

寰椎椎弓根螺钉固定的解剖学基础及置钉技术

Anatomical basis and technology of atlas pedicle screw fixation

移 平, 谭明生

(中日友好医院脊柱外科 100029 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.01.17

中图分类号: R687.3 文献标识码: C 文章编号: 1004-406X(2017)-01-0089-06

近年来,随着外科学技术的长足进步,对寰枢椎脱位治疗的相关研究不断深入,寰枢椎后路内固定技术也不断改进,早期有 Gallie、Brooks-Jenkins 等钢丝内固定法、Apofix 椎板夹固定等;1987 年 Magerl 等^[1]提出了寰枢椎后路经关节螺钉内固定技术;1994 年 Goel 等^[2]提出寰椎侧块螺钉内固定技术。固定的生物力学稳定性和植骨融合率不断提高。但也存在一些缺点,如均需处理寰枢椎侧块关节后方的静脉丛方可显露进钉点,容易造成出血、神经根损伤等。2002 年谭明生等^[3,4]提出了经寰椎后弓侧块螺钉内固定技术,即寰椎“椎弓根”螺钉固定技术,进钉点位于后弓的背侧,由于其牢靠的三维固定效果、良好的生物力学稳定性、置钉点易于显露、对周围组织损伤小、安全性高等优点,已成为治疗寰枢椎脱位的主要手术方式^[5]。但由于寰椎解剖结构特殊且变异性大,毗邻重要神

经血管组织,安全置钉是其难点,必须个性化制定置钉方案,才能避免出现椎动脉损伤等严重并发症。因此,对寰椎椎弓根螺钉置钉技术应全面认识,以降低手术并发症发生率。

1 寰椎椎弓根螺钉固定的解剖学基础

1.1 寰椎的解剖结构及周围血管神经组织

寰椎呈不规则环形,由前弓、后弓及两侧的侧块和横突构成。前弓较短,长 $19.7 \pm 2.98\text{mm}$,连接两侧侧块;后弓上下扁平,长 $51.32 \pm 4.24\text{mm}$ 。后弓下面近侧块处有一浅切迹,与枢椎椎弓根上缘的浅沟形成椎间孔,第 2 颈神经由此通过。后弓上方与侧块连接处有一深沟,称为椎动脉沟,该处可形成沟环,出现率为 $(10.71 \pm 2.61)\%$ 。寰椎椎动脉沟宽 $5.7 \pm 0.48\text{mm}$,其内侧缘至寰椎后结节中点(即半距)右侧为 $20.10 \pm 0.47\text{mm}$ ($15.10 \sim 26.62\text{mm}$),左侧为 $19.00 \pm 0.82\text{mm}$ ($12.44 \sim 23.84\text{mm}$),其上方两侧是椎动脉沟,椎动脉沟底部最薄,椎动脉通过横突孔经此穿过硬膜进入枕骨大孔。侧块呈内薄外

第一作者简介:男(1969-),医学硕士,主任医师,研究方向:脊柱外科

电话:(010)84205485 E-mail:13811758985@139.com

- 管网状细胞瘤手术中的应用[J]. 中国医学装备, 2014, 11(6): 65-68.
11. 薛湛, 赫淑煜, 杨俊, 等. 吡啶菁绿术中荧光造影在脊髓血管母细胞瘤手术中的应用[J]. 中华神经外科杂志, 2014, 30(7): 667-670.
 12. Hojo M, Arakawa Y, Funaki T, et al. Usefulness of tumor blood flow imaging by intraoperative indocyanine green videoangiography in hemangioblastoma surgery [J]. World Neurosurg, 2014, 82(3-4): e495-501.
 13. Tamura Y, Hirota Y, Miyata S, et al. The use of intraoperative near-infrared indocyanine green videoangiography in the microscopic resection of hemangioblastomas [J]. Acta Neurochir (Wien), 2012, 154(8): 1407-1412.
 14. Takami T, Naito K, Yamagata T, et al. Surgical management of spinal intramedullary tumors: radical and safe strategy for benign tumors[J]. Neurol Med Chir(Tokyo), 2015, 55(4): 317-327.
 15. Fischer G, Oertel J, Perneczky A. Endoscopy in aneurysm surgery[J]. Neurosurgery, 2012, 70(2 Suppl Operative): 184-191.
 16. Hao S, Li D, Ma G, et al. Application of intraoperative indocyanine green videoangiography for resection of spinal cord hemangioblastoma: advantages and limitations[J]. J Clin Neurosci, 2013, 20(9): 1269-1275.
- (收稿日期: 2016-11-30 修回日期: 2017-01-04)
(本文编辑 彭向峰)

