

颈椎前路椎弓根基底部螺钉的最佳进钉区域及进钉方向的研究

赵刘军¹ 张吉辉¹ 顾勇杰¹ 于亮¹ 王雷宁² 肖武² 徐荣明¹

¹浙江省宁波市第六医院脊柱外科, 宁波 315040; ²宁波大学医学院, 宁波 315211

通信作者: 赵刘军, Email: zhaoliujun555@sina.com

【摘要】 目的 探究颈椎前路椎弓根基底部螺钉的最佳进钉区域及进钉方向。方法 选取 2018 年 1 月至 2019 年 5 月在宁波市第六医院行颈椎 CT 扫描无明显异常的健康体检者完整影像学资料 50 例, 其中男 24 例, 女 26 例, 年龄 20~49(32±5) 岁。以 DICOM 格式导入 Mimics 软件后进行三维重建。在冠状位平面上, 将 C_{3,7} 节段椎体前缘中线至左侧 Z 线(作过钩椎关节前缘和上终板交点与椎体前缘中线平行的线)之间的椎体等分为 9 个区域, 再置入直径为 3.5 mm 的模拟螺钉。分别记录各个区域螺钉的长度(L), 水平位螺钉与椎体后缘的角度(α), 在矢状位螺钉与椎体前缘的角度(β)。组间数据比较采用独立样本 *t* 检验。结果 螺钉最佳区域分布, 男性为 C₃、C₄ 的 9 区, C₅ 的 8、9 区, C₆ 的 2~3、5~9 区, C₇ 的 1~9 区。女性为 C₃ 的 9 区, C₄、C₅ 的 3、6、8 和 9 区, C₆ 的 2~3、5~9 区, C₇ 的 1~9 区。男女的最佳区域分布大致相同, 每个节段的 9 区都是最佳区域, 且螺钉长度最长。C_{3,7} 呈逐渐递增的趋势, C₃ 的螺钉区域最少, C₄ 和 C₅ 的区域较少, 而 C₆ 和 C₇ 的区域最多。男女的 C_{3,7} 椎体水平位角度范围在 1、4 和 7 区分别为 44.0°~47.2°、40.2°~45.3°; 2、5 和 8 区分别为 35.1°~41.4°、34.6°~38.7°; 3、6 和 9 区分别为 30.0°~37.2°、30.2°~34.5°, 均呈逐渐递减的趋势。男女的 C_{3,7} 椎体矢状位角度范围在 1~3 区分别为 85.3°~97.4°、80.5°~88.9°; 4~6 区分别为 101.2°~113.7°、101.0°~109.3°; 7~9 区分别为 116.6°~128.8°、119.9°~125.3°, 均呈逐渐递增的趋势。男女水平位和矢状位角度差异均无统计学意义(均 *P*>0.05)。结论 颈椎前路椎弓根基底部螺钉是一种可行的内固定技术。其置钉区域较广, 且可依据 Z 线作为置钉的参考。

【关键词】 颈椎; 前路; 椎弓根基底部螺钉; 三维重建

基金项目: 浙江省公益技术研究项目(LGF18C100004)

DOI:10.3760/cma.j.cn112137-20200309-00672

Study on the best entry region and trajectory of anterior transpedicular root screws

Zhao LiuJun¹, Zhang Jihui¹, Gu Yongjie¹, Yu Liang¹, Wang Leining², Xiao Wu², Xu Rongming¹

¹ Department of Spinal Surgery, Ningbo No. 6 Hospital, Ningbo 315040, China; ² Ningbo University School of Medicine, Ningbo 315211, China

