

DOI:10.16781/j.0258-879x.2017.11.1471

• 短篇论著 •

双侧前路颈椎弓根钉板系统固定的影像学测量

侯黎升*,白雪东,葛丰,何勃,阮狄克,李海峰,程实

海军总医院骨科,北京 100048

[摘要] **目的** 利用CT及MRI横断面图像行距离及角度测量以评价双侧前路颈椎弓根钉板系统(ACPS)固定的可行性。**方法** 收集2016年2月至2017年1月于海军总医院行颈椎CT检查且排除骨性畸形的50例男性的下颈椎影像学资料及其中38例的颈椎MRI横断面T₂WI图像。在CT骨窗图像上测量最佳进针点距椎体正中线(MVB)的水平距离(DOM)、椎弓根轴线长度(CPA)、椎弓根外宽度(OPW)、同侧实际钉道(AST)长度(根据3.5 mm直径螺钉的螺帽半径为2.25~2.50 mm得出调整后进针点在同侧距MVB水平距离为-2.5 mm处)、钉道有效宽度(ATW)、椎弓根外倾角(PTA)、钉道外倾角(TTA)。在MRI图像上测量椎动脉-椎弓根距离(DAP)、脊髓-椎弓根距离(DCP)和椎动脉直径(DVA)。**结果** 任一测量值左、右侧差异均无统计学意义,将同序列同一参数的左、右侧测量数据予以合并进行后续分析。在C_{3~6}, OPW大于ATW,PTA大于TTA(*P*均<0.05)。以4.5 mm为界,C₃、C₄、C₅、C₆分别有20%、18%、17%、8%的OPW及70%、64%、38%、29%的ATW有椎弓根穿破风险。由于DAP和DCP存在,ACPS非严重移位(分别为2.9和4.4 mm)可无临床症状。C₇的ATW最小为5.6 mm。**结论** 使用双侧ACPS时椎弓根穿破率高,非严重穿破时由于DAP和DCP的存在可无临床症状。

[关键词] 下颈椎;X线计算机体层摄影术;磁共振成像;非严重穿破;钉道有效宽度;前路颈椎弓根钉板系统

[中图分类号] R 687.3 **[文献标志码]** A **[文章编号]** 0258-879X(2017)11-1471-06

Image measurement of bilateral anterior cervical pedicle screw plate system

HOU Li-sheng*, BAI Xue-dong, GE Feng, HE Qing, RUAN Di-ke, LI Hai-feng, CHENG Shi

Department of Orthopaedics, Navy General Hospital, Beijing 100048, China

[Abstract] **Objective** To evaluate the feasibility of bilateral anterior cervical pedicle screw plate system (ACPS) fixation using linear and angular measurements of subaxial cervical transverse CT and MR images. **Methods** The images of normal lower cervical vertebrae from 50 males undergoing CT scan of cervical spine from Feb. 2016 to Jan. 2017 in the Naval General Hospital were included, and 38 cervical transverse T₂WI images from the above-mentioned males were collected. The distance between optimal entry point and midline of vertebral body (DOM), length of cervical pedicle axis (CPA), outer pedicle width (OPW), actual screw trajectory (AST) at ipsilateral side (adjusted entry point was -2.5 mm away from midline of vertebral body at ipsilateral side, based on the assumption that radius of nut of 3.5 mm diameter pedicle screw was 2.25-2.50 mm), available trajectory width (ATW), pedicle transverse angle (PTA) and trajectory transverse angle (TTA) were measured based on transverse CT images (bone window). The distance between vertebral artery and cervical pedicle (DAP), distance between spinal cord and cervical pedicle (DCP), and diameter of vertebral artery (DVA) were measured based on transverse MR images. **Results** There were no significant differences in same measurement parameter between left and right sides at same cervical level, and then the left and right measurement data of the same parameter and same sequence were combined for subsequent analysis. The OPW was significantly higher than APW, and PTA was significantly higher than TTA from C₃ to C₆ (all *P*<0.05). We defined 4.5 mm width as safety limit for pedicle non-perforation, 20%, 18%, 17%, and 8% of OPW and 70%, 64%, 38% and 29% of APW from C₃ to C₆ failed to satisfy the criteria. Due to the presence of DAP and DCP, non-critical ACPS displacement (2.9

[收稿日期] 2017-07-30 **[接受日期]** 2017-10-10

[基金项目] 海军总医院创新培育基金(CXPY2014-13). Supported by Innovation and Cultivation Fund of Navy General Hospital (CXPY2014-13).