厚的楔形,每个侧块有上下两关节面,上关节面与枕髁相关节,下关节面与枢椎的上关节面相关节。侧块的內面伸出一个结节,寰椎横韧带附着于此,该韧带将椎孔分为大小不等的两部分,前方较小容纳齿状突,后方容纳脊髓及被膜。侧方的横突孔内走行有椎动静脉。

根据椎动脉四段分法,寰椎侧方横突孔内走行有椎动脉,属于 C1、2 之间的上升部,在暴露寰枢椎后部时应注意,不能向两侧分离太多,以免损伤此段椎动脉;后弓上方椎动脉沟内有椎动脉 V3 段和 C1 神经根通过,是 C2 横突孔至枕骨大孔间的一段,椎动脉与 C1 神经根相邻,两者均由静脉丛包绕,形成动脉-神经-静脉复合体,有一定的活动度,术中骨膜下剥离后可向上轻微牵拉,暴露寰椎后弓,提高置钉成功率并减少椎动脉损伤。后弓下缘的寰枢侧块关节后方有丰富的静脉窦,静脉窦包绕 C2 神经根,形成静脉窦-神经复合体(VNC),术中显露寰枢椎侧块关节时可能会损伤该处静脉丛而造成止血困难。

1.2 寰椎椎弓根螺钉固定的定义

在解剖学上椎弓根是指连接椎体和椎弓的部分,但寰椎解剖独特,没有椎体、椎板及棘突,只由侧块、前弓及后弓组成,因此并不存在解剖学上的椎弓根。谭明生等^[9]认为,侧块与后弓连接处即椎动脉沟在结构上和力学上类似于其他脊椎的椎弓根,椎动脉沟处的后弓可以看作是寰椎的“椎弓根”,将寰椎侧块等同于椎体,从而设计出寰椎椎弓根螺钉固定技术。有学者^[6]提出寰椎侧块与后弓的连接部分稍缩窄,也叫峡部,也可称为寰椎“椎弓根”。但不管是哪一种界定,寰椎椎弓根螺钉固定技术均指经寰椎后弓和后弓峡部(即椎弓根部)至寰椎侧块内的固定技术。

寰椎椎弓根螺钉经后弓至侧块,由于椎动脉沟底部后弓的骨质最薄,上方有椎动脉走行,下方有 C2 神经节及神经后根通过,若后弓的高度小于 4mm,则直径 3.5mm 螺钉可能造成椎动脉或神经根的损伤。谭明生等^[9]测量了 50 例成人干燥寰椎骨标本,发现寰椎椎动脉沟底部后弓高度左侧为 $4.58 \pm 0.65\text{mm}$,右侧为 $4.72 \pm 0.68\text{mm}$,其中有 4 例(8%)的椎动脉沟底部后弓高度小于 4.0mm。陈前芬等^[7]测量寰椎后弓最薄处的高度为 $4.60 \pm 1.11\text{mm}$,其中 31.3% 小于 4mm,14.2% 小于 3.5mm。Gebauer 等^[8]用 CT 对 41 例寰椎骨标本进

行扫描并测量分析,结果为椎动脉沟底部后弓高度男性为 $4.6 \pm 0.9\text{mm}$,女性为 $4.1 \pm 0.8\text{mm}$,其中有 8 例(19.5%)的高度小于 3.5mm,13 例(31.57%)小于 4.0mm。以上结果表明经寰椎后弓行椎弓根螺钉固定是可行的。但有学者^[9]认为,为了防止损伤血管神经,进钉点处即椎动脉沟处后弓高度 < 4mm 者禁用寰椎椎弓根螺钉,导致很多儿童和女性患者不能应用寰椎椎弓根置钉技术。为解决这个问题,谭明生等^[10]提出了“椎弓根显露置钉法”,使绝大部分患者可以使用椎弓根螺钉固定技术。但术前通过影像学对椎动脉沟底部后弓高度进行测量评估有着十分重要的意义。

