的差异,提示临床对这一群体行椎弓根螺钉内固定术时应尽可能体现"个体化置钉"原则,以提高儿童椎弓根螺钉内固定术的成功率。

[关键词] 胸椎椎弓根;数字化;形态学研究;儿童;螺钉置入
[中图分类号] R322.7 [文献标识码] A [收稿日期] 2016-10-15

Digital morphological study of thoracic pedicle in children

ZHANG Shao-jie[1,2], WANG Xing[1,2], MA Shi-feng[1], CAI Yong-qiang[1,2], LIU Hong-wei[1], REN Xiao-yan[3], LI Zhi-jun[1,2] (1. Department of Human Anatomy, Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia 010059, China; 2. Digital Medical Center, Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia 010059, China; 3. Department of Endocrinology, the Affiliated Hospital of Inner Mongolia Medical University, Hohhot Inner Mongolia 010050, China)

Abstract: Objective To investigate the morphological regularity of the thoracic pedicle screw in 4 to 12 years old children by the digital technology, and to provide the theoreticl basis for thoracic pedicle screw fixation in children. **Methods** A total of 60 healthy children aged from 4 to 12 years old with computed tomography (CT) data of thoracic spine were divided into three groups by age, each group 20 cases. Then they were examined by MIMICS software and the parameters of pedicle width (PW), pedicle height (PH), the length of screw path (SL), e angle and f angle were measured. **Results** The pedicle width, pedicle height, the SL of the pedicle generally showed a rising trend with advancing age. There were significant differences in the PW, PH and LS between the three group ($P<0.05$). The PW decreased and then increased. The PH and the LS increased with the vertebral order increased. There was no significant difference in e angle and f angle between the three groups ($P>0.05$). E angle of the pedicle generally showed a decreasing trend with increasing vertebral order, and e angle of T_{11} to T_{12} showed negative angle. The f angle showed a wavy descending trend. **Conclusion** There was significant difference in correlation parameters of thoracic pedicle with increasing age in healthy children, which indicates that the pedicle screw fixation for the kind of children should be performed based on 'the Principle of individualization' to improve the success rate of surgery.

Keywords: thoracic pedicle; digitalization; morphological study; children; screw implantation

椎弓根是连接椎体和其后方椎弓的力学桥梁,应用椎弓根内固定技术对脊柱创伤、退行性疾病、畸形矫形等进行治疗,可重建脊柱稳定的力学基础,目前已广泛地应用于成人脊柱损伤治疗[1-3]。由于脊柱解剖结构复杂,尤其椎弓根周围毗邻脊髓、脊神经根、椎血管等重要的血管神经,且不同节段差异较大,如果置钉操作不当将出现严重并发症[4-5],所以脊柱椎弓根的形态学研究对提高临床置钉准确性具有重要的意义。随着椎弓根内固定技术的不断成熟及发展,该技术已经应用于儿童脊柱损伤内固定手术治疗中。国外学者Cil等[6]和Ruf等[7]对1~6岁先天性脊椎侧凸儿童行半椎体切除椎弓根钉内固定及胸腰椎椎弓根螺钉内固定手术,均取得了较为理想的效果;国内学者也成功地对10岁以下儿童胸腰椎实施了椎弓根螺钉内固定术[8-9]。儿童脊柱椎弓根处于生长发育期,在形态上与

[基金项目] 国家自然科学基金(81260269,81560348,81660358);内蒙古自然科学基金(2012MS1149);内蒙古自治区高等学校科学研究资助项目(NJZC16108);内蒙古医科大学科技百万项目(2015YKDKJBW03);内蒙古医科大学实验室开放基金(2016ZN24)

[通信作者] 李志军,E-mail:13904717040@qq.com

成人存在一定差异[10-11],若以成人置钉方法对儿童实施椎弓根螺钉内固定术则风险较高,但目前国内外对儿童胸椎椎弓根随年龄发育的形态学研究尚处于起步阶段[12-13],且研究方法单一。本研究采用数字化三维重建技术对4~12岁儿童胸椎椎弓根相关参数进行测量,探讨其不同年龄形态特征及发育规律,为儿童胸椎椎弓根螺钉置入可行性、螺钉设计及置钉方法等提供基础理论依据。

