

·临床研究论著·

基于影像归档和通信系统的下颈椎椎管旁螺钉相关参数三维测量及可行性研究

谭必知 马骏雄 项良碧

【摘要】 目的 应用影像归档和通信系统测量下颈椎椎管旁螺钉(paravertebral foramen screw, PVFS)相关参数并探讨其可行性。**方法** 按时间先后选取2016年12月至2017年12月因颈椎退变或外伤于我院行颈椎手术的病人100例,收集上传至PACS的颈椎三维CT数据,分别测量C₃~C₆侧块螺钉和椎管旁螺钉的钉道长度,并进行比较分析。**结果** C₃~C₆椎管旁螺钉10°和15°误差范围内的安全钉道长度分别为(12.54±1.16) mm、(11.76±1.11) mm,而侧块螺钉的钉道长度和有效钉道长度分别为(14.58±1.20) mm、(12.83±1.21) mm。对于C₃~C₆椎体,椎管旁螺钉10°、15°误差范围内的钉道长度与侧块螺钉的钉道长度相比,差异均有统计学意义(P 均<0.05),但是与侧块螺钉的有效钉道长度是接近的。**结论** 下颈椎椎管旁螺钉安全固定长度可等同于侧块螺钉固定有效长度,且其方法安全合理,基于影像学角度探究而言,下颈椎椎管旁螺钉具有临床应用的可行性。

【关键词】 下颈椎;侧块螺钉;短椎弓根螺钉;椎管旁螺钉;三维测量

Three-dimensional measurement of relevant parameters and feasibility study of paravertebral foramen screw in the sub-axial cervical spine based on the picture archiving and communication system. TAN Bi-zhi, MA Jun-xiong, XIANG Liang-bi. Department of Orthopaedics, General Hospital of Northern Theater Command of PLA, Shenyang 110016, China

Corresponding author: XIANG Liang-bi, E-mail: xiangliangbi1963@sina.com

【Abstract】 Objective To explore the relevant parameters and clinical feasibility of paravertebral foramen screw (PVFS) in sub-axial cervical spine based on the picture archiving and communication system. **Methods** A total of 100 patients diagnosed with cervical spine trauma or cervical degeneration were enrolled in chronological order who underwent cervical spine surgery in our hospital from December 2016 to December 2017. The preoperative three-dimensional cervical CT images of all patients were obtained to upload to the PACS. The length of PVFS and lateral mass screw (LMS) were measured, respectively, and used for comparative analysis. **Results** The mean safe length and effective length of PVFS within the error range of 10° and 15° at C₃₋₆ was (12.54±1.16) mm and (11.76±1.11) mm, respectively. The mean length of LMS and effective length of LMS at C₃₋₆ was (14.58±1.20) mm and (12.83±1.21) mm, respectively. Comparison of the safe length of PVFS with the length of LMS showed statistically significant difference (P <0.05). However, there was no significant difference in the effective length between the two groups. **Conclusion** The mean safe length of PVFS in the sub-axial cervical spine is approximate to effective length of LMS, besides it's safe and reasonable inserting technique. In terms of imaging study, PVFS used in sub-axial cervical spine is feasible in clinical application.

【Key words】 Sub-axialcervical spine; Lateral mass screw; Short pedicle screw; Paravertebral foramen screw; Three-dimensionalmeasurement

颈椎后路固定融合术是目前广泛用于治疗颈椎病的术式之一^[1-2],而侧块螺钉及椎弓根螺钉固定为其常用的两种内固定方式。尽管椎弓根螺钉固定生物力学性能优越,但操作技术要求高,手术风险

大^[3-5];侧块螺钉固定稳定性虽稍弱,但操作简单、安全性高且并发症少,因而临床应用更为普遍^[3,6]。然而,临床中发现侧块螺钉固定也存在局限性:①由于侧块螺钉并未垂直于骨面进钉,存在部分无效螺纹长度;②侧块螺钉是沿外上方向呈角度将其置入侧块中,术中易出现侧块皮质劈裂甚至骨折,可能导致内固定失效,在骨质疏松病人中可能更容易发生^[3,7]。