[作者简介] 侯黎升,博士,副主任医师.

* 通信作者(Corresponding author). Tel: 010-66951378, E-mail: nghohls@163.com

and 4.4 mm, respectively) might be asymptomatic. The minimum value of ATW at C₇ level was 5.6 mm. **Conclusion** The penetrating rate is high when bilateral ACPS is used in subaxial cervical pedicle, and the non-critical perforation may have no clinical symptoms due to the presence of DAP and DCP.

[Key words] subaxial cervical vertebrae; X-ray computed tomography; magnetic resonance imaging; non-critical perforation; available pedicle width; anterior cervical pedicle screw plate system

[Acad J Sec Mil Med Univ, 2017, 38(11): 1471-1476]

前路颈椎弓根钉板系统 (anterior cervical pedicle screw plate system, ACPS) 始于 2004 年, 2008 年予以报道^[1]。螺钉沿椎弓根轴 (pedicle axis, PA) 置入时钉道有效宽度 (available trajectory width, ATW) 最大, 等于椎弓根外宽度 (outer pedicle width, OPW)。颈椎弓根 (cervical pedicle, CP) 的 OPW 小, 选用 3.5 mm 直径螺钉完全沿颈椎弓根轴 (cervical pedicle axis, CPA) 置入, CP 壁亦有穿破风险。CPA 与椎体正中线 (midline of vertebral body, MVB) 成角约 45°, 其与椎体前缘交点即 ACPS 的最佳进钉点 (optimal entry point, OEP) 多紧邻或在 MVB 对侧^[2]; ACPS 沿 CPA 置钉多只能单侧固定^[1]。从生物力学角度讲, 双侧 ACPS 固定对称施力更优, 近年也逐渐出现了双侧 ACPS 相关实验^[3] 及其临床应用^[4]。此时调整后的进钉点 (adjusted entrance point, AEP) 在 MVB 同侧, 钉道外倾角 (trajectory transverse angle, TTA) 及 ATW 分别小于颈椎弓根外倾角 (pedicle transverse angle, PTA) 及 OPW, 且 CP 壁穿破率明显增加^[5]。此时 ACPS 置入是否安全? 我们试图通过 CT 及 MRI 图像测量与分析给出答案。

1 资料和方法

1.1 一般资料 收集 2016 年 2 月至 2017 年 1 月于海军总医院行颈椎 CT 检查且排除骨性畸形的 50 例男性的影像资料, 年龄 28~56 (37.5±8.6) 岁。其中 38 例同时行 MRI 检查, 年龄 30~56 (38.8±7.4) 岁。

1.2 图像扫描 CT 扫描采用美国 GE 公司 256 排螺旋 CT。患者仰卧位, 身体长轴与检查床长轴一致, 以层厚 5 mm 自上而下连续容积扫描下颈椎。扫描条件: 管电压 100~120 kV, 管电流 150~200 mA, 扫描周期 1.2 s。以 0.625 mm 间隔、内插法重建获得原始横断面数据。原始数据输入 Advantage Workstation 工作站观察: (1) 若原始图

像显示下颈椎横断面满意 (两侧椎弓根对称显露), 以 Dicom 格式存盘; (2) 骨性结构异常或扫描平面与椎体横断面不平行者, 排除。

MRI 扫描采用 GE 公司 3.0 T 磁共振成像仪。扫描时体位与 CT 扫描相同。矢状位 T₁WI、T₂WI 及横轴位 T₂WI 扫描, 横轴位加扫椎弓根平面。T₂WI 条件: 重复时间 (repetition time, TR) 为 2 600 ms, 回波时间 (echo time, TE) 为 96~100 ms, 扫描野 300 mm×300 mm。选定的图像以 Dicom 格式存盘。