1 材料与方法

1.1 临床资料

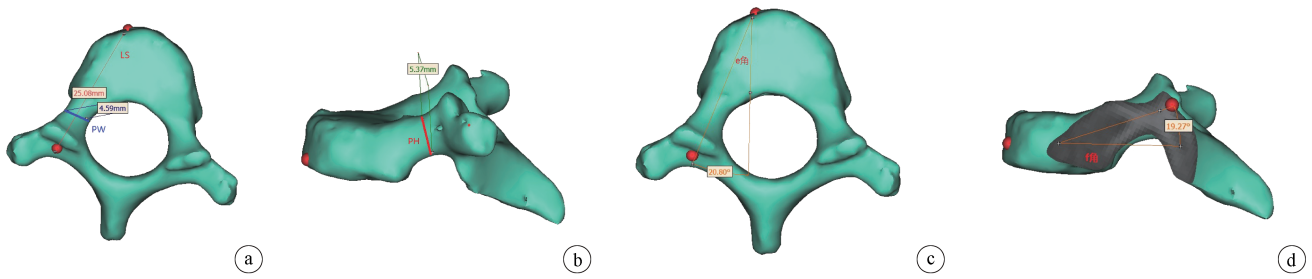
收集2009年9月至2013年9月在内蒙古医科大学附属医院影像科行胸部螺旋CT检查的4~12岁儿童胸椎影像资料(GE 64排螺旋CT,层厚和间距均为0.625 mm,Fov 30×30 cm,矩阵512×512 dpi);纳入研究对象需排除脊柱疾患(包括骨折、退变、结核、畸形及肿瘤等)及其他可能影响脊柱生长发育的先天性疾病,如脊柱侧弯、半椎体畸形等。随机选取60例年龄为4~12岁儿童的影像资料,间隔3岁为1组,共分为3组,其中以4~6岁为A组,7~9岁为B组,10~12岁为C组,每组20例。

1.2 试验方法

将收集的影像资料以DICOM格式导入Materialise Mimics Innovation Suite 16.0软件(Materialise公司,比利时),在Segmention中运用Thresholding工具选取合适HU阈值(一般选用bone)生成bone Mask,再利用软件的Edit Masks、Region Growing等工具将T_1~T_{12}单独生产为Mask,分别行三维重建,运用Centerline工具计算其椎弓根的中心线(即中轴线),并在重建模型及三个轴位视图上调整相应椎弓根中轴线,延长并标定与胸椎整体前、后缘皮质的交点,选取相应椎弓根的横断面及矢状面,运用软件的Measure Distance及Measure Angle三维测量工具,在重建模型上进行测量,由同一人测量3次再取平均值。

1.3 测量指标与内容

椎弓根宽(pedicle width,PW):在椎弓根横断面上,选取椎弓根内外侧皮质最窄处,测量内外侧骨皮质外缘间的最短距离(图1a);椎弓根高(pedicle height,PH):在椎弓根矢状面上,选取椎弓根上下皮质最窄处,测量上下骨皮质外缘间的最短距离(图1b);椎弓根钉道长(length of screw path,LS):椎弓根进钉点外侧皮质沿椎弓根长轴达椎体前缘皮质的直线距离(图1a);e角:在椎弓根横断面上,椎弓根长轴与椎骨矢状轴夹角,即外偏角,椎弓根长轴偏向内侧为正,反之为负(图1c);f角:在椎弓根矢状面上,椎弓根长轴与椎体水平轴在尾侧形成的夹角,即尾偏角(图1d)。



a:椎弓根宽(PW)和椎弓根钉道长(LS);b:椎弓根高(PH);c:外偏角(e角);d:尾偏角(f角)