Corresponding author: Zhao LiuJun, Email: zhaoliujun555@sina.com

【Abstract】 Objective To evaluate the best entry region and trajectory of anterior transpedicular root screws (ATPRS). **Methods** From January 2018 to May 2019, 50 cervical CT date integral of healthy people were selected from Ningbo No. 6 Hospital and were confirmed no obvious defect. Of these, 24 cases were males and 26 were females, aged 20–49 (32±5) years. The CT data was imported into Mimics by DICOM format, then 3D reconstruction was performed. In the coronal plane, the area from the centreline of the anterior of C_{3,7} to the left Z-line(marked a line through the intersection of the anterior of the luschak joint and upper endplates, parallel to the centralline of the anterior of the vertebral body) was divided into nine areas. Then virtual screw with diameter of 3.5 mm was inserted. Record the length of screw of each area (L), the angle between screw and the posterior of the vertebral body in horizontal plane(α), the angle between screw and the anterior of the vertebral body in sagittal plane (β), individually. The data between groups were compared by independent sample *t* test. **Results** The best regions were zone 9 of C₃, C₄; zone 8, 9 of C₅; zone 2–3, 5–9 of C₆; zone 1–9 of C₇ in men. And these were zone 9 of C₃; zone 3, 6, 8 and 9 of C₄, C₅; zone 2–3, 5–9 of C₆; zone 1–9 of C₇ in women. The distribution of best region was almost the same in men and women, zone 9 of each segment was the best region, and the screw length was the longest. It increased

gradually from C₃ to C₇. C₃ had the least region, C₄ and C₅ had less, while C₆ and C₇ had the most. The horizontal angle of C_{3,7} in men and women were 44.0°–47.2°, 40.2°–45.3° in zone 1, 4 and 7, respectively; 35.1°–41.4°, 34.6°–38.7° in zone 2, 5 and 8, respectively; 30.0°–37.2°, 30.2°–34.5° in zone 3, 6 and 9, respectively; and it demonstrated a gradually decreased trend. The sagittal angle of C_{3,7} in men and women was 85.3°–97.4°, 80.5°–88.9° in zone 1–3, respectively; 101.2°–113.7°, 101.0°–109.3° in zone 4–6, respectively; 116.6°–128.8°, 119.9°–125.3° in zone 7–9, respectively; and it demonstrated a gradually increased trend. There was no significant difference in the horizontal and sagittal angle between men and women (both $P>0.05$). **Conclusions** Anterior transpedicular root screw is a feasible internal fixation technique. It has wide region and the Z-line can be used as a reference for screw placement.

【Key words】 Cervical vertebrae; Anterior route; Transpedicular root screws; 3D reconstruction

Fund program: Public Interest Technical Research Projects of Zhejiang Province (LGF18C100004)

DOI:10.3760/cma.j.cn112137-20200309-00672

颈椎前路内固定方式有椎体螺钉和椎弓根螺钉两种,前者已在临床上广泛使用,但后者受限于置钉难度,应用较为局限^[1-6];因此笔者提出了一种新的前路螺钉技术——颈椎前路椎弓根底部螺钉(anterior transpedicular root screws, ATPRS),并通过生物力学实验,证实了其拔出力要优于椎体螺钉^[2,5-6]。虽然椎弓根底部螺钉是由椎弓根螺钉衍变形成,螺钉并不进入椎弓根,但该螺钉是一种新兴的技术。而通过模拟置钉,得出螺钉的最佳进钉区域及进钉方向,有助于为后期的临床研究提供有益的参考,现报告如下。

对象与方法

一、资料及数据获取

回顾性分析 2018 年 1 月至 2019 年 5 月 50 例健康体检者在宁波市第六医院行颈椎 CT 扫描无明显异常的完整影像学资料(荷兰 Philips 公司),其中男 24 例,女 26 例,年龄 20~49(32±5)岁。最后将颈椎 CT 原始数据以 DICOM 格式导出,刻入光盘。本研究为观察性研究,经本院医学伦理委员会批准(NBU-2014035),所有体检者获得知情同意。