鉴于此,Aramomi等^[8]报道了一种新的下颈椎内

DOI: 10.3969/j.issn.1674-8573.2020.05.011

基金项目:国家自然科学基金(81501079)

作者单位:中国人民解放军北部战区总医院骨科,沈阳 110016

通信作者:项良碧, E-mail: xiangliangbi1963@sina.com

固定技术——椎管旁螺钉(paravertebral foramen screw, PVFS),类似于椎弓根螺钉的一部分或短椎弓根螺钉,可置入椎弓根入口区较硬的松质骨内,不破坏椎管及横突孔,增大的螺钉直径可以克服其因螺钉长度而导致稳定性的不足^[9-10],理论上是一种较为安全、可行的内固定技术。与侧块螺钉相比,椎管旁螺钉的把持力与之相同^[9],因而可作为侧块螺钉的一种补充方案^[9,11-12]。Kim等^[12]在颈椎侧块与横突孔的解剖学测量研究中发现,透视下当椎管旁螺钉置入长度达到C₃₋₆椎体后壁或越后壁1~2 mm是安全的,并认为其测量数据可为椎管旁螺钉临床安全置钉提供指导。

尽管椎管旁螺钉近年来得到较多的关注和研究,但目前仍停留在初步研究阶段,有关其大样本影像学研究罕见报道。本研究拟通过比较影像学三维测量下颈椎椎管旁螺钉与侧块螺钉的相关参数,探讨椎管旁螺钉临床应用的可行性。

资料与方法

一、纳入与排除标准

按入院时间先后顺序选取2016年12月至2017年12月于我院行颈椎手术治疗的病人100例。

纳入标准:①明确颈椎外伤史;②明确颈椎退变;③术前行三维CT检查;④病人基本信息完整。

排除标准:①肿瘤及炎症;②颈椎椎体及关节突骨折;③颈椎椎弓根骨折或破坏无法进行测量;④术前颈椎三维数据丢失或不全;⑤脊柱侧弯畸形。

二、测量内容及方法

统计病人性别、年龄、身高、体重及诊断等基本

信息,并将术前颈椎三维CT数据传至影像归档和通信系统进行测量。本次数据测量为左右双侧分别测量3次,取平均值。

(一)调节影像归档和通信系统主操作窗口

在PACS上对每例病人下颈椎侧块螺钉和椎管旁螺钉置钉轨迹进行三维测量,长度精确到0.01 mm。考虑到C₇有独特的结构和功能特点,其侧块最薄,为非典型颈椎,故本研究限于测量C₃₋₆。

(二)椎管旁螺钉进钉点及进钉轨迹

参考文献报道^[8-9]确定椎管旁螺钉进钉点及进钉轨迹。将子窗口a、c、d中的绿线、红线、紫线分别标记为X、Y、Z轴(见图1)。通过调节子窗口Y轴,使之平行于目标椎体上终板。接着通过调节a窗口中X轴,使其平行于目标椎体双侧上关节突连线所在平面。然后在d窗口中平移Y轴,使其正中横切于椎弓根则可得椎弓根正中横切面图(见图2a)。如图2b所示,在椎弓根横切面横径中点作其延长线与侧块关节骨皮质相交于O点,此点可为椎管旁螺钉进钉点。

外科医生临床经验表明,颈椎椎弓根螺钉徒手置钉时会出现一定程度的置钉方向偏差。因而本研究根据内外倾角度误差规定(-10°~10°)和(-15°~15°)两种置钉方向误差,在该两种角度误差范围内测量椎管旁螺钉安全钉道长度(见图2c)。

(三)侧块螺钉进钉点及进钉轨迹

据参考文献报道^[13-14],可取侧块中心点为进钉点,而既往解剖学研究表明颈椎横突与侧块相交处后下缘有一凹陷点可作为出钉点,此即为侧块螺钉置钉轨迹(见图3)。而两者之间的距离即为侧块螺