图1 椎弓根测量指标示意图

1.4 统计学分析

将所测数据导入SPSS 16.0软件进行统计学分析,采用均数±标准差($\bar{x}\pm s$)表示;同一指标在不同年龄组间的比较采用多样本均数比较的单因素方差分析(One-way ANOVA),多样本均数的两两比较选用SNK法;确立检验水准为$\alpha=0.05$,$P<0.05$为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 椎弓根宽(PW)

PW值总体随年龄增长呈递增趋势,3组中PW最小值均位于T_5处、最大值则位于T_{12}处,且在T_1~T_5间随椎序的增加,PW值逐渐减小,而从T_6~T_{12}又渐增大,整体走势形态呈"V"型。C组中各胸椎PW值均比A组大且差异有统计学意义($P<0.05$),与B组比较,仅在T_1、T_2、T_{11}差异有统计学意义($P<0.05$);B组中各胸椎PW值总体均比A组大且差异除T_3、T_4、T_{10}外均有统计学意义($P<0.05$),见表1。各胸椎PW值在不同年龄组中随椎序增加有相似的变化规律:T_4~T_7各胸椎间PW值在各组中差异均无统计学意义($P>0.05$),而T_1~T_3,T_8~T_{10}区间各胸椎PW值变化规律较为相似,T_{11}~T_{12}则为胸腰过渡区。按照此规律,大致可将其分为4个区间,即T_1~T_3,T_4~T_7,T_8~T_{10}和T_{11}~T_{12}区间。

2.2 椎弓根高(PH)

PH 值总体随年龄的增长和椎序的增加呈明显递增趋势;3 组中椎弓根高的最小值位于 T_1 处,最大值位于 T_{12}处。PH 值在 A 组中,T_8 以上,各胸椎与相邻的胸椎差异有统计学意义($P<0.05$),而 T_8 以下各胸椎与相邻胸椎差异有统计学意义($P<0.05$);PH 值在 B、C 组中,分界椎骨则为 T_7;在组间比较中,A 组与 B 组间差异有统计学意义($P>0.05$),C 组则与 A、B 组差异有统计学意义($P<0.05$)(表 1)。

表 1 不同年龄组儿童 PW、PH 测量值($\bar{x}\pm s$,$n=20$,mm)

椎序	A 组			B 组			C 组		
	PW	PH	PW/PH	PW	PH	PW/PH	PW	PH	PW/PH
T_1	4.76±0.72	3.28±0.34	1.45	5.88±0.93*	3.42±0.57	1.72	6.56±0.68$^{*\triangle}$	3.94±0.42$^{*\triangle}$	1.66
T_2	4.55±0.68	3.42±0.42	1.33	5.26±0.41^{*a}	3.60±0.68	1.46	5.72±0.83$^{*\triangle a}$	4.42±0.41$^{*\triangle}$	1.29
T_3	4.04±0.89^{ab}	3.77±0.59^{ab}	1.07	4.46±0.75^{ab}	4.02±0.78^{a}	1.11	4.83±0.72^{*ab}	4.51±0.62$^{*\triangle a}$	1.07
T_4	3.41±0.74^{abc}	4.03±0.62^{ab}	0.85	3.75±0.83^{abc}	4.31±0.72^{ab}	0.87	4.10±0.62^{*abc}	4.96±0.69$^{*\triangle abc}$	0.83
T_5	3.02±0.68^{abc}	4.28±0.76^{abc}	0.71	3.52±0.61^{*abc}	4.65±0.82^{abc}	0.76	3.95±0.80^{abc}	5.44±0.93$^{*\triangle abc}$	0.73
T_6	3.08±0.67^{abc}	4.66±0.74^{abcd}	0.66	3.81±0.63^{*abc}	5.03±0.86^{abcd}	0.76	4.10±0.73^{*abc}	5.92±0.81$^{*\triangle abcd}$	0.69
T_7	3.45±0.77^{abc}	5.13±0.92^{abcde}	0.67	4.10±0.60^{*abe}	5.66±0.97^{abcdef}	0.72	4.25±0.83^{*abc}	6.83±0.92$^{*\triangle abcdef}$	0.62
T_8	3.89±0.56^{abdefg}	5.77±0.85^{abcdefg}	0.67	4.31±0.42^{*abdef}	6.27±0.95^{abcdef}	0.69	4.63±0.72^{*abdef}	7.28±0.84$^{*\triangle abcdef}$	0.64
T_9	4.24±0.51^{adefgh}	6.46±0.88^{abcdefgh}	0.66	4.68±0.65^{*abdefgh}	7.02±0.92^{abcdefgh}	0.67	4.85±0.70^{*abdefg}	7.78±0.93$^{*\triangle abcdefg}$	0.62
T_{10}	4.65±0.55^{cdefghi}	7.21±0.94^{abcdefghi}	0.64	5.08±0.81^{acdefgh}	7.74±0.97^{abcdefghi}	0.66	5.58±0.90^{*acdefghi}	8.62±0.96^{*abcdefghi}	0.65
T_{11}	4.93±0.86^{cdefghi}	7.96±1.06^{abcdefghij}	0.62	5.63±0.82^{*cdefghij}	8.56±1.03^{abcdefghij}	0.66	6.24±0.90$^{*\triangle cdefghij}$	9.65±1.05$^{*\triangle abcdefghij}$	0.65
T_{12}	5.31±0.73^{abcdefghij}	8.74±1.08^{abcdefghijk}	0.61	6.15±0.90^{*bcdefghijk}	9.54±1.30^{*abcdefghijk}	0.64	6.62±1.03^{*cdefghij}	10.42±1.00$^{*\triangle abcdefghijk}$	0.64