二、模型重建

先将扫描获取的 50 例体检者的颈椎 CT 原始数据导入 Mimics 17.0 软件中(比利时 Materialise 公司)。在读取 CT 的序列图像后,先通过阈值选取技术(threshold),以骨组织的正常密度来选定颈椎的骨性结构,然后获得原始蒙板,其阈值范围为 226~3 000 亨氏单位。再经过 3D 蒙板处理,切割多余的部分,获得 C_{3,7}椎体新蒙板,通过三维重建计算获得重建模型。

三、模拟置钉

置入螺钉的方法:将获得的 C_{3,7}三维模型进行

最高透明显示,在冠状位平面上,作过钩椎关节前缘和上终板交点与椎体前缘中线平行的线,称为 Z 线(图 1)。在冠状位平面上,将 C_{3,7}节段椎体前缘中线至左侧 Z 线之间等分为 9 个区域(图 2)。然后使用 MEDcad 模块画出一个直径为 3.5 mm 圆柱体代替螺钉进行模拟置钉。旋转透明化的颈椎模型,观察圆柱体与模型的位置关系。缓慢移动圆柱体保证其包埋于椎体内。在矢状位、冠状位及水平位窗口进行微调,使模拟置入的螺钉位于最佳位置。即螺钉的头端在水平面上位于椎体后外侧缘与椎弓根轴线的交点,在矢状位上位于椎弓根的下缘。而螺钉的尾端位于椎体前缘中线与左侧 Z 线之间等分的 9 个区域的中心点。

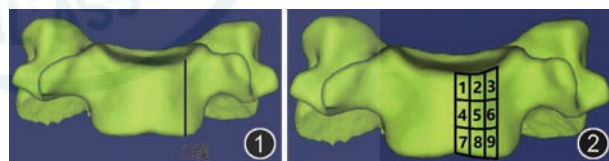


图 1 颈椎 C₅左侧 Z 线示意图(即钩椎关节前缘和上终板交点与椎体前缘中线平行的线) 图 2 颈椎 C₅左侧椎体前缘中线至左侧 Z 线区域等分为 9 个区域

四、测量数据

使用 Mimics 软件中的测量模块建立测量文件,测量每个椎体的螺钉在 9 个区域的螺钉长度(L),水平位上螺钉与椎体后缘的角度(α),在矢状位上螺钉与椎体前缘的角度(β),具体测量螺钉的长度见图 3,水平位及矢状位角度见图 4、5。最后测量椎体前缘中线至 Z 线的距离(LL)见图 6。并使用 Excel 软件记录各螺钉相关数据。

五、统计学方法

采用 SPSS 17.0 软件进行统计学分析,符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示。男女数据比较采用独立样本 t 检验,置钉区域的组内比较采用配对样本 t 检验,组间比较采用独立样本 t 检验。检验水

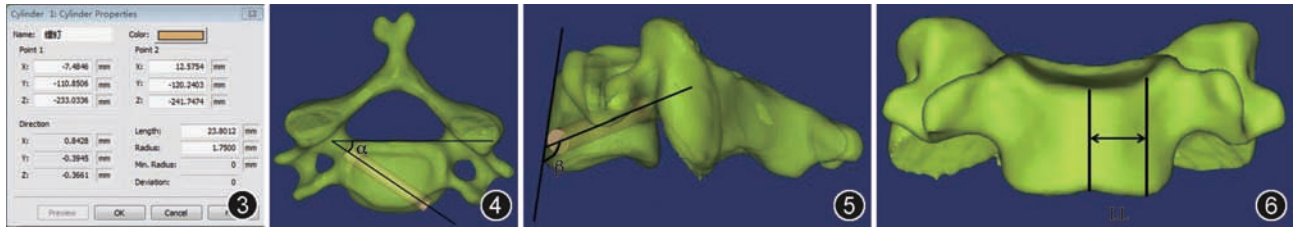


图3 测量软件(Mimics软件)上显示螺钉的长度 图4 水平位上螺钉与椎体后缘的角度(α)示意图 图5 矢状位上螺钉与椎体前缘的角度(β)示意图 图6 椎体前缘中线至Z线的距离(LL)示意图