Harms 等^[11]发现术中在显露寰枢关节后方时容易出现较难控制的静脉丛出血。采用经寰椎后弓的椎弓根螺钉固定可避免分离该部位静脉丛,从而减少出血及神经根损伤。此外颈内动脉位于寰椎侧块的前侧方,部分患者可能紧贴寰椎侧块的前缘,而寰椎双皮质侧块螺钉的出钉点,可能造成颈内动脉损伤等严重并发症。

2 寰椎椎弓根螺钉固定的适应证和禁忌证

适应证^[12]包括:(1)各种原因引起的寰枢椎脱位或不稳,有脊髓神经功能障碍者;或者虽无脊髓神经功能障碍,但持续颈部疼痛不减轻、有交感神经症状(如头晕、视物不清、睁眼无力、胸前憋闷而心电图正常等)者;或者寰齿前间隙(ADI) $\geq 5\text{mm}$ 或非手术治疗中发现 ADI 增加者;对于不可修复的寰枢椎脱位,预料日后将出现慢性脊髓病症状者。(2)先天性齿状突不连,寰椎后弓缺损以及寰枢椎前后方的稳定性均破坏者。(3)寰椎横韧带断裂、陈旧性齿状突骨折、寰椎骨折脱位(侧块分离 $> 6.9\text{mm}$)、枢椎肿瘤、类风湿性关节炎、寰枢椎后路减压术后和上颈椎先天畸形所致的寰枢椎脱位等。

肿瘤、结核、炎症或类风湿造成寰椎侧块破坏、寰椎侧块严重骨折以及先天发育畸形,解剖结构异常、寰椎后弓破坏无法置钉者是手术的绝对禁忌证。有学者认为寰椎后弓高度小于 4mm 也是椎弓根螺钉的禁忌证,目前由于技术改进,大部分此类患者已经可以使用。

3 寰椎椎弓根螺钉固定的置钉技术

3.1 术前准备及寰椎后弓的显露

术前均常规进行张口位、颈椎正侧位、左右斜位、过伸过屈位 X 线检查和三维 CT 扫描,明确寰枢椎失稳情况,观察其他畸形情况并测量寰椎后弓的高度和宽度、后弓的轴线与水平面和矢状面的夹角、钉道长度等参数,个性化设计进钉点、进钉方向及选择适当的螺钉。MRI 可以发现脊髓的受压部位及程度,决定是否需要减压及松解。

手术时全身麻醉,对严重寰枢椎不稳或脊髓受压较重的患者建议使用纤维支气管镜进行气管插管,防止插管时过伸位损伤脊髓,术中应使用脊髓神经电生理监测。颅骨牵引架固定头部,颈部轻度屈曲位。后正中切口,充分显露寰椎后弓及枢椎椎板,沿后弓后下方紧贴骨膜显露寰椎后弓至旁开中线 20mm 范围,显露进钉位置。

3.2 进钉点及进钉方向的确定

进钉点及进钉方向是椎弓根螺钉固定技术的两个主要参数。谭明生等^[3]提出由于寰椎椎动脉沟下方椎弓骨面平坦,变异较小,可以作为进钉点选择的参考标志。根据术前 X 线片及三维 CT 的测量结果,置钉点约在中线旁开 18~20mm、后弓下缘上方 2mm 处,置钉方向为内倾 5°~10°、头倾 5°左右。确定后用手锥钻孔,置入定位导针,透视确定进钉方向及位置良好后,按导针的方向用扩孔锥扩孔,根据情况选择适当的螺钉置入。