*:与 A 组比较,$P<0.05$;△:与 B 组比较,$P<0.05$;a:与 T_1 比较,$P<0.05$;b:与 T_2 比较,$P<0.05$;c:与 T_3 比较,$P<0.05$;d:与 T_4 比较,$P<0.05$;e:与 T_5 比较,$P<0.05$;f:与 T_6 比较,$P<0.05$;g:与 T_7 比较,$P<0.05$;h:与 T_8 比较,$P<0.05$;i:与 T_9 比较,$P<0.05$;j:与T_{10}比较,$P<0.05$;k:与 T_{11}比较,$P<0.05$

2.3 椎弓根宽/椎弓根高比值(PW/PH)

PW/PH 在各年龄组中均随着椎序的递增其比值在减小(表 1),说明椎弓根宽随椎序的递增而逐渐变窄,而椎弓根高随椎序的递增而逐渐变高,这也符合脊柱的生长发育规律。

2.4 钉道总长(LS)

LS 值总体随年龄增长和椎序的增加呈递增趋势;3 组中 LS 值最小值均位于 T_1、最大值均位于 T_{12},T_1 ~ T_{12}总体呈缓慢增大趋势;LS 值在组间比较中,A 组与 B 组间差异无统计学意义($P>0.05$),C 组则与 A、B 组差异有统计学意义($P<0.05$),见表 2。A、B 组中不同胸椎的 LS 值间隔 4 ~ 5 个胸椎差异有统计学意义($P<0.05$),而 C 组中不同胸椎的 LS 值间隔 2 ~ 3 个胸椎,差异有统计学意义($P<0.05$)。

2.5 e 角测量值

e 角组间差异无统计学意义($P>0.05$);各组中 e 角总体随椎序的增加呈递减趋势,T_1 ~ T_3 的 e 角值均较大且与其他胸椎差异有统计学意义($P<0.05$),T_4 ~ T_{10}的 e 角值变化较小,T_4 和 T_{10}差异有统计学意义($P<0.05$),T_{11} ~ T_{12}为负角,即椎弓根轴线与正中矢状面夹角由外偏走向内偏,在 3 组中,e 角最大值均位于 T_1 处,在 A、B 组中最小值则位于 T_{10},而 C 组中则位于 T_8(表 3)。