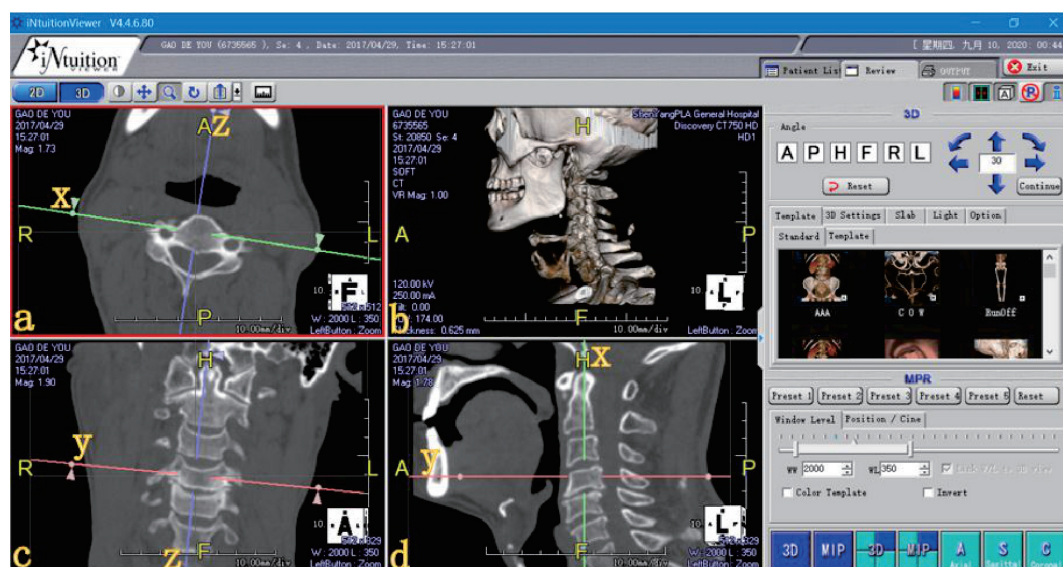


图1 PACS操作主窗口示意图

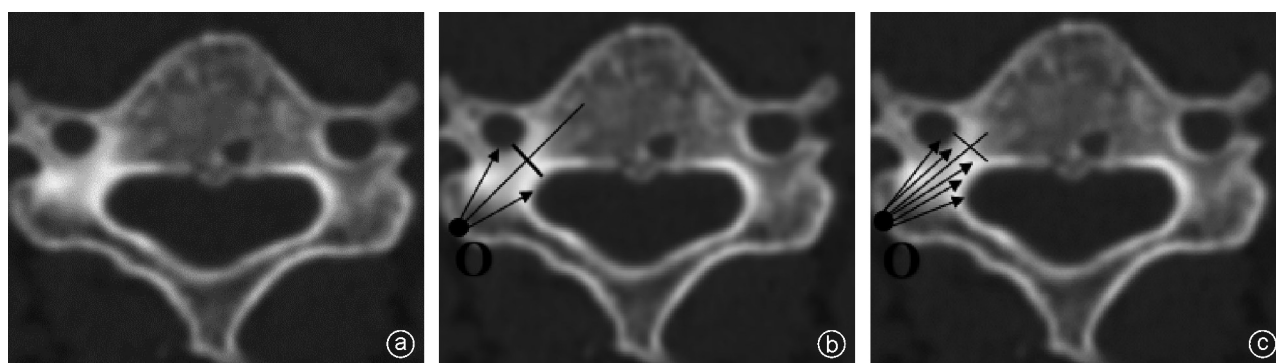


图2 下颈椎椎管旁螺钉安全钉道长度测量示意图 a:下颈椎过椎弓根正中横切面图;b:椎管旁螺钉进钉点横切面图,过椎弓根横径中点作椎弓根延长线交于侧块皮质骨,标记为O,交点O即为椎管旁螺钉进钉点;c:椎管旁螺钉钉道长度测量比较示意图,分别在 $(-10^{\circ}\sim 10^{\circ})$ 和 $(-15^{\circ}\sim 15^{\circ})$ 两种进钉误差范围内测量其最短钉道长度,即安全钉道长度