1.3 图像处理 用 ImageViewer 软件打开源图像, CT 图像选择骨窗, 窗位 200~400 HU, 窗宽 2 000 HU (图 1); MRI 图像 TE 及 TR 扫描时已定, 选定测量区域另存为 JPG 格式^[6]。

1.4 数据测量 将 JPG 图像作为光栅图像在 AutoCAD-2007 打开, 选择“绘图”菜单中“直线”选项, 绘制需测量值的相应线段, 利用“对齐标注”功能进行数据测量, 精度 0.1 mm。

长度测量: 在 CT 图像上测量自然参数 CPA、OEP 至 MVB 水平距离 (distance between optimal entry point and midline of vertebral body, DOM; 在 CP 对侧为正值, 同侧为负值)、OPW (图 1A)。钉道调整后测量实际钉道 (actual screw trajectory, AST) 长度、ATW (图 1B), AEP 在 CP 同侧距 MVB 水平距离 (distance between adjusted entrance point and midline of vertebral body, DAM) 为 -2.5 mm (根据 3.5 mm 直径螺钉的螺帽半径为 2.25~2.50 mm 得出)。在 MRI 图像上测量椎动脉内界与 CP 外界间距离 (distance between vertebral artery and cervical pedicle, DAP)、脊髓外缘与 CP 内界间距离 (distance between spinal cord and cervical pedicle, DCP)、椎动脉直径 (diameter of vertebral artery, DVA), 见图 1C。

角度测量: 选用 CT 图像使用“角度标注”测量 PTA、TTA, 精度 0.1° (图 1A、1B)。

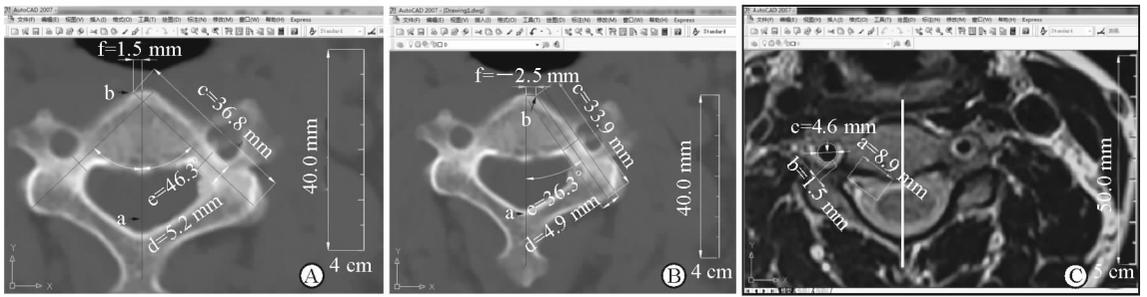


图 1 颈椎弓根参数测量

A: CT 图像上自然参数测量. a: 椎体正中中线(MVB); b: 最佳进钉点(OEP); c: 椎弓根中轴线(CPA); d: 椎弓根外宽度(OPW); e: 椎弓根外倾角; f: OEP 距 MVB 距离(DOM). B: CT 图像上钉道调整后参数测量. a: MVB; b: 调整后的进钉点(AEP); c: 实际钉道长度; d: 钉道有效宽度; e: 钉道外倾角; f: AEP 在颈椎弓根同侧距 MVB 水平距离. C: MRI 图像上参数测量. a: 脊髓-椎弓根距离; b: 椎动脉-椎弓根距离; c: 椎动脉直径

1.5 统计学处理 采用 SPSS 18.0 软件进行数据处理,呈正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示. 同序列左、右侧的同一测量值行配对 t 检验,若 $P > 0.05$ 时则合并. CPA 与 AST、OPW 与 ATW 及 PTA 与 TTA 的比较采用配对 t 检验;不同序列间同一测量值行随机单位组设计资料的方差分析. 检验水准 (α) 为 0.05.