2.6 f 角测量值

f 角组间差异无统计学意义($P>0.05$);各组中 f 角总体呈波浪状下降趋势,即 T_1 ~ T_6 逐渐减少,T_6 ~ T_8 又渐增大,T_8 ~ T_{12}又呈减少趋势。在 3 组中,f 角最大值均位于 T_1,最小值则位于 T_{12},T_1 的 f 角与其他胸椎差异均有统计学意义($P<0.05$),T_{10} ~ T_{12}的 f 角与其他胸椎差异均有统计学意义($P<0.05$),见表 3。

表 2 不同年龄组儿童 LS 测量值($\bar{x}\pm s$,$n=20$,mm)

椎序	A 组	B 组	C 组
T_1	27.08±1.74	27.71±1.93	29.56±2.55$^{*\#}$
T_2	27.42±2.27	28.03±2.44	29.88±2.03$^{*\#}$
T_3	27.98±2.63	28.74±2.51	30.47±3.32*
T_4	28.64±2.48^{a}	29.40±2.65^{a}	31.25±2.18$^{*\#ab}$
T_5	28.59±2.64^{a}	29.32±2.57^{a}	31.36±3.12$^{*\#ab}$
T_6	28.97±2.43^{ab}	29.58±2.08^{ab}	32.43±3.19$^{*\#ab}$
T_7	29.36±2.60^{ab}	30.16±2.72^{ab}	33.12±3.24$^{*\#abcd}$
T_8	29.73±2.45^{abc}	30.56±2.67^{abc}	33.28±3.02$^{*\#abcd}$
T_9	30.25±2.91^{abc}	31.37±2.75^{abcde}	34.24±3.35$^{*\#abcde}$
T_{10}	30.88±2.84^{abcde}	32.07±2.91^{abcdef}	34.65±3.04$^{*\#abcdef}$
T_{11}	30.66±2.97^{abcde}	32.02±3.08^{abcdef}	34.43±4.12$^{*\#abcde}$
T_{12}	31.06±3.44^{abcde}	32.27±3.26^{abcdef}	34.58±4.53^{*abcde}

*:与 A 组比较,$P<0.05$;#:与 B 组比较,$P<0.05$;a:与 T_1 比较,$P<0.05$;b:与 T_2 比较,$P<0.05$;c:与 T_3 比较,$P<0.05$;d:与T_4 比较,$P<0.05$;e:与 T_5 比较,$P<0.05$;f:与 T_6 比较,$P<0.05$

表3 不同年龄组e角、f角值比较($\bar{x} \pm s, n=20$,°)