钉的测量钉道长度。如图4所示,P、A两点分别为进钉点和出钉点,而P'A为进钉轨迹在该平面的投影。

通过调节影像归档和通信系统对侧块螺钉钉道长度进行三维影像学测量。调节a窗口中X轴使之平行于目标椎体上关节突连线所在冠状面,然后在d窗口中平移Y轴(见图1)。待a窗口获得椎弓根正中横切面图后,调节a窗口中Z轴使之平行于侧块上关节面,然后缓慢左右移动Z轴,使之与P'A(见图4a)重合。选定d窗口中侧块中点P至A连线PA即可显示侧块螺钉钉道长度测量值(见图4b)。

(四)侧块螺钉有效钉道长度

鉴于侧块螺钉呈角度置入侧块骨皮质表面,因而螺钉无法完全置入侧块骨质内,仍有部分螺纹处于骨质外,故而侧块螺钉长度存在一个有效螺钉长度。如果螺钉与骨面成 45° 置入侧块,则侧块螺钉置入后的实际有效长度应减去钉尾部未置入骨质内的部分无效螺纹长度。通过几何分析计算,则直径3.5 mm侧块螺钉有效钉道长度应等于实际测量长度减去1.75 mm(见图5)。

三、统计学分析

采用SPSS statistics 24.0统计软件(IBM公司,美

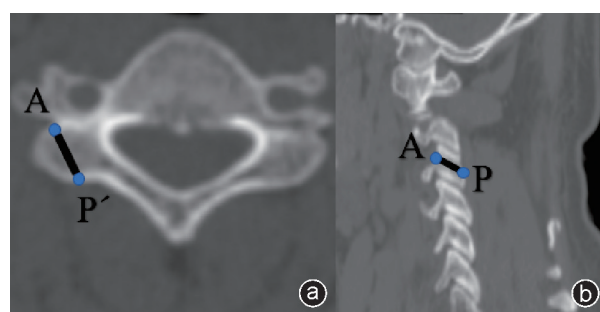


图4 下颈椎侧块螺钉钉道长度测量示意图 a:P'点为侧块中心在椎弓根横切面投影点,侧块关节突凹陷处与横突交点为出钉点A,P'A连线即为侧块螺钉的进钉轨迹在椎弓根横切面的投影;b:通过调节图1子窗口a中X轴及子窗口d中Y轴,则可得椎弓根正中横切面,调节子窗口a中Z轴使之与侧块上关节面平行,使之与进钉轨迹在椎弓根正中横切面的投影P'A重合,此时d窗口中连线PA测量距离即侧块螺钉钉道长度

国)对测量数据进行统计学处理分析,符合正态分布和方差齐性的计量资料以均数 $\pm$ 标准差($\bar{x}\pm s$)来表示,数据间的差异用独立样本t检验进行比较,以 $P<0.05$ 为差异具有统计学意义。

结 果

本研究共纳入100例,颈椎外伤47例,颈椎退变53例,男72例,女28例,平均年龄为55岁(23~75岁),平均身高为168.65 cm(150~189 cm),平均体重为69 kg(41~100 kg),平均身体质量指数(body mass index, BMI)为 24.2 kg/m^2 ($17.6\sim 34.0\text{ kg/m}^2$)。

基于影像归档和通信系统测得成人下颈椎椎管旁螺钉在 10° 、 15° 误差范围内的安全钉道长度分别为 $(12.54\pm 1.16)\text{ mm}$ 、 $(11.76\pm 1.11)\text{ mm}$ 、而侧块螺钉钉道长度和其有效钉道长度分别为 $(14.58\pm 1.20)\text{ mm}$ 、 $(12.83\pm 1.21)\text{ mm}$ 。对于 $C_3\sim C_6$ 椎体,椎管旁螺钉 10° 、 15° 误差范围内的钉道长度与侧块螺钉的钉道长度相比,差异均有统计学意义(P 均 <0.05),但是