2 结果

2.1 同一颈椎序列左、右侧同一参数测量结果 所有 CT 及 MRI 图像均符合要求. $C_{3\sim7}$ 同一序列的 DOM、CPA、OPW、AST 长度、ATW、PTA、TTA、DCP 左、右侧测量结果进行配对 t 检验, P 值分别为 0.073 ~ 0.234, 0.081 ~ 0.216, 0.132 ~ 0.311, 0.075 ~ 0.178, 0.069 ~ 0.158, 0.246 ~ 0.365, 0.083 ~ 0.108, 0.146 ~ 0.249, $C_{3\sim6}$ 同一序列的 DAP 和 DVA 左、右侧测量结果行配对 t 检验, P 值分别为 0.146 ~ 0.198 和 0.080 ~ 0.134, 差异均无统计学意义,故将同序列同一参数的左、右侧测量值的数据予以合并进行后续分析.

2.2 CT 图像长度测量结果 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 分别有 20%、18%、17%、8% 的 OPW < 4.5 mm, 70%、64%、38% 及 29% 的 ATW < 4.5 mm; C_7 的 OPW 及 ATW 均 > 4.5 mm. DOM 在 $C_{3\sim5}$ 均为正值,在

C_6 有 11% 为负值,但绝对值均 < 2.5 mm; 在 C_7 均为负值,其中 73% 绝对值 ≥ 2.5 mm. 同侧同一测量值行随机单位组设计资料的方差分析, C_7 的 DOM 与 $C_{3\sim6}$ 相比差异均有统计学意义 (P 均 < 0.05); $C_{5\sim6}$ 的 OPW 大于 $C_{3\sim4}$ ($P < 0.05$), C_7 的 OPW 大于 $C_{3\sim6}$ ($P < 0.05$). C_6 的 AST 长度大于 $C_{3\sim4}$ ($P < 0.05$), C_7 的 AST 长度大于 $C_{3\sim6}$ ($P < 0.05$); $C_{5\sim6}$ 的 ATW 大于 $C_{3\sim4}$ ($P < 0.05$), C_7 的 ATW 大于 $C_{3\sim6}$ ($P < 0.05$). 同序列 CPA 与 AST 长度、OPW 与 ATW 分别行配对 t 检验,在 $C_{3\sim6}$ CPA 大于 AST 长度 ($P < 0.05$), OPW 大于 ATW ($P < 0.05$); 在 C_7 OPW 大于 ATW ($P < 0.05$), AST 长度略大于 CPA 但差异无统计学意义 ($P > 0.05$). 见表 1.

2.3 CT 图像角度测量结果 配对 t 检验示 $C_{3\sim6}$ 的 PTA 大于 TTA ($P < 0.05$), C_7 的 PTA 小于 TTA ($P < 0.05$), 其中 C_7 有 27% 的 PTA 大于 TTA. 随机单位组设计资料的方差分析示 $C_{5\sim6}$ 的 PTA 大于 $C_{3\sim4}$ ($P < 0.05$), C_7 的 PTA 小于 $C_{3\sim6}$ ($P < 0.05$); C_7 的 TTA 小于 $C_{3\sim6}$ ($P < 0.05$). 见表 2.

2.4 MRI 图像长度测量结果 C_7 横突孔不存在椎动脉,无 DAP 及 DVA 数据. 在 $C_{3\sim6}$ DAP 最小为 1.4 mm, 在 $C_{3\sim7}$ DCP 最小为 4.4 mm. 随机单位组设计资料的方差分析示 C_4 及 C_6 的 DAP 大于 C_3 ($P < 0.05$), $C_{6\sim7}$ 的 DCP 小于 $C_{3\sim5}$ ($P < 0.05$). 见表 3.