Resnick 等^[13,14]以枢椎峡部作为解剖定位标志,进钉点选择为枢椎峡部中心线和后弓上下缘交线的中点处,内倾角 10°进钉,以避免损伤椎动脉。马向阳等^[9]认为寰椎椎动脉沟底部后弓外 1/3 处高度大于内 1/3 高度,所以在寰枢椎无旋转脱位的情况下进钉点为枢椎侧块中心线与后弓上缘交点下方 3mm,进钉方向为内倾 10°、头倾 5°。Gebauer 等^[9]认为男性和女性寰椎椎弓根螺钉进钉点分别位于寰椎后弓距后结节 23.6mm、21.6mm 处,男性钉道内倾角约为 7.3°、头倾角约为 3.1°,女性钉道内倾角约 7.9°、头倾角约 2.4°。有学者^[15]利用三维 CT 扫描 100 例上颈椎创伤患者,计算机模拟寰椎置钉过程,高精度度分析以上四种寰椎椎弓根置钉技术,证实谭明生等的置钉技术安全性和可行性最高,92% 的患者能够安全有效地应用该寰椎椎弓根置钉技术。由于寰椎解剖变异性大,个体差异明显,在临床上进钉点应根据术前影像学检查,获取预置入螺钉的椎弓根三维定量解剖数据,包括椎管前后径、椎弓根高度、

宽度、水平夹角等,个体化确定椎弓根螺钉置入方法。

3.3 寰椎椎弓根螺钉置钉技术的改进

寰椎椎动脉沟处后弓的高度相对小,置入螺钉有较大的困难和危险性,尤其是外径高度 < 4mm 者,被认为是不具备置入螺钉的条件^[16],很多儿童和女性患者不能应用寰椎椎弓根螺钉固定技术。2006 年 Lee 等^[17]把进钉点改在寰椎后弓下缘与侧块衔接处。进钉点仍在后弓下缘骨皮质上,但由于骨质高度小于螺钉直径,螺钉将突破部分椎弓根下缘骨皮质,即“notching 技术”。但该方法在显露及置钉过程中仍存在侵扰寰枢间硕大静脉丛和 C1 神经根,潜在神经血管损伤的风险^[16]。

为了改进手术的安全性和增加适应证,使后弓高度小于 4mm 的患者能够应用椎弓根螺钉固定技术,2011 年谭明生等^[10]提出了“寰椎椎弓根显露置钉法”(图 1),术中沿寰椎后弓后下方,切开并紧贴骨膜剥离至旁开中线 20mm,然后用神经剥离子在此处紧贴后弓上、下方骨膜剥离至侧块与后弓的上下方结合部,并用神经剥离子分别于后弓上下方轻柔牵开骨膜,使后弓上方的椎动脉、C1 神经根、静脉丛和后弓下方的静脉窦及 C2 神经根牵离置钉点区域。此时进钉点附近的椎动脉沟、后弓均可良好地显露,可直视寰椎椎弓根,可以方便快捷地确定进钉点及进钉角度。当寰椎后弓高度小于 4mm 时,术中使用磨钻或咬骨钳去除部分动脉沟底最薄处骨质,显露侧块与后弓连接的起始部 3~5mm 部分和椎弓根入口,即真正的进钉点,可在直视下安全置钉。如此适当向头侧牵开椎动脉及下部静脉丛及 C2 神经等组织,置钉完成后再将之放回原位,既为寰椎椎弓根螺钉的置入创造了有利条件,又可以有效降低误伤椎动脉等重要组织的概率。置钉后,螺钉末端可能部分裸露,为防止术后刺激椎动脉,可应用 6×8mm 的自体筋膜放于螺钉末端与椎动脉之间。

3.4 3D 打印导板辅助寰椎椎弓根螺钉置钉

随着 3D 打印技术的发展和 3D 软件的不断研发,越来越多制作精细、设计合理的 3D 打印导板开始应用于辅助脊柱外科置钉,使置钉操作简便,置钉准确率高,为 95.4%~100%^[18,19]。目前,使用较多的脊柱置钉导板是结合逆向工程技术设计的带有双侧导向孔的通道型导板^[18,20],导板两侧含有导向套筒,术中需要充分剥离才能紧密贴附,在

此状态下术者只需沿导向孔钻孔即可获得理想的置钉通道。然而一旦导板与骨性结构贴合不紧密,则会导致置钉误差,而术者又无法在通道型导板的基础上调整进钉方向。为此,姜良海等在通道型导板的基础上进行改良^[21,22],使用逆向工程软件和 3D 打印技术设计出标杆型导板,标杆型导板去除了两侧的导向套筒,增加了两侧的定位孔和导向标杆,定位孔为术前预设的最佳进钉点,导向标杆的方向为平行于预设最佳钉道的方向,导向标杆的位置在定位孔内侧约 10.0mm。术中如果出现进钉方向误差较大,X 线透视验证钉道位置不佳,则可自行调整置钉方向,减少置钉偏差。