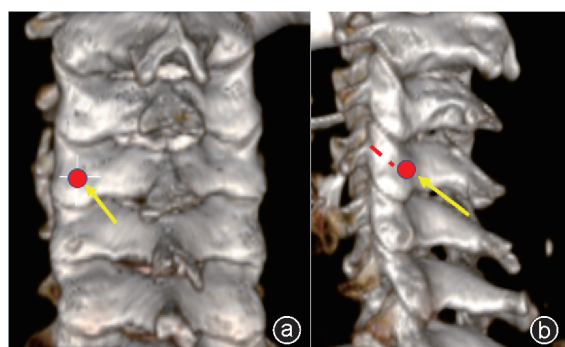


图3 下颈椎侧块螺钉三维轨迹示意图

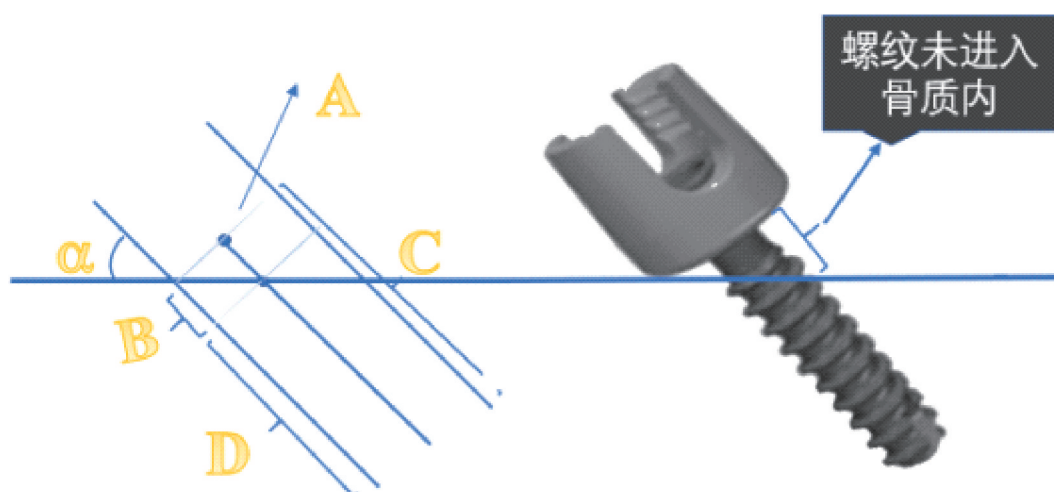


图5 侧块螺钉有效钉道长度测量示意图,图中所示A为侧块螺钉直径3.5 mm, α 为螺钉进钉角度45°,B为螺钉无效长度,经几何计算可得为1.75 mm,C为螺钉测量长度,D为实际有效钉道长度, $D=C-B$

与侧块螺钉的有效钉道长度是接近的(表1)。

讨 论

侧块螺钉技术是临床常用的颈椎内固定技术之一,具有置钉简单、安全及血管神经损伤风险小等优点,可有效提高病人的功能预后^[15-17]。但对于骨质疏松的病人,其固定强度稍弱,且由于置钉时呈角度进钉容易造成侧块皮质骨劈裂,可能会导致置钉失败,进而造成严重的相关并发症^[3,18-19]。

椎管旁螺钉固定为近年来新研发的内固定方式,该螺钉直径较粗大且长度短,其置钉轨迹可与椎弓根螺钉大致相同,理论上是一种不错的内固定选择。椎管旁螺钉可取关节突外侧中点为进钉点,沿着椎弓根螺钉置钉方向将其置入椎弓根入口区域处,而在冠状面上和矢状面上分别沿着椎弓根方向及椎体上终板平行方向将螺钉置入。此外,椎管旁螺钉进钉点的可变性更利于原始固定失败后的补救。一般而言,单皮质螺钉固定强度弱于双皮质螺钉固定,但 Muffoletto 等^[20]研究发现足够长度的单皮质螺钉固定可达到与双皮质螺钉固定同样的稳定