准值取双侧 $\alpha=0.05$ 。

结 果

一、颈椎前路椎弓根基底部螺钉的置钉区域

通过模拟置钉,发现男女的 $C_{3,7}$ 各个区域均可置入 ATPRS(表1)。最佳进钉区域为男性螺钉长度超过 22 mm,女性超过 20 mm 的区域(图7)。男女 $C_{3,7}$ 的最佳进钉区域大致相同。

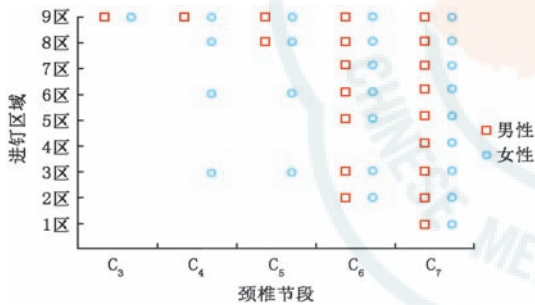


图7 男女颈椎 $C_{3,7}$ 的最佳进钉区域分布图

二、颈椎前路椎弓根基底部螺钉水平位及矢状位角度

男女的螺钉水平面及矢状面角度见表2、3。比较男女的水平位和矢状位角度,差异无统计学意义($P>0.05$)。对于水平位角,男女的 $C_{3,7}$ 的1、4和

7区差异无统计学意义(均 $P>0.05$),2、5和8区,3、6和9区也差异无统计学意义(均 $P>0.05$)。均呈逐渐递减的趋势。对于矢状位角,男女的 $C_{3,7}$ 的1~3区差异无统计学意义(均 $P>0.05$),4~6区、7~9区差异也无统计学意义(均 $P>0.05$),均呈逐渐递增的趋势。

三、 $C_{3,7}$ 节段椎体前缘中线至Z线的距离

男女的 $C_{3,7}$ 节段椎体前缘中线至Z线的距离见表4。从 C_3 至 C_7 ,椎体前缘中线至Z线的距离呈逐渐递增的趋势,其中 C_7 的距离最长。男女之间差异有统计学意义($P<0.05$)。

讨 论

以往有对最佳进钉区域及进钉方向的研究,需借助CT进行分析,势必导致数据不准确。Mimics软件可通过三维重建,实现模拟操作及三维测量,因此得到了临床医生及研究人员的青睐^[7-10]。在软件中可重复模拟置钉,这对最佳进钉区域和进钉方向的研究提供了一定的帮助。不同于颈椎前路椎弓根螺钉固定(ATPS)的进钉区域较为局限,ATPRS在椎体前缘有较多进钉点。故选择最佳的进钉区域及进钉方向,是ATPRS成功运用于临床

表1 男女颈椎 $C_{3,7}$ 节段各个区域螺钉的长度($\bar{x} \pm s, mm$)