术前行颈椎 CT 三维重建,将 CT 扫描图像导入 3D 图像生成及编辑软件,重建寰枢椎三维模型(图 2a)。在 Med CAD 模块中,以直径为 3.0mm 的圆柱体模拟椎弓根螺钉,沿平行于椎弓根的方向模拟寰枢椎椎弓根置钉,并在 3D 界面(横断面、矢状面、冠状面)对钉道进行细致调整,确保钉道不突破椎弓根骨皮质而侵入椎管和椎动脉孔(图 2b、c)。最终生成带有定位孔和导向标杆的寰枢椎椎弓根置钉导板(图 2d)。将标杆型导板文件输入 3D 打印机打印出寰枢椎椎弓根置钉导板(2e)。

术中充分显露寰椎后弓及枢椎棘突、椎板和

侧块。将消毒后的标杆型导板紧密贴附于寰椎后弓及枢椎椎板、棘突,定位孔的位置即为最佳进钉点,导向标杆的方向即为最佳进钉方向。使用手钻以平行于标杆的方向钻探椎弓根钉道。透视证实钉道良好后置入椎弓根螺钉。术中需要注意:(1)必须充分剥离软组织,使导板与椎体后方骨质紧密贴合。(2)在钉道钻探过程中,如果导板出现松动,可能引导钻探方向出现偏差。(3)导板置钉不适于严重骨质增生、肿瘤转移骨质破坏等造成骨表面原有解剖形态丢失的椎体节段。在椎体重建和导板制作过程中,如果患者寰枢椎的解剖变异,如椎动脉沟桥、寰椎后弓部分缺如、寰枕融合等,可针对解剖变异设计钉道,规避风险,提高手术成功率。此外,标杆型导板可调整置钉方向,如果透视发现因软组织剥离不充分等造成的钉道不佳时,术者可在导板标杆引导基础上结合徒手置钉经验微调钻探方向,获取满意钉道。

4 寰枢椎弓根螺钉内固定技术的并发症及处理

寰枢手术技术要求较高、风险较大,虽然椎弓根螺钉固定技术较其他手术风险较小,但必须在严格掌握手术适应证,术前个性化准备分析,熟悉解剖,术中由经验丰富的医生细致操作,以减少手术并发症^[12]。