性,而 Montesano 等^[21]研究发现侧块螺钉固定强度的关键在于其有效螺钉长度。本研究测得椎管旁螺钉长度与侧块螺钉的有效长度接近,Maki 等^[9]的生物力学实验测得椎管旁螺钉固定的初始生物力学强度强于侧块螺钉固定,而作为侧块螺钉置钉失败后的备选方案时仍可等同侧块螺钉初始固定强度。故而作者认为长度适宜且直径粗大的椎管旁螺钉单皮质螺钉固定能够达到双皮质螺钉固定的生物力学强度,是有足够的生物力学稳定性的。此外,椎管旁螺钉置钉轨迹可等同椎弓根螺钉,且长度有限,操作空间相对较大,因而该方法是合理的。而鉴于其螺钉短粗,难以损伤血管神经,因此理论上更为安全^[8-9]。

颈椎椎弓根内毗邻脊髓、硬膜囊,外相接于横突孔,横突孔中走行的是椎动脉,其上下切迹围成椎间孔,而脊神经根从其上下跨越^[22-24]。故颈椎椎弓根螺钉置钉操作中都可能损伤到颈神经根、椎动脉以及硬膜囊,因而手术风险高、并发症多^[22,25]。但椎管旁螺钉没有完全置入颈椎椎弓根内,而是进入椎弓根入口区域,其毗邻椎板前壁、横突孔后壁、上下关节突前壁,其主要风险是螺钉误置损伤到椎动脉

表1 C₃~C₆下颈椎椎管旁螺钉与侧块螺钉钉道长度比较($\bar{x} \pm s$, mm)

指标	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
侧块螺钉钉道长度	14.73±1.12	14.59±1.20	14.35±1.15	14.67±1.29
侧块螺钉有效钉道长度	12.97±1.13	12.84±1.21	12.60±1.15	12.92±1.29
椎管旁螺钉钉道长度(-10°~10°)	12.87±1.12 [#]	12.50±1.00 [#]	12.85±1.16 [#]	12.67±1.22 [#]
椎管旁螺钉钉道长度(-15°~15°)	11.63±1.10 [#]	11.32±1.01 [#]	11.99±1.03 [#]	12.08±1.13 [#]

注:与侧块螺钉钉道长度比较,[#] $P < 0.05$

及脊髓硬膜。但作者认为若椎管旁螺钉长度短,就不足以突破椎板前壁及横突孔后壁皮质,而螺钉也不会误入椎管或者横突孔,不会损伤椎动脉及脊髓硬膜,因此从解剖学上来看是安全的。尽管如此,目前尚未明确椎管旁螺钉长度的最大安全值,因而椎管旁螺钉长度的测量对其临床应用有着重要的指导意义。

影像归档和通信系统是临床上常用的医学影像系统,其能将不同影像设备产生的医学影像信息进行采集、存储、管理、传输以及重现,方便临床医生实时调阅影像资料以助于进行精准的影像诊断^[26]。其操作主界面由轴位、矢状位、冠状位以及三维重建图像等子窗口组成(见图1),通过移动窗口中的标记线,即可在相应窗口中显示特定的位置图像,然后选定要测量的进钉钉道即可显示测量值。整个操作简便,测量值比较准确可靠。