表 1 CT 横断面长度测量结果

l/mm , $n=50$, $\bar{x} \pm s$

颈椎序列	DOM	OPW	AST 长度	ATW	CPA
C_3	2.1 ± 2.4	4.7 ± 1.1	30.3 ± 2.8	4.2 ± 1.2 □	34.7 ± 2.6 ▼
C_4	2.5 ± 3.1	4.8 ± 1.2	30.8 ± 3.5	4.3 ± 1.1 □	35.3 ± 2.8 ▼
C_5	2.6 ± 1.1	5.4 ± 1.1 * △	31.1 ± 3.0	5.0 ± 1.3 * △ □	35.2 ± 2.8 ▼
C_6	2.6 ± 1.8	5.5 ± 2.1 * △	32.0 ± 3.5 * △	5.0 ± 2.2 * △ □	35.4 ± 2.9 ▼
C_7	-4.3 ± 2.2 * △ ▲ ▼	7.1 ± 1.9 * △ ▲ ▼	35.1 ± 3.4 * △ ▲ ▼	6.9 ± 2.6 * △ ▲ ▼ □	34.4 ± 2.7

DOM: 最佳进钉点距椎体正中水平距离; OPW: 椎弓根外宽度; AST: 实际钉道; ATW: 钉道有效宽度; CPA: 椎弓根轴线的长度. * $P < 0.05$ 与 C_3 比较; △ $P < 0.05$ 与 C_4 比较; ▲ $P < 0.05$ 与 C_5 比较; ▼ $P < 0.05$ 与 C_6 比较; ◻ $P < 0.05$ 与同序列 OPW 比较

表2 CT横断面角度测量结果

$\theta(^{\circ})$, $n=50$, $\bar{x}\pm s$

颈椎序列	PTA	TTA
C ₃	49.2±3.0	38.3±3.5▼
C ₄	49.6±2.2	37.6±3.7▼
C ₅	46.3±4.4*△	38.6±3.6▼
C ₆	45.8±2.2*△	37.6±3.3▼
C ₇	33.6±2.9*△▲▽	35.3±3.5*△▲▽▼

PTA: 椎弓根外倾角; TTA: 钉道外倾角。* $P<0.05$ 与C₃比较; △ $P<0.05$ 与C₄比较; ▲ $P<0.05$ 与C₅比较; ▽ $P<0.05$ 与C₆比较; ▼ $P<0.05$ 与同序列PTA比较

表3 MRI横断面长度测量结果

l/mm , $n=38$, $\bar{x}\pm s$

颈椎序列	DAP	DCP	DVA
C ₃	1.8±2.6	6.7±2.0	3.6±2.7
C ₄	2.0±2.1*	6.8±2.8	3.6±2.8
C ₅	1.9±2.5	6.5±2.9	3.7±3.0
C ₆	2.1±3.1*	5.3±3.1*△▲	3.8±3.1
C ₇		5.1±2.9*△▲	

DAP: 椎动脉-椎弓根距离; DCP: 脊髓-椎弓根距离; DVA: 椎动脉直径。* $P<0.05$ 与C₃比较; △ $P<0.05$ 与C₄比较; ▲ $P<0.05$ 与C₅比较

3 讨论

3.1 理想钉道与AST 椎弓根钉固定时,如螺钉AST与PA重合,TTA=PTA,ATW=OPW,OPW充分利用,AST最佳。但临床实际应用中AST极少与PA完全重合,有时TTA=PTA,但AST与PA不重合,进针点不在OEP,此时ATW为AST距偏向侧椎弓根壁距离的2倍(图2A);有时AST与PA成角,TTA≠PTA;或两者同时出现(图2B);此时,ATW均小于OPW。在胸腰椎OPW大,即使ATW明显小于OPW,仍明显大于椎弓根螺钉直径,置入安全。

ACPS主要使用3.5mm直径螺钉,按OPW比螺钉直径大1mm的标准,颈椎OPW至少为4.5mm^[7]。本组C₃~C₆分别有20%、18%、17%及8%的CP不满足此要求。即使OPW≥4.5mm,如AST与CPA有成角和(或)位移致ATW<4.5mm,CP仍可能穿破^[1,7](图3)。