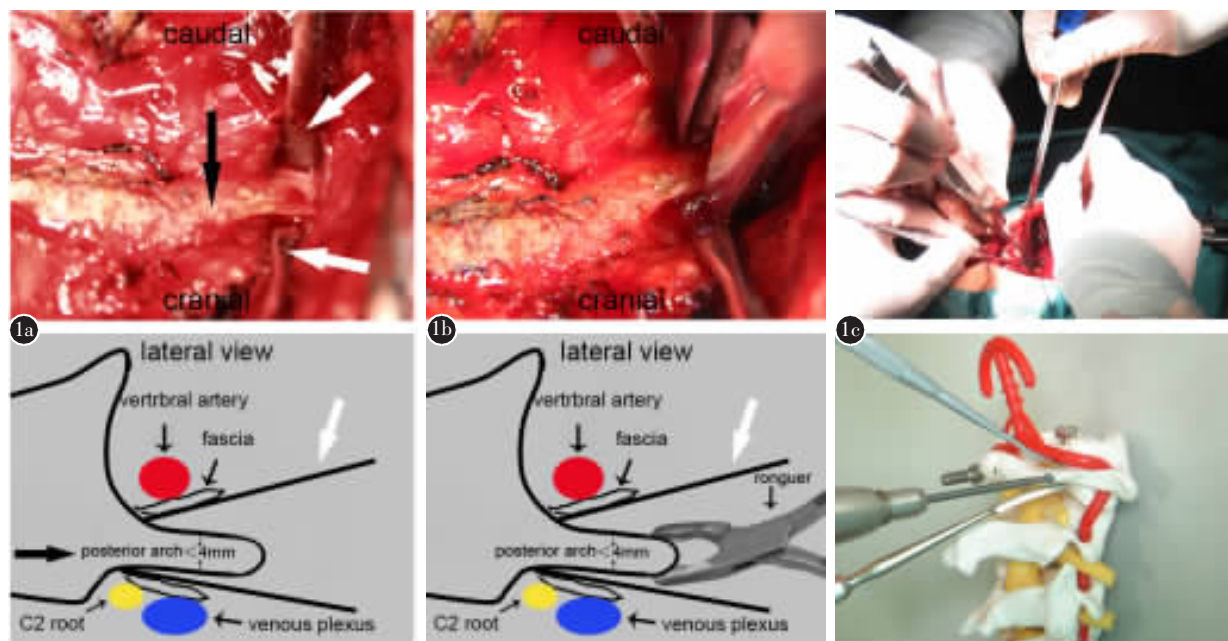


图 1 寰枢椎弓根显露置钉法 a 剥离后弓上、下方骨膜至侧块与后弓结合部,牵开骨膜,将后弓上下方的神经血管牵离置钉点区域 b 寰枢后弓高度小于 4mm 时,术中去除部分动脉沟底最薄处骨质,显露侧块与后弓连接的起始部和椎弓根入口,确定进钉点 c 牵开椎动脉、静脉窦及神经根

4.1 术中并发症

4.1.1 脊髓损伤 手术摆放体位、术中粗暴操作、内固定误入椎管等均可造成脊髓损伤, 可导致四肢瘫、呼吸功能衰竭、呼吸机依赖等严重后果。术中最好采用体感诱发电位监测, 手术操作时应轻柔, 要准、稳、熟练。如果术中体感诱发电位出现异常改变, 则必须停止手术, 待异常波形恢复正常后再行操作。术后予地塞米松、甘露醇、高压氧以及营养神经药物。对于严重的脊髓损伤, 立即应用大剂量甲基强的松龙冲击治疗。

4.1.2 血管损伤 损伤椎动脉及静脉丛, 导致大出血或脑梗塞, 甚至死亡。寰椎后弓向两侧剥离时, 如果超过 1.5~2.0cm 安全范围, 或者螺钉置钉方向错误则有可能伤及椎动脉, 术中可见减压部位出血凶猛, 呈喷射状, 患者血压、脉搏可受影响。发生医源性椎动脉撕裂损伤后, 应立即采用局部填塞、压迫等控制出血, 将患者头部恢复到中立位, 以免影响对侧椎动脉的血供。或停止继续手术, 或改变手术方案; 螺钉孔内出血时, 立即将螺钉拧入。快速补充血容量, 有条件者在局部填塞控制出血后行椎动脉修补或结扎。

4.1.3 脑脊液漏 主要由分离有粘连硬膜造成, 术中不要强行分离粘连的硬脊膜和仔细操作是预

防关键, 术中可早期修复, 术后持续脑脊液渗漏, 可应用腰部蛛网膜下腔脑脊液分流。

4.2 术后并发症

4.2.1 伤口及全身感染 感染的危险因素包括未遵守手术无菌技术、营养不良、肥胖、糖尿病、激素治疗、免疫抑制、年龄过大以及术前住院时间过长等。术前、术中、术后常规应用抗生素; 术后保持引流通畅, 手术入路周围应无潜在感染源等。一旦感染, 应局部行病灶清创、引流, 应用抗生素, 必要时取出内固定。

4.2.2 内固定松动、疲劳断裂以及移位 进钉点或方向不准确而反复调整钉道, 强行安放钢板导致螺钉应力增加、植骨不融合、骨质疏松、外固定不佳等是主要原因, 必须按规范置钉、植骨确切, 对严重骨质疏松患者慎用内固定。

4.2.3 植骨不融合 植骨床准备不佳、采用人工骨或异体骨植骨、固定不确实及骨质疏松、营养不良等因素导致, 术后 X 线检查植骨块和椎体之间可见透明线存在、植骨块吸收、拟融合的相邻椎体之间无连续的骨小梁桥接。术中制作良好的植骨床、使用自体骨植骨、坚强的内固定是预防植骨不融合的关键。如证实有假关节形成, 应重新手术。此外, 术后并发症还有头颈旋转功能受限、再

