

后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术的可行性和安全性研究

周树一¹, 许楠健¹, 王扬¹, 施凯日¹, 赵旭晨², 华鹏程², 马维虎¹

(1. 宁波市第六医院, 浙江 宁波 315040; 2. 宁波大学医学院, 浙江 宁波 315211)

摘要 目的:探讨后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术的可行性与安全性。**方法:**收集 12 具包含完整上颈椎骨性结构的新鲜冰冻尸体头颅标本, 直视下将直径 2.0 mm 的克氏针经寰枕关节-枕骨髁-斜坡植入标本后, 拍摄 X 线片并测量克氏针钉道头倾角、内倾角; CT 扫描标本, 重点观察克氏针是否经过寰枕关节, 是否在斜坡内, 是否穿破寰椎内侧壁及枕骨髁内外侧壁, 是否侵入舌下神经管、椎动脉孔、蝶窦; 解剖标本, 重点观察寰椎侧块、枕骨髁内外侧骨质有无破损, 克氏针是否侵入舌下神经管、是否突破斜坡两侧及上部的骨质; 拔出克氏针, 用电子游标卡尺测量克氏针进入骨组织的部分即钉道长度。**结果:**12 具标本的克氏针钉道内倾角 $20.29^\circ \pm 3.10^\circ$, 钉道头倾角 $53.51^\circ \pm 4.61^\circ$, 钉道长度 (52.03 ± 1.02) mm; 左、右侧钉道内倾角、头倾角及长度比较, 差异均无统计学意义 [$20.23^\circ \pm 3.35^\circ$, $20.34^\circ \pm 2.98^\circ$, $t = -0.523$, $P = 0.611$; $53.45^\circ \pm 4.64^\circ$, $53.57^\circ \pm 4.79^\circ$, $t = -0.496$, $P = 0.630$; (51.93 ± 1.15) mm, (52.12 ± 0.92) mm, $t = -1.161$, $P = 0.270$]。CT 扫描结果显示, 克氏针均经过寰枕关节且均在斜坡骨质内, 均未穿破寰椎内侧壁及枕骨髁内外侧壁, 均未侵入舌下神经管、椎动脉孔、蝶窦。标本解剖后观察结果显示, 寰椎侧块、枕骨髁内外侧骨质均无破损, 克氏针均未侵入舌下神经管、均未突破斜坡两侧及上部的骨质。**结论:**后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术在解剖学和影像学上具有可行性和安全性, 可作为后路枕颈融合术的补充。

关键词 脊柱融合术; 寰枕关节; 枕骨; 解剖学; 影像学检查; 可行性研究; 安全性研究

Feasibility and safety of posterior atlantooccipital joint – occipital condyle – clivus screw fixation

ZHOU Shuyi¹, XU Nanjian¹, WANG Yang¹, SHI Kairi¹, ZHAO Xuchen², HUA Pengcheng², MA Weihu¹

1. Ningbo No. 6 Hospital, Ningbo 315040, Zhejiang, China;

2. School of Medicine, Ningbo University, Ningbo 315211, Zhejiang, China

ABSTRACT Objective: To investigate the feasibility and safety of posterior atlantooccipital joint – occipital condyle – clivus screw fixation. **Methods:** Twelve fresh frozen cadaveric skull specimens containing complete upper cervical spine were collected. Under direct vision, 2.0 mm diameter Kirschner wires were implanted into the specimens through the atlantooccipital joint – occipital condyle – clivus, followed by X – ray imaging and the measurement of head tilting and leaning angle of the Kirschner wire trajectory. CT scan was performed to observe whether Kirschner wires passed through the atlantooccipital joint, whether they were in the clivus, whether they broke the medial wall of the atlas and the lateral wall of the occipital condyle, and whether they invaded the hypoglossal canal, vertebral foramina, and sphenoid sinus. The specimens were dissected to primarily observe whether the lateral atlas and the medial and lateral bones of the occipital condyle were damaged, whether Kirschner wires invaded the hypoglossal canal, and whether Kirschner wires broke through the bones on both sides and upper part of the clivus. The Kirschner wires were withdrawn and an electronic caliper was employed to measure the distance of Kirschner wire trajectory in the bone tissues. **Results:** The leaning angle and head tilting angle of the Kirschner wire trajectory of the 12 specimens were $20.29^\circ \pm 3.10^\circ$ and $53.51^\circ \pm 4.61^\circ$, and the distance of trajectory was (52.03 ± 1.02) mm. There was no significant difference in the leaning angle and head tilting angle, as well as distance of left and right trajectories ($20.23^\circ \pm 3.35^\circ$ vs $20.34^\circ \pm 2.98^\circ$, $t = -0.523$, $P = 0.611$; $53.45^\circ \pm 4.64^\circ$ vs $53.57^\circ \pm 4.79^\circ$, $t = -0.496$, $P = 0.630$; 51.93 ± 1.15 vs 52.12 ± 0.92 mm, $t = -1.161$, $P = 0.270$). As revealed by CT scan, all Kirschner wires passed through the atlantooccipital joint and were in the clivus, without penetrating the medial wall of the atlas and the lateral wall of the occipital condyle, and without invading the hypoglossal canal, vertebral foramina, and sphenoid sinus. The anatomical results of the specimens showed that lateral atlas and the medial and lateral bones of the occipital condyle were not damaged, and

基金项目: 浙江省医药卫生科技计划项目 (2020391275); 宁波市科技计划项目 (202003N4299); 宁波市鄞州区农业与社会发展科技项目 (2020AS0074)

通讯作者: 马维虎 E-mail: weihu_ma@163.com

Kirschner wires did not invade the hypoglossal canal or break through the bones on both sides and the upper part of the clivus. **Conclusion:** The posterior atlantooccipital joint – occipital condyle – clivus screw fixation technique is feasible and safe in anatomy and imaging, and can be used as a supplement to posterior occipitocervical fusion.