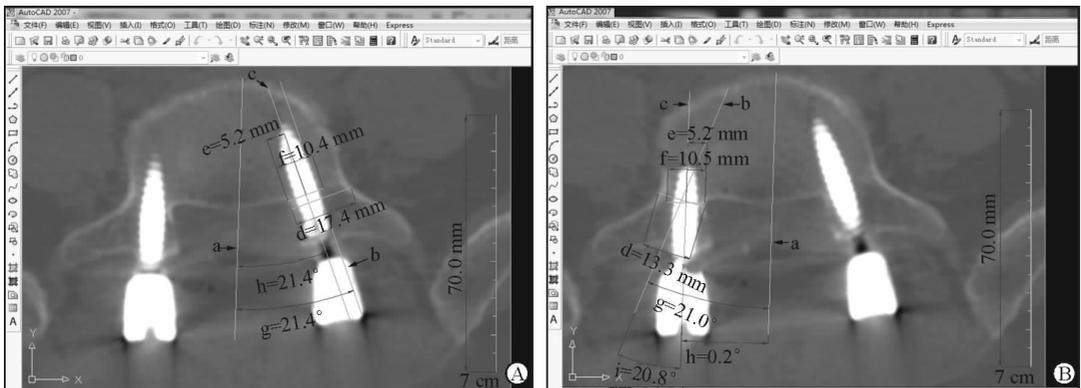


图2 腰椎椎弓根钉内固定

A: 实际钉道内移,钉道外倾角=颈椎弓根外倾角; B: 实际钉道内移,钉道外倾角<颈椎弓根外倾角。a: 椎体正中线; b: 颈椎弓根轴线; c: 实际钉道; d: 椎弓根外宽度; e: 实际钉道距椎弓根内界距离; f: 钉道有效宽度; g: 椎弓根外倾角(PTA); h: 钉道外倾角(TTA); i: PTA与TTA差值

AST与CPA完全重合时CP都有穿破风险;双侧ACPS时AEP移至CP同侧,PTA与TTA形成夹角,使ATW<OPW。

我们在C₃~C₇选择DAM=-2.5mm发现,C₇的OPW≥5.8mm,ATW≥5.6mm,OEP位于CP同侧,且DOM绝对值多>2.5mm,故可行双侧ACPS,CP穿破概率小。而在C₃~C₆分别有70%、64%、38%及29%的ATW<4.5mm,一旦置入3.5mm螺钉,CP穿破风险明显增加。这样双侧ACPS钉板系统还有应用前景吗?我们认为这需从CP穿破是否会发生临床并发症考虑。

3.2 颈椎弓根钉板系统(cervical pedicle screw plate system,CPS)偏差与临床并发症 CP内邻脊髓、上下邻神经根、外邻VA,理论上CPS穿破CP上述结构可能损伤。但复习文献发现CP穿破后多无临床症状^[1,4,8]。遂有了CP非严重穿破和严重穿破的概念,前者CPS偏移<2mm,后者>2mm,前者无临床症状^[9]。

Neo等^[10]报道13枚后路CPS偏外≥2mmVA连续性完好;Abumi等^[11]报道10枚后路CPS偏外(含≥2mm),均无临床症状。分析原因可能是从颈椎MRI横断面见VA并未占满横突孔,DAP为

1.4~4.3 mm; (1) 如 CPS 偏外只占据 DAP 区, VA 不受压; (2) VA 呈圆柱状, 当 CPS 进一步偏外但仍在 VA 轴心内侧, VA 会被挤向外侧; DVA 为 3.0~5.4 mm, $DVA/2 + DVP \geq 2.9$ mm, CPS 在向外偏移 2.9 mm 内 VA 安全; (3) 横突孔外界只是下部有骨性结构, 中上部 VA 可向外躲避; (4) VA 本身有承受压力, 轻度受压未超出其承受阈值, 可无症状^[8]。