节段	性别	1区	2区	3区	4区	5区	6区	7区	8区	9区
C_3	男	18.2±0.8	19.4±0.7	20.6±0.9	18.6±1.1	19.9±1.3	20.9±0.8	20.3±0.6	21.2±1.0	22.2±0.9
	女	16.8±1.3 ^a	18.2±0.8	19.1±0.9	17.5±1.3 ^a	18.6±0.9	19.5±1.2	18.8±1.4	19.9±0.8	20.8±1.1 ^a
C_4	男	18.7±1.2	20.1±1.1	20.9±0.7	19.0±0.8	20.7±1.0	21.3±1.2	20.2±0.7	21.6±1.0	23.2±0.6
	女	17.7±1.0 ^a	19.2±0.6	20.2±0.8	17.9±0.6	19.5±1.1	20.3±0.8	19.2±0.6	20.4±1.4	21.7±1.2
C_5	男	19.0±1.2	20.4±0.7	21.5±0.8	19.4±1.3	20.8±0.9	21.8±1.2	21.0±1.1	22.2±1.0	23.4±0.7
	女	18.0±1.2 ^a	19.3±0.6	20.2±0.9	18.2±0.8	19.7±1.2	20.5±1.1	19.6±0.9 ^a	20.6±0.6	21.9±0.9 ^a
C_6	男	20.7±0.9	22.1±1.1	23.0±0.8	21.0±1.4	22.3±1.3	23.0±1.2	22.2±0.9	23.6±1.4	24.7±1.2
	女	19.3±1.2	20.6±1.3	21.6±0.9	19.4±1.1 ^a	20.9±0.8	21.7±0.6	20.4±1.1	21.8±0.8	22.8±0.9
C_7	男	22.1±1.4	23.6±0.9	24.9±1.1	22.1±1.1	23.9±0.7	25.1±0.9	23.5±1.4	25.0±1.0	26.4±1.4
	女	20.7±1.1 ^a	22.0±1.2 ^a	22.9±0.8	21.1±1.2 ^a	22.5±1.4	23.3±0.7	22.1±0.7	23.5±1.3	24.5±0.6

注:男24例,女26例;与男性比较^a $P<0.05$

表 2 男女颈椎 C₃₋₇ 节段各个区域螺钉水平位上的角度比较($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

节段	性别	1区	2区	3区	4区	5区	6区	7区	8区	9区
C ₃	男	45.8±5.7	41.2±3.0	37.2±3.0	46.3±3.3	41.4±2.1	36.6±2.1	44.3±3.1	41.0±2.9	36.7±2.1
	女	43.3±2.5	38.7±2.5 ^a	31.5±2.1	45.1±2.5	38.1±4.7 ^a	33.2±3.0	45.3±2.6	38.3±4.1 ^a	33.2±3.1 ^a
C ₄	男	45.1±3.6	39.2±2.7	33.1±2.8	44.2±3.5	40.5±2.5	34.4±2.5	47.2±3.5	40.6±4.1	35.0±2.8
	女	40.2±2.7	34.6±3.5 ^a	30.3±4.6	41.9±2.5	35.7±3.7	30.9±4.0 ^a	43.0±3.9 ^a	35.7±2.6 ^a	30.4±1.9
C ₅	男	43.9±3.6	36.5±2.5	33.9±3.5	44.0±2.9	36.3±3.5	33.2±3.7	45.6±2.6	39.2±3.0	34.6±2.7
	女	40.3±3.6 ^a	35.1±5.1 ^a	30.4±3.9	41.2±3.8	36.2±2.4 ^a	31.1±3.5	44.3±2.4	37.3±2.5 ^a	34.5±3.0
C ₆	男	43.2±2.3	36.3±2.7	30.0±2.3	43.7±3.4	35.8±3.0	31.5±2.6	44.7±2.8	38.7±3.0	33.7±2.1
	女	42.6±3.5	35.1±3.3 ^a	30.3±2.2 ^a	42.8±3.6	35.2±4.0 ^a	30.2±3.6 ^a	44.8±3.5	36.5±2.7	31.4±2.9
C ₇	男	45.6±5.1	38.4±2.6	33.2±2.5	44.8±2.3	37.3±3.0	33.7±2.5	46.4±4.2	38.1±3.2	34.4±5.5
	女	43.9±3.8	35.5±5.9	30.7±4.3	44.6±3.8	36.8±3.4	31.9±4.2 ^a	45.2±5.1 ^a	36.7±4.8	32.8±3.5 ^a

注:男 24 例,女 26 例;与男性比较^aP<0.05表 3 男女颈椎 C₃₋₇ 节段各个区域螺钉矢状位上的角度比较($\bar{x} \pm s, ^\circ$)