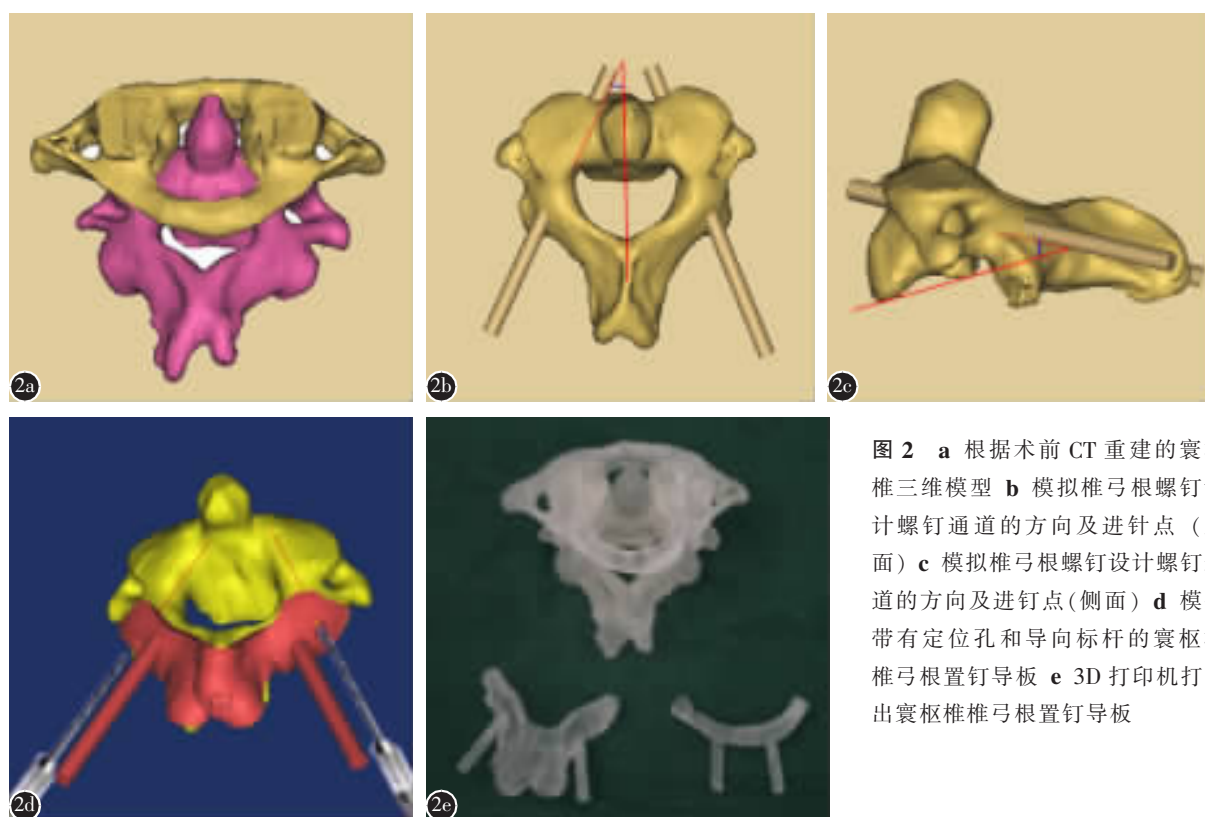


图 2 a 根据术前 CT 重建的寰枢椎三维模型 b 模拟椎弓根螺钉设计螺钉通道的方向及进针点 (上面) c 模拟椎弓根螺钉设计螺钉通道的方向及进针点 (侧面) d 模拟带有定位孔和导向标杆的寰枢椎椎弓根置钉导板 e 3D 打印机打印出寰枢椎椎弓根置钉导板

脱位等。

寰椎椎弓根螺钉固定技术具有可靠的三维稳定性、短节段固定、术中解剖复位等优点,与传统内固定技术比较难度较低、出血较少、椎动脉损伤风险低。随着对寰椎椎弓根的解剖学特点的认识不断提高,寰椎椎弓根螺钉固定的临床应用不断扩大。然而,寰椎椎弓根螺钉固定手术技术要求高,风险大,术者必须熟悉寰椎解剖结构,具有丰富的上颈椎手术经验,以免手术意外的发生。