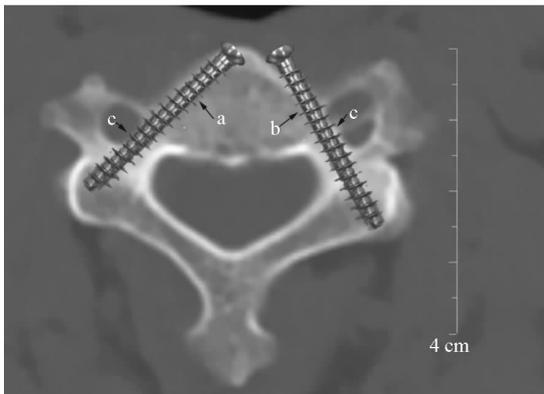


图 3 AST 与 CPA 不重合致 CP 外壁穿破
($OPW > 4.5$ mm, $ATW < 4.5$ mm)

a: AST 外移; b: TTA 减小; c: CP 外壁穿破。AST: 实际钉道; CPA: 椎弓根轴线长度; CP: 颈椎弓根; OPW: 椎弓根外宽度; ATW: 钉道有效宽度

CP 内壁厚, 但有时 CPS 也会穿破。Ugur 等^[12]报道 21 例 CPS 向内移位(含 ≥ 2 mm), 均无临床症状。分析可能原因: (1) 硬膜囊与椎弓根内壁相贴, 但颈脊髓未占满硬膜囊, DCP 为 4.4~8.9 mm, 如果 CPS 内偏 < 4.4 mm, 仅压迫或穿破硬膜囊, 未触及脊髓; (2) 脊髓本身逃逸机制; (3) CPS 穿破硬膜囊后周径和硬膜囊紧贴, 可无脑脊液漏出现; (4) 颈神经根从脊髓发出平行向外贴 CP 上缘走行, CP 内侧无神经根, 不会受压(图 4)。

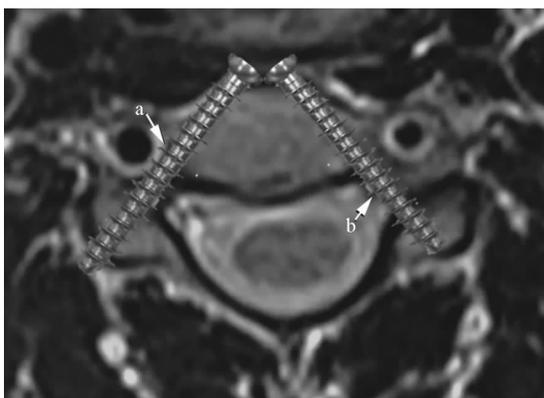


图 4 颈椎弓根非严重穿破

a: 椎弓根外壁穿破, 椎动脉未受压; b: 椎弓根内壁穿破, 脊髓未受压

因此, 在 C_{3-6} 行双侧 ACPS 固定时选 $DAM = -2.5$ mm, 29%~70% 的 CP 有穿破风险。但在上述偏移范围内可无临床症状。但 CP 侧壁穿破后, ACPS 固定强度会否明显下降, 有待进一步研究。

如有其他替代内固定方案, 我们不推荐随意扩大在颈椎实施双侧 ACPS。一旦决定, 术前一定要仔细测量影像数据, 明确个体 ATW、DAP 及 DCP 的具体数值, 了解个体 CP 穿破的概率及容许偏移范围, 由有丰富经验的医师实施操作以尽可能避免并发症的发生^[13]。

3.3 现有 ACPS 评价 Zhang 等^[4]设计的 ACPS, 钢板供 ACPS 通过的区域为槽状, 容许 AEP 大范围调整。AEP 可在 CP 对侧与 OEP 重合; 也可在 CP 同侧, 行双侧 ACPS; 如两侧 OPW 不一, AEP 也可不必对称于 MVB, 可适当调整使两侧 ATW 相等 (TTA 不相等), 且均大于 4.5 mm。实际也可对 AEP 做适当调整, 不一定对称于 MVB, 仅一侧 ATW 满足要求, 可在单侧经 AEP 行 ACPS, 而对侧置入椎体钉。在矢状面上 AEP 靠头端, 在槽状结构尾端, 有孔状结构供再植入椎体钉加固。