节段	性别	1区	2区	3区	4区	5区	6区	7区	8区	9区
C ₃	男	86.1±5.0	85.3±5.6	86.1±5.1	104.1±4.9	106.8±4.8	101.2±5.5	121.5±4.9	121.5±4.9	122.5±4.1
	女	86.3±5.4 ^a	87.2±4.5 ^a	86.7±4.8 ^a	105.3±4.1	107.9±5.2	105.4±3.6 ^a	120.7±5.4 ^a	124.3±4.0	125.3±5.6
C ₄	男	86.4±4.7	93.4±3.9	92.5±5.5	106.5±3.6	107.3±3.7	108.5±4.4	123.9±3.5	125.6±3.8	125.6±4.5
	女	85.7±5.2 ^a	83.3±4.2 ^a	81.6±3.9 ^a	105.7±3.9	105.5±4.0	104.3±5.2	121.2±4.5	123.1±3.6	122.3±4.8 ^a
C ₅	男	93.8±4.7	95.8±4.1	97.4±4.8	112.5±3.5	113.7±3.8	111.4±4.1	124.4±4.0	125.8±4.1	128.8±5.0
	女	85.0±5.5	86.0±4.1 ^a	88.9±4.5	105.1±3.9 ^a	107.4±4.0	106.9±3.9	122.8±4.2	122.7±5.9	125.2±4.9
C ₆	男	92.4±5.5	94.7±5.1	91.7±4.9	109.6±3.9	111.1±3.4	110.5±4.6	124.2±3.6	123.3±4.2	122.5±3.9
	女	87.5±4.5	88.9±6.6 ^a	85.1±3.9 ^a	101.9±3.5 ^a	104.8±2.8	106.1±3.6 ^a	119.9±5.1	123.9±3.9 ^a	125.2±5.9 ^a
C ₇	男	86.6±4.8	89.4±5.9	86.2±5.0	104.5±5.6	107.6±4.3	109.4±4.4	116.6±4.6	118.6±4.0	123.3±4.5
	女	87.1±5.1 ^a	87.5±3.6 ^a	87.6±4.5 ^a	103.1±3.8	109.3±5.4 ^a	107.9±3.7	121.4±3.9	122.3±4.1	124.8±3.8

注:男 24 例,女 26 例;与男性比较^aP<0.05表 4 男女颈椎 C₃₋₇ 节段椎体前缘中线至 Z 线的距离比较($\bar{x} \pm s, \text{mm}$)

性别	例数	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆	C ₇
男性	24	8.1±0.3	9.1±0.5	9.4±0.3	10.1±0.4	14.4±0.4
女性	26	7.6±0.2	8.6±0.3	9.2±0.4	9.8±0.3	12.9±0.5
t 值		5.410	6.512	6.891	5.458	12.547
P 值		<0.05	<0.05	<0.05	<0.05	<0.05

的关键。

本研究发现男女 C₃₋₇ 均可置入 ATPRS。男性可置入超过 22 mm 的螺钉,而女性可置入超过 20 mm 的螺钉。对于长度,ATPRS 更适用于男性。通过以上两种长度作为最佳区域的参考,发现男女的分布大致相同,从 C₃₋₇ 呈逐渐递增的趋势,C₃ 的区域最少,仅为 9 区。C₄ 和 C₅ 的区域相对较少,而 C₆ 和 C₇ 的区域最多。而所有的 9 区都是最佳区域,且 9 区的螺钉长度最长。虽然男性的螺钉要长于女性。但女性分布在 C₄ 和 C₅ 中的区域,要比男性的广。故对于进钉区域,女性要优于男性。