椎序	A组		B组		C组	
	e角	f角	e角	f角	e角	f角
T_1	29.96 ± 4.97	22.35 ± 2.72	30.22 ± 5.43	22.13 ± 2.63	30.98 ± 4.26	22.57 ± 2.71
T_2	20.17 ± 4.68[a]	20.14 ± 3.36[a]	20.56 ± 5.03[a]	20.58 ± 3.11	22.43 ± 4.97[a]	20.29 ± 3.68[a]
T_3	13.47 ± 4.66[ab]	19.32 ± 2.47[a]	13.66 ± 4.18[ab]	19.31 ± 2.96[ab]	14.47 ± 5.69[ab]	19.52 ± 2.37[a]
T_4	9.89 ± 4.16[abc]	17.26 ± 3.27[abc]	10.74 ± 3.82[abc]	17.37 ± 3.49[ab]	8.69 ± 4.22[abc]	17.69 ± 3.38[abc]
T_5	8.17 ± 3.25[abc]	14.05 ± 2.65[abcd]	8.55 ± 3.47[abc]	14.28 ± 2.92[abcd]	8.24 ± 3.74[abc]	14.73 ± 3.04[abcd]
T_6	7.54 ± 2.27[abcd]	13.12 ± 2.49[abcd]	7.92 ± 2.64[abcd]	13.73 ± 2.95[abcd]	6.32 ± 3.88[abc]	13.18 ± 3.21[abcd]
T_7	6.86 ± 3.31[abcd]	15.31 ± 4.59[abc]	6.97 ± 2.58[abcd]	15.89 ± 3.85[abc]	5.78 ± 3.04[abcdh]	15.34 ± 4.18[abc]
T_8	6.47 ± 2.18[abcd]	17.28 ± 2.17[abceg]	6.63 ± 2.46[abcd]	16.58 ± 2.26[abcfg]	4.95 ± 2.68[abcdh]	17.83 ± 3.07[abcefg]
T_9	6.05 ± 2.36[abcde]	15.26 ± 4.37[abci]	6.41 ± 1.98[abcde]	14.92 ± 3.68[abcd]	5.25 ± 2.84[abcdh]	15.22 ± 4.55[abch]
T_{10}	5.78 ± 2.26[abcde]	11.60 ± 3.21[abcdehi]	6.26 ± 2.78[abcde]	11.13 ± 4.49[abcdfghi]	5.50 ± 3.64[abcdh]	10.97 ± 3.73[abcdefghi]
T_{11}	−6.12 ± 2.77[abcd]	10.05 ± 4.16[abcdeghi]	−6.02 ± 2.48[abcdef]	10.19 ± 4.27[abcdfghi]	−4.82 ± 3.53[abcdh]	10.68 ± 4.62[abcdefghi]
T_{12}	5.10 ± 3.25[abcde]	9.36 ± 3.43[abcdeghij]	−5.25 ± 3.86[abcdefg]	8.97 ± 4.14[abcdfghi]	−4.66 ± 3.08[abcdh]	9.22 ± 3.84[abcdefghi]

a:与 T_1 比较,$P<0.05$;b:与 T_2 比较,$P<0.05$;c:与 T_3 比较,$P<0.05$;d:与 T_4 比较,$P<0.05$;e:与 T_5 比较,$P<0.05$;f:与 T_6 比较,$P<0.05$;g:与 T_7 比较,$P<0.05$;h:与 T_8 比较,$P<0.05$;i:与 T_9 比较,$P<0.05$

3 讨论

椎弓根螺钉内固定技术是目前脊柱疾病治疗常用的治疗手段之一[14],并且应用于各年龄段,但不同年龄段间脊柱的发育是有一定差异的,尤其是青少年及儿童群体,脊柱椎体椎弓根内径、直径均较成人小,同时胸椎周围毗邻重要的脏器、血管和神经等结构以及其位置和解剖结构的特殊性在一定程度上降低了胸椎椎弓根内固定的安全性和准确性,因此,只有详细掌握其形态特征及规律,才可尽量避免损伤的发生,故儿童胸椎椎弓根的形态学研究对指导其成功置钉有较为重要的意义。

本研究通过对4~12岁儿童胸椎PW、PH和LS的观测发现总体均随年龄的增长呈增大趋势,如果排除测量误差的影响因素外,7~9岁组绝大多数胸椎的PW均比4~6岁组大且有显著性差异,而PH和LS则在统计上没有显著性差异,所以PW发育增快较PH、LS早。4~6岁组和7~9组比较的大部分数据均没有统计学差异,可以说4~10岁儿童生长发育处于相对平稳期,胸椎各项指标间变化不大,本研究组中的10~12岁组,胸椎椎弓根各项指标与4~6岁组、7~9岁组比较生长发育显著,并经统计学分析均有显著性差异,这也符合脊柱发育的一般变化规律[15-16]。