本研究应用影像归档和通信系统进行三维测量测得椎管旁螺钉的安全钉道长度明显短于侧块螺钉钉道长度,但却与侧块螺钉的有效钉道长度相接近,故从影像学研究角度而言,其稳定性应与侧块螺钉相接近,具有临床应用的可行性。既往文献报道 Roy-Camille 侧块螺钉钢板中螺钉的长度为 11~16 mm,然而实际有效长度却为 6~11 mm^[27],但其同样能良好地恢复颈椎稳定性。而本研究中椎管旁螺钉测量长度与报道的侧块螺钉有效长度基本吻合,故而笔者认为其能获得较好的固定效果。应用 PACS 系统进行三维测量,辨析度高,可操作性强,结果相对准确可靠,可以更直观地为临床医生在术中提供参考。本研究中椎管旁螺钉进钉范围是根据临床经验所设定,但螺钉的止点位置可直接影响其螺钉长度,故其抗拔出也是存在差异的。本研究主要测量两个误差范围内椎管旁螺钉的安全长度即最短钉道长度,为其以后进一步临床置钉提供指导。关于不同止点的螺钉抗拔出强度的具体差异有待于国内生物力学实验的进一步测定。此外, Kim 等^[28]在解剖研究中发现颈椎椎管后侧壁和椎弓根内侧壁皮质骨均较横突孔壁和椎弓根小梁区更强,这可能意味着螺钉误入椎管的风险要小于其误入横突孔的风险,其可影响螺钉的轨迹。这同样也给椎管旁螺钉临床应用提供了解剖学参考。

本研究局限之处主要包括以下几点:①本研究对象均来自东北地区,多中心、多区域的大样本研究更具有可靠性;②本研究测量过程中测量方法、测量路径等均由测量者主观判断,主观性较大,易受到测

量及个体差异等因素影响,可能存在一定误差;③本研究对象均为外伤或退变病人,皆需手术治疗,不能排除退变增生等因素对测量的影响;④本研究为影像学测量分析研究,未有进一步的生物力学测定研究,其实际临床指导价值尚待于进一步证实。

本研究结果表明下颈椎椎管旁螺钉具有等同于侧块螺钉有效长度的安全固定长度,并且其技术理念正确,固定方式合理。从影像学角度来看,椎管旁螺钉是一种可行的内固定技术。其可成为侧块螺钉之外的另一种选择,但其临床应用有待进一步相关临床研究。

参 考 文 献

- [1] Abumi K. Cervical spondylotic myelopathy: posterior decompression and pedicle screw fixation[J]. Eur Spine J, 2015, 24 (Suppl 2): 186-196.
- [2] Rehman L, Bukhari I, Afzal A, et al. Lateral mass screw fixation in cervical spine injury[J]. Pak J Med Sci, 2017, 33(6): 1355-1359.
- [3] Yoshihara H, Passias PG, Errico TJ. Screw-related complications in the sub-axial cervical spine with the use of lateral mass versus cervical pedicle screws: a systematic review [J]. J Neurosurg Spine, 2013, 19(5): 614-623.
- [4] Kothe R, Rütther W, Schneider E, et al. Biomechanical analysis of transpedicular screw fixation in the sub-axial cervical spine [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(17): 1869-1875.
- [5] Ito Z, Higashino K, Kato S, et al. Pedicle screws can be 4 times stronger than lateral mass screws for insertion in the mid-cervical spine: a biomechanical study on strength of fixation [J]. J Spinal Disord Tech, 2014, 27(2): 80-85.
- [6] Kurd MF, Millhouse PW, Schroeder GD, et al. Lateral mass fixation in the sub-axial cervical spine [J]. J Spinal Disord Tech, 2015, 28(7): 259-263.
- [7] Heller JG, Estes BT, Zaouali M, et al. Biomechanical study of screws in the lateral masses: variables affecting pull-out resistance [J]. J Bone Joint Surg Am, 1996, 78(9): 1315-1321.
- [8] Aramomi M, Ishikawa T, Maki S. Paravertebral foramen screw fixation for posterior cervical spine surgery [J]. J Spine Res, 2014, 5: 549.
- [9] Maki S, Aramomi M, Matsuura Y, et al. Paravertebral foramen screw fixation for posterior cervical spine fusion: biomechanical study and description of a novel technique [J]. J Neurosurg Spine, 2017, 27(4): 415-420.
- [10] Chapman JR, Harrington RM, Lee KM, et al. Factors affecting the pullout strength of cancellous bone screws [J]. J Biomech Eng, 1996, 118(3): 391-398.
- [11] Smith LGF, Hoang N, Shaikhouni A, et al. Sublaminar polyester bands as a salvage fixation method in the cervical spine: novel application in two patients [J]. J Neurosurg Spine, 2019, 1: 1-5.
- [12] Kim MK, Cho HJ, Kwak DS. A new anatomical approach of cervical lateral mass for cervical pedicle screw and paravertebral foramen screw insertion [J]. PLoS One, 2019, 14(7): e0219119.
- [13] Xu R, Ebraheim NA, Nadaud MC, et al. The location of the cervical nerve root on the posterior aspect of the cervical spine [J]. Spine, 1995, 16: 56-65.