由于颈椎活动度大,术后存在邻近节段退变的

问题。颈椎前路融合术后邻近节段退变发生率为 25.6%~50.0%,且融合节段越多,退变越明显^[11]。为保护邻近节段的椎间盘,我们对固定的上下椎体的进钉区域做了分析。作为上位椎体,男性 C₃、C₄ 的 9 区,C₅ 的 8、9 区,C₆ 的 5~9 区,C₇ 的 4~9 区更为合适。女性 C₃ 的 9 区,C₄、C₅ 的 6、8 和 9 区,C₆ 的 5~9 区,C₇ 的 4~9 区更为合适。如果再考虑长度,则男女所有的 9 区是最优选择。而作为下位椎体,首先 C₅ 需排除在外。男性 C₆ 的 2、3、5 和 6 区,C₇ 的 1~6 区更为合适。女性 C₄、C₅ 的 3、6 区,C₆ 的 2、3、5 和 6 区,C₇ 的 1~6 区更为合适。如果也考虑长度,则 3 区和 6 区是最优选择。

不同的区域有不同的方向。通过测量发现,C₃₋₇ 在同一矢状面上的水平位角度,差异无统计学意义。但不同矢状面上的水平位角度,差异有统计学意义,且呈逐渐递减的趋势。其中 1、4 和 7 区的角度最大,男女的角度分别为 44.0°~47.2°、40.2°~45.3°。故在这些区域进钉时,内倾角要最大。而同一水平位上的矢状位角度,差异无统计学意义,

但不同水平位上的矢状位角度,差异有统计学意义,呈逐渐递增的趋势。在 4~6 区置钉时,要尾倾 $11^{\circ}\sim 23^{\circ}$,在 7~9 区置钉时,要尾倾 $26^{\circ}\sim 38^{\circ}$ 。但在 1~3 区时,除男性个别区域要尾倾 $0^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 以外,其他区域均需头倾 $1^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 。

颈椎前表面光滑平坦,无明显的骨性标志。ATPS 也在椎体前缘进钉,故我们前期研究将椎体前缘等分为 4 个区来确定最佳进钉点^[12-13],该方法对置钉提供了一定的帮助。我们现提出一种新的规划方式。颈椎两侧突起的钩椎关节,可作为进钉点的参考标记。作过钩椎关节前缘和上终板交点与椎体前缘中线平行的 Z 线,再将 Z 线与椎体前缘中线之间的椎体等分为 9 个区域。然后术前将患者的 CT 数据导入软件中,在最佳区域中模拟置钉,再选出其最终进钉区域及方向。当患者椎体前缘存在骨赘时,可在软件中标记其区域,使骨赘成为定位用的标志物。另外, C₃₋₇ 的椎体前缘中线至钩椎关节前缘的距离,呈逐渐增大的趋势,其中 C₇ 的钩突关节前后径较小。而国外学者^[14-15]测量钩突关节,发现 C₇ 的钩突关节前后径要小于 C₆,这与我们的发现一致。其他学者发现 C₃₋₇ 钩突关节有从前方转为后方的趋势,这就使 C₇ 钩突关节前缘与中线距离明显大于其他椎体^[16]。因此在 C₇ 进钉时,需暴露更多的组织,但进钉范围将变得更大。

总结与不足:本研究通过三维重建寻找 ATPRS 的最佳进钉区域和进钉方向,为临床的运用提供理论基础。但本文仍存在一些不足,初期已进行了相关的生物力学研究,为更好地应用于临床,后续还会进一步深入研究。另外,本文的样本量较少,结论尚需大样本研究来进一步证实,只能作为一种参考依据。而且每个人是不同的个体,在实际应用时,仍需制定个体化方案。

利益冲突 所有作者均声明不存在利益冲突

参 考 文 献

- [1] Koller H, Hempfing A, Acosta F, et al. Cervical anterior transpedicular screw fixation. Part I: study on morphological feasibility, indications, and technical prerequisites[J]. Eur Spine J, 2008, 17(4):523-538. DOI: 10.1007/s00586-007-0572-y.
- [2] 赵刘军,柴波,蒋伟宇,等. 下颈椎前路椎弓根螺钉配套钢