儿童胸椎PW、PH和LS是确定螺钉直径与置入深度的重要指标。PH和LS随椎序的递增呈增大趋势,同时PW/PH值也随着椎序的递增而呈减小趋势,也验证了其符合脊柱受力的变化规律;PW在上胸段呈逐渐减小趋势,而在下胸段又呈逐渐增大趋势,在T_4~T_7段胸椎PW较小,且各组该区间胸椎间均没有统计学差异,尤其T_5为最狭窄处。通过观察各组PW和PH均值的比(PW/PH),发现在T_1~T_3的PH均小于PW,比值大于1.0,且儿童胸椎椎弓根多为横椭圆形或圆形,故T_1~T_3椎弓根螺钉置入直径主要取决于PH;在T_4~T_{12}的则PH大于PW,比值小于1.0,且椎弓根多为圆形或纵椭圆形,因此,在T_4~T_{12}椎弓根螺钉置入直径主要取决于其PW。由于PW狭窄区间位于T_4~T_7,而T_1~T_3虽PW较大但PH较小,所以上胸椎椎弓根置入3.5 mm直径的螺钉有较大风险,尤其是4~6岁儿童,而下胸椎椎弓根螺钉置入风险较小。本研究所测儿童T_1~T_{12}的钉道长均值为27.08~34.58 mm,既往对成人椎弓根置入深度研究得出,只要螺钉置入钉道长全长的80%即可达到理想的固定强度[17-18],由此可以推算,临床上针对儿童胸椎螺钉置入长度为21.7~27.7 mm即可。总之,由于儿童胸椎椎弓根较成人明显细小,而且处于发育阶段,个体差异也较为明显,因此,在椎弓根螺钉置入的治疗中更容易出现因穿破椎弓根皮质而致血管破裂和神经损伤等并发症。

由于儿童胸椎椎弓根细小,周围毗邻结构重要且复杂,螺钉置入最好沿着椎弓根中轴线置钉,所以e角、f角二者对椎弓根螺钉置入方向起着决定性作用,也直接影响着手术的成败与否[18]。儿童胸椎e角在T_1~T_{10}间呈明显逐渐减小趋势,而到达T_{11}、T_{12}则变为负角,即椎弓根轴线由外偏转为内偏,由于儿童椎弓根宽较小,因此在T_{11}、T_{12}置入螺钉时要格外注意角度的变化;儿童胸椎f角在上胸段T_1~T_6整体呈逐渐减少趋势,从T_8~T_{12}又也呈渐减少趋势,其3组间均在

T_7 处为转折点,即 $T_6 < T_7 < T_8$,可能与胸曲突向后有关,因此,在临床胸椎椎弓根螺钉置入时,应注意此处 f 角的变化特点。

本研究发现各胸椎 PW、e 角及 f 角在不同年龄组中随椎序增加有相似的变化规律,大致可将其分为 4 个区间,即 $T_1 \sim T_3$,$T_4 \sim T_7$,$T_8 \sim T_{10}$,T_{11}、T_{12}。$T_4 \sim T_7$ 区间各参数变化规律相似且增长变化不明显,而 $T_1 \sim T_3$、$T_8 \sim T_{10}$ 区间各胸椎各参数变化较为相似,T_{11}、T_{12} 则为胸腰过渡区;PH 和 LS 变化则均随椎序的变化而增加,该变化规律可能与脊柱胸段曾受的重力影响有关,而 PW、e 角及 f 角的变化则与胸曲的存在有关。

综上所述,4 ~ 12 岁正常儿童胸椎椎弓根相关参数随年龄的增长存在着较大的差异性且有一定的发育规律性,儿童胸椎与成人存在着较大差异,临床手术治疗中不能以成人的手术方式简单地应用于儿童,要充分结合儿童胸椎发育的自身特点,利用先进的数字化技术及计算机辅助技术,尽可能体现出“个体化置钉”原则,提高儿童胸椎椎弓根螺钉置入精准性和安全性。

[参考文献]

[1] 崔冠宇,田 伟,刘 波,等. 成人胸椎安全置入椎弓根钉相关的解剖形态特点及意义[J]. 中国骨与关节损伤杂志,2016,31(1):1 - 5. doi:10.7531/j.issn.1672 - 9935.2016.01.001.

[2] Cui G, Watanabe K, Hosogane N, et al. Morphologic evaluation of the thoracic vertebrae for safe free-hand pedicle screw placement in adolescent idiopathic scoliosis: a CT-based anatomical study[J]. Surg Radiol Anat, 2012, 34(3): 209 - 216. doi: 10.1007/s00276 - 011 - 0849 - z.