- [14] Schroeder GD, Kepler CK, McKenzie JC, et al. Dimensions of the sub-axial lateral mass: a systematic review of anatomic (morphometric) measurement studies [J]. *Clin Spine Surg*, 2019, 32(6): 237-253.
- [15] Kim HS, Suk KS, Moon SH, et al. Safety evaluation of free hand lateral mass screw fixation in the sub-axial cervical spine: evaluation of 1 256 screws [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2015, 40(1): 2-5.
- [16] Al Barbarawi MM, Allouh MZ. Cervical lateral mass screw-rod fixation: surgical experience with 2 500 consecutive screws, an analytical review, and long-term outcomes [J]. *Br J Neurosurg*, 2015, 29(5): 699-704.
- [17] Hamdan ARK, Mahmoud RN, Al Mamoun MM, et al. Effect of sub-axial cervical lateral mass screw fixation on functional outcome in patients with cervical spondylotic myelopathy [J]. *Asian J Neurosurg*, 2019, 14(1): 140-147.
- [18] Amhaz-Escanlar S, Jorge-Mora A, Jorge-Mora T, et al. Proposal for a new trajectory for subaxial cervical lateral mass screws [J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(11): 2738-2744.
- [19] Katonis P, Papadakis SA, Galanakos S, et al. Lateral mass screw complications: analysis of 1 662 screws [J]. *J Spinal Disord Tech*, 2011, 24(7): 415-420.
- [20] Muffoletto AJ, Yang J, Vadhva M, et al. Cervical stability with lateral mass plating: unicortical versus bicortical screw purchase [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2003, 28(8): 778-781.
- [21] Montesano PX, Jauch E, Jonsson H Jr. Anatomic and biomechanical study of posterior cervical spine plate arthrodesis: an evaluation of two different techniques of screw placement [J]. *J Spinal Disord*, 1992, 5(3): 301-305.
- [22] Xu RM, Kang A, Ebraheim NA, et al. Anatomic relation between the cervical pedicle and the adjacent neural structures [J]. *Spine*, 1999, 24: 451-454.
- [23] Westermann L, Spemes C, Eysel P, et al. Computer tomography-based morphometric analysis of the cervical spine pedicles C3-C7 [J]. *Acta Neurochir (Wien)*, 2018, 160(4): 863-871.
- [24] Munusamy T, Thien A, Anthony MG, et al. Computed tomographic morphometric analysis of cervical pedicles in a multi-ethnic Asian population and relevance to sub-axial cervical pedicle screw fixation [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(1): 120-126.
- [25] Yukawa Y, Kato F, Ito K, et al. Placement and complications of cervical pedicle screws in 144 cervical trauma patients using pedicle axis view techniques by fluoroscope [J]. *Eur Spine J*, 2009, 18(9): 1293-1299.
- [26] Jorwekar GJ, Dandekar KN, Baviskar PK. Picture Archiving and Communication System (PACS): Clinician's perspective about filmless imaging [J]. *Indian J Surg*, 2015, 77(Suppl 3): 774-777.
- [27] 谢宁, 李家顺, 贾连顺. 颈椎侧块螺钉钢板的研制及应用进展 [J]. *中国骨与关节损伤杂志*, 2000, 15(1): 75-77.
- [28] Kim MK, Cho HJ, Kwak DS, et al. Characteristics of regional bone quality in cervical vertebrae considering BMD: determining a safe trajectory for cervical pedicle screw fixation [J]. *J Orthop Res*, 2018, 36(1): 217-223.

(收稿日期: 2019-12-20)

(本文编辑:陈姗姗)