- 板系统的生物力学性能研究[J]. 中华实验外科杂志, 2014, 31(2):385-388. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-9030.2014.02.058.
- [3] Koller H, Acosta F, Tauber M, et al. Cervical anterior transpedicular screw fixation (ATPS)--Part II. Accuracy of manual insertion and pull-out strength of ATPS[J]. Eur Spine J, 2008, 17(4):539-555. DOI: 10.1007/s00586-007-0573-x.
- [4] Patton AG, Morris RP, Kuo YF, et al. Accuracy of fluoroscopy versus computer-assisted navigation for the placement of anterior cervical pedicle screws[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2015, 40(7): E404-E410. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000786.
- [5] Zhao LJ, Xu RM, Jiang WY, et al. A new technique for anterior cervical pedicle screw implantation[J]. Orthop Surg, 2011, 3(3):193-198. DOI: 10.1111/j.1757-7861.2011.00145.x.
- [6] 赵刘军,徐荣明,马维虎,等. 下颈椎损伤前路椎弓根螺钉固定的初步临床运用[J]. 中华创伤杂志, 2012, 28(9): 780-784. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2012.09.004.
- [7] 李兴军,李骅,白勇,等. 应用计算机辅助技术设计后踝解剖锁定钢板的研究[J]. 中华创伤骨科杂志, 2017, 19(6): 505-510. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2017.06.009.
- [8] 郭泽伟,韩天宇,周大鹏,等. 三种不同方法置入髂前下棘通道螺钉安全性的对比分析[J]. 中华创伤骨科杂志, 2019, 21(6):511-515. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1671-7600.2019.06.009.
- [9] 初向全,董永伟,徐波,等. 国人骶髂贯穿螺钉置钉通道的数字解剖学研究[J]. 中华创伤杂志, 2018, 34(1):51-56. DOI: 10.3760/cma.j.issn.1001-8050.2018.01.012.
- [10] 张立峰,张元智,华子恺,等. 髂前柱顺行拉力螺钉固定钉道的设计及有限元分析[J]. 中华骨科杂志, 2017, 37(5): 276-283. DOI: 10.3760/cma.j.issn.0253-2352.2017.05.004.
- [11] Lee MJ, Bazaz R, Furey CG, et al. Influence of anterior cervical plate design on dysphagia: a 2-year prospective longitudinal follow-up study[J]. J Spinal Disord Tech, 2005, 18(5):406-409. DOI: 10.1097/01.bsd.0000177211.44960.71.
- [12] 赵刘军,徐荣明,华群,等. 下颈椎前路椎弓根螺钉最佳进钉点和进钉方向的影像学研究及其临床运用[J]. 中国骨伤, 2012, 25(12):1030-1035. DOI: 10.3969/j.issn.1003-0034.2012.12.015.
- [13] Zhao L, Li G, Liu J, et al. Radiological studies on the best entry point and trajectory of anterior cervical pedicle screw in the lower cervical spine[J]. Eur Spine J, 2014, 23(10): 2175-2181. DOI: 10.1007/s00586-014-3473-x.
- [14] Tubbs RS, Rompala OJ, Verma K, et al. Analysis of the uncinate processes of the cervical spine: an anatomical study [J]. J Neurosurg Spine, 2012, 16(4):402-407. DOI: 10.3171/2011.12.SPINE11541.
- [15] Lu J, Ebraheim NA, Yang H, et al. Cervical uncinate process: an anatomic study for anterior decompression of the cervical spine[J]. Surg Radiol Anat, 1998, 20(4): 249-252. DOI: 10.1007/bf01628483.
- [16] Tulsi RS, Perrett LV. The anatomy and radiology of the cervical vertebrae and the tortuous vertebral artery[J]. Australas Radiol, 1975, 19(3): 258-264. DOI: 10.1111/j.1440-1673.1975.tb01955.x.

(收稿日期:2020-03-09)

(本文编辑:霍永丰)