[3] 赵建华,刘 鹏. 胸椎椎弓根解剖与临床[J]. 局解手术学杂志,2008,17(5):297 - 299. doi:10.3969/j.issn.1672 - 5042.2008.05.001.

[4] 王振锋,李志军,李筱贺,等. CT 三维重建青少年胸椎椎弓根断面测量的解剖学研究[J]. 中国临床解剖学杂志,2011,29(2):193 - 196.

[5] Smorgick Y, Millgram MA, Anekstein Y, et al. Accuracy and safety of thoracic pedicle screw placement in spinal deformities[J]. J Spinal Disord Tech, 2005, 18(6): 522 - 526. doi: 10.1097/01.bsd.0000154448.90707.a8.

[6] Cil A, Yazici M, Alanay A, et al. Re: Ruf M, Harms J. Posterior hemivertebra resection with transpedicular instrumentation: early correction in children aged 1 to 6 years[J]. Spine, 2004, 29(14): 1593 - 1594. doi: 10.1097/01.brs.0000084627.57308.4a.

[7] 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 - E466. doi: 10.1097/01.BRS.0000030203.48525.E3.

[8] 李 晶,吕国华,王 冰. 幼儿胸腰椎置人椎弓根螺钉可行性临床研究[J]. 中华骨科杂志,2009,29(11):1005 - 1008. doi:10.3760/cma.j.issn.0253 - 2352.2009.11.003.

[9] 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. doi:10.3969/j.issn.1004 - 406X.2006.04.018.

[10] 宋元进,李 明,许 明,等. 正常人与青少年特发性脊柱侧凸患者椎弓根磁共振对比[J]. 解剖学杂志,2008,31(1):111 - 114. doi:10.3969/j.issn.1001 - 1633.2008.01.032.

[11] 周 松,朱泽章,邱 勇,等. 青少年特发性胸椎侧凸顶椎区椎弓根及椎管的形态学特征[J]. 中国脊柱脊髓杂志,2013,23(2):113 - 118. doi:10.3969/j.issn.1004 - 406X.2013.02.04.

[12] 刘 磊,孙 琳,孙记航,等. 1 ~ 6 岁正常小儿胸椎椎弓根形态学研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志,2013,23(8):711 - 717. doi:10.3969/j.issn.1004 - 406X.2013.08.08.

[13] 刘 瑞,张元智,李志军,等. 个体化导航模板辅助儿童胸椎椎弓根螺钉置钉准确性实验研究[J]. 内蒙古医学院学报,2012,34(2):99 - 103. doi:10.3969/j.issn.1004 - 2113.2012.02.003.

[14] 王兴斌,王洪伟,陈 语,等. 伤椎单侧后路短节段内固定术治疗胸腰椎骨折[J]. 局解手术学杂志,2017,26(1):22 - 25. doi:10.11659/jjssx.08E016039.

[15] Gelalis ID, Paschos NK, Pakos EE, et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques[J]. Eur Spine J, 2012, 21(2): 247 - 255. doi: 10.1007/s00586 - 011 - 2011 - 3.

[16] Labrom RD. Growth and maturation of the spine from birth to adolescence[J]. J Bone Joint Surg Am, 2007, 89(Suppl 1): 3 - 7. doi: 10.2106/JBJS.F.01236.

[17] Brantley AG, Mayfield JK, Koeneman JB, et al. The effects of pedicle screw fit. An in vitro study[J]. Spine, 1994, 19(15): 1752 - 1758. doi: 10.1097/00007632 - 199408000 - 00016.

[18] Vaccaro AR, Rizzolo SJ, Balderston RA, et al. Placement of pedicle screws in the thoracic spine. Part Ⅱ: An anatomical and radiographic assessment[J]. J Bone Joint Surg Am, 1995, 77(8): 1200 - 1206. doi: 10.2106/00004623 - 199508000 - 00009.

(编辑:魏 源)