5 参考文献

1. Magel F, Seman PS. Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation. In: Kehr P, Weidner A, eds. Cervical Spine[M]. New York: Springer-Verlag, 1987. 322-327.
2. Goel A, Laheri V. Plate and screw fixation for atlantoaxial subluxation[J]. Acta Neurochir(Wien), 1994, 129(1-2): 47-53.
3. 谭明生, 张光铂, 李子荣, 等. 寰椎测量及其经后弓侧块螺钉固定通道的研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2002, 12(1): 5-8.
4. Tan M, Wang H, Wang Y, et al. Morphometric evaluation of screw fixation in atlas via posterior arch and lateral mass[J]. Spine, 2003, 28(5): 888-895.
5. 谭明生, 李显, 董亮, 等. 对我国近 20 年来寰椎脱位外科治疗文献的统计分析[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2013, 23(5): 399-404.
6. 马向阳, 尹庆水, 吴增晖, 等. 中上颈椎侧块与寰椎椎弓根位置关系的解剖研究[J]. 中华外科杂志, 2005, 43(12): 774-776.
7. 陈前芬, 金大地, 肖增明, 等. 寰椎椎弓根螺钉技术的应用解剖研究[J]. 广西医科大学学报, 2009, 26(3): 365-368.
8. Gebauer M, Barvencik F, Briem D, et al. Evaluation of anatomic landmarks and safe zones for screw placement in the atlas via the posterior arch[J]. Eur Spine J, 2010, 19(1): 85-90.
9. Ma XY, Yin QS, Wu ZH, et al. Anatomic considerations for the pedicle screw placement in the first cervical vertebra[J]. Spine, 2005, 30(13): 1519-1523.
10. 谭明生, 唐向盛, 移平, 等. 寰椎椎弓根显露置钉法的临床应用[J]. 脊柱外科杂志, 2011, 9(3): 148-152.
11. Harms J, Melcher RP. Posterior C1-C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation[J]. Spine, 2001, 26(22): 2467-2471.
12. 谭明生主编. 上颈椎外科学[M]. 北京: 人民卫生出版社, 2010. 160-161.
13. Resnick DK, Benzel EC. C1-C2 pedicle screw fixation with rigid cantilever beam construct: case report and technical note [J]. Neurosurg, 2002, 50(2): 426-428.
14. Resnick DK, Lapsiwala S, Trost GR. Anatomic suitability of the C1-C2 complex for pedicle screw fixation [J]. Spine, 2002, 27(14): 1494-1498.
15. James M, Lin MD, John A, et al. C1 lateral mass screw placement via the posterior arch: a technique comparison and anatomic analysis[J]. Spine J, 2013, 13(11): 1549-1555.
16. Pan J, Li L, Qian L, et al. C1 lateral mass screw insertion with protection of C1-C2 venous sinus: technical note and review of the literature[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2010, 35(21): E1133-1136.
17. Lee MJ, Cassinelli E, Riew KD. The feasibility of inserting atlas lateral mass screws via the posterior arch[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2006, 31(24): 2798-2801.
18. Kawaguchi Y, Nakano M, Yasuda T, et al. Development of a new technique for pedicle screw and Magerl screw insertion using a 3-dimensional image guide [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(23): 1983-1988.
19. Hu Y, Yuan ZS, Kepler CK, et al. Deviation analysis of atlantoaxial pedicle screws Assisted by a drill template [J]. Orthopedics, 2014, 37(5): E420-427.
20. Hu Y, Yuan ZS, Spiker WR, et al. Deviation analysis of C2 translaminar screw placement assisted by a novel rapid prototyping drill template: a cadaveric study [J]. Eur Spine J, 2013, 22(12): 2770-2776.
21. 姜良海, 谭明生, 杨峰, 等. 标杆型 3D 打印导板辅助颈椎椎弓根置钉的临床应用[J]. 中华骨科杂志, 2016, 36(5): 257-264.
22. 姜良海, 谭明生, 董亮, 等. 标杆型 3D 打印导板辅助寰椎椎弓根置钉准确度分析[J]. 脊柱外科杂志, 2016, 14(4): 205-210.

(收稿日期: 2016-11-08 末次修回日期: 2016-12-30)

(本文编辑 卢庆霞)