综上所述, CP 细小, 行双侧 ACPS 固定时由于 ATW 减小, CP 壁穿破风险明显增加。CP 外壁与椎动脉间、CP 内壁与脊髓间存在空隙, 且 CP 内侧无神经根通过, ACPS 穿破 CP 后如与椎动脉或脊髓不接触, 或仅轻度压迫 VA 可无临床症状; 在适宜病例行双侧 ACPS 固定, 发生无症状的 CP 穿破率会明显增加。

[参考文献]

- [1] ARAMOMI M, MASAKI Y, KOSHIZUKA S, KADOTA R, OKAWA A, KODA M, et al. Anterior pedicle screw fixation for multilevel cervical corpectomy and spinal fusion[J]. Acta Neurochir (Wien), 2008, 150: 575-582.
- [2] CHEN C, RUAN D, WU C, WU W, SUN P, ZHANG Y, et al. CT morphometric analysis to determine the anatomical basis for the use of transpedicular screws during reconstruction and fixations of anterior cervical vertebrae [J/OL]. PLoS One, 2013, 8: e81159. doi: 10.1371/journal.pone.0081159.

- [3] BREDOW J, MEYER C, SCHEYERER M J, SIEDEK F, MÜLLER L P, EYSEL P, et al. Accuracy of 3D fluoroscopy-navigated anterior transpedicular screw insertion in the cervical spine; an experimental study[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25: 1683-1689.
- [4] ZHANG Z, MU Z, ZHENG W. Anterior pedicle screw and plate fixation for cervical facet dislocation; case series and technical note[J]. *Spine J*, 2016, 16: 123-129.
- [5] KOLLER H, HITZL W, ACOSTA F, TAUBER M, ZENNER J, RESCH H, et al. *In vitro* study of accuracy of cervical pedicle screw insertion using an electronic conductivity device (ATPS part III)[J]. *Eur Spine J*, 2009, 18: 1300-1313.
- [6] 侯黎升,白雪东,葛丰,何勍,阮狄克,陈春,等. 下颈椎椎弓根前入口及前半四壁皮质厚度的影像学测量及应用分析[J]. *第二军医大学学报*, 2017, 38: 1152-1157.
- HOU L S, BAI X D, GE F, HE Q, RUAN D K, CHEN C, et al. Imaging measurement of circumferential cortical thickness of anterior entrance and anterior half of lower cervical pedicles and its application analysis[J]. *Acad J Sec Mil Med Univ*, 2017, 38: 1152-1157.
- [7] KOKEKIR E, TOKTAS Z O, SEKER A, AKAKIIN A, KONYA D, KILIC T. Anterior transpedicular screw fixation of cervical spine; is it safe? Morphological feasibility, technical properties, and accuracy of manual insertion[J]. *J Neurosurg Spine*, 2015, 22: 596-604.
- [8] ZHAO L, XU R, HU T, MA W, XIA H, WANG G. Quantitative evaluation of the location of the vertebral artery in relation to the transverse foramen in the lower cervical spine[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2008, 33: 373-378.
- [9] RICHTER M, CAKIR B, SCHMIDT R. Cervical pedicle screws; conventional versus computer-assisted placement of cannulated screws[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30: 2280-2287.
- [10] NEO M, SAKAMOTO T, FUJIBAYASHI S, NAKAMURA T. The clinical risk of vertebral artery injury from cervical pedicle screws inserted in degenerative vertebrae[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2005, 30: 2800-2805.
- [11] ABUMI K, SHONO Y, ITO M, TANEICHI H, KOTANI Y, KANEDA K. Complications of pedicle screw fixation in reconstructive surgery of the cervical spine[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2000, 25: 962-969.
- [12] UĞUR H C, ATTAR A, UZ A, TEKDEMİR I, EGEMEN N, CAĞLAR S, et al. Surgical anatomic evaluation of the cervical pedicle and adjacent neural structures[J]. *Neurosurgery*, 2000, 47: 1162-1169.
- [13] ZHOU R P, JIANG J, ZHAN Z C, ZHOU Y, LIU Z L, YIN Q S. Morphological character of cervical spine for anterior transpedicular screw fixation[J]. *Indian J Orthop*, 2013, 47: 553-558.

[本文编辑] 杨亚红