Keywords spinal fusion; atlanto – occipital joint; occipital bone; anatomy; imaging examination; feasibility studies; safety studies

枕颈融合术是治疗由先天畸形、退行性变、炎症、肿瘤和外伤等引起的枕颈不稳的最有效方法^[1-6]。目前,后正中入路枕颈融合术在临床上被广泛应用,该入路较为安全且减压充分。然而,颅脊交界区活动度较大、剪切力较集中,减压后骨性结构的破坏又会加重枕颈部的不稳。因此,如何对枕颈交界区进行一期坚强内固定,是脊柱外科手术的难点。枕颈部固定分为颈椎侧和枕骨侧。颈椎侧置钉技术多样,包括寰椎侧块或椎弓根螺钉技术以及枢椎椎弓根螺钉、峡部螺钉、椎板螺钉、棘突螺钉和 Magerl 螺钉技术^[7-12]。但是,枕骨侧置钉可选锚定点很少,目前临床上应用最为广泛的是枕骨板钉棒固定技术。该技术相对成熟,但术中可能会导致硬膜外血肿、神经系统损伤等严重并发症^[13],而且对于部分涉及上颈椎前中柱骨缺损的患者,仍需行前路重建支撑术^[14]。研究^[15-19]证明,经寰枕关节螺钉固定和后路枕骨髁螺钉固定安全有效,但对枕骨能否进行坚强固定仍需进一步研究。目前,尚未见将枕骨侧斜坡作为枕颈融合术锚定点的报道。鉴于此,我们提出了后路经寰枕关节 – 枕骨髁 – 斜坡置钉技术。本文拟通过对后路经寰枕关节 – 枕骨髁 – 斜坡植入克氏针后的成人尸体头颅标本的解剖学和影像学研究,探讨后路经寰枕关节 – 枕骨髁 – 斜坡置钉技术的可行性和安全性,现报告如下。

1 材料与仪器

1.1 实验标本 12 具包含完整上颈椎(枕寰枢复合体)结构的新鲜冰冻成人尸体头颅标本,标本的性别、出生地区及种族均不详,由宁波大学医学院解剖教研室提供。标本经 CT 扫描,排除存在上颈椎骨折、脱位、先天畸形、肿瘤、退行性变及既往有上颈椎手术病史。本研究方案经医院医学伦理委员会审查通过。

1.2 实验仪器 骨科电钻和摆锯(上海博进医疗器械有限公司),直径 2.0 mm 的克氏针(美国史赛克公司),64 排螺旋 CT 和 X 线摄片机(飞利浦医疗系统荷兰有限公司),电子游标卡尺(南京苏测计量仪器有限公司,精确度 0.01 mm)。

2 方法

2.1 标本制备方法 将所有解冻的标本中立位俯卧置于手术操作台上[图 1(1)]。所有标本取枕颈部标准后正中切口,从枕外隆突至 C₂ 或 C₃ 棘突水平,沿枕颈部后正中线切开皮肤、皮下筋膜及项韧带,于枕下和棘突旁行骨膜下钝性分离,将肌肉组织向两侧牵开,暴露寰椎后弓,继续行骨膜下分离组织,直至显露椎动脉水平段。待显露枕骨、寰椎和枢椎后,用刮匙从枕骨大孔侧面将寰枕后膜剥离至枕骨髁后方的中间位置,再切除克氏针进针点(寰椎后弓与侧块下关节突之间区域的中心点)周围的软组织,以确定骨性标志,注意操作过程中保留重要的神经血管,以便后期直接观察[图 1(2)]。

2.2 克氏针植入方法 标本制备完成后,行后路经寰枕关节 – 枕骨髁 – 斜坡螺钉固定术。手术操作由一位熟悉上颈椎后路各种内固定技术的脊柱外科医生独立完成,以减少技术操作层面的偏差和提高各项测量数据的准确性。以寰椎后弓与寰椎侧块下关节突之间区域的中点为进针点,于直视下用电钻将直径 2.0 mm 的克氏针打穿寰椎侧块,继续进针穿过枕骨髁直至斜坡内,注意克氏针植入深度以未突破斜坡上部的蝶窦为准(图 2)。

2.3 钉道相关参数测量方法 在植入克氏针后的标本 X 线片上测量克氏针钉道头倾角与内倾角。在标本侧位 X 线片上,寰椎前结节与后结节的连线与钉道所形成的夹角为钉道头倾角[图 3(1)];在标本颅顶至颅底拍摄的 X 线片上,寰椎前结节与后结节的连线与钉道所形成的夹角为钉道内倾角[图 3(2)]。实验最后,拔出克氏针,用电子游标卡尺测量克氏针进入骨组织的部分即为钉道长度。

2.4 安全性验证方法

2.4.1 影像学验证 CT 扫描植入克氏针后的标本,沿克氏针长轴重建标本上颈椎的矢状位和横断位图像,重点观察克氏针是否经过寰枕关节,是否在斜坡内,是否穿破寰椎内侧壁及枕骨髁内外侧壁,是否侵入舌下神经管、椎动脉孔、蝶窦(图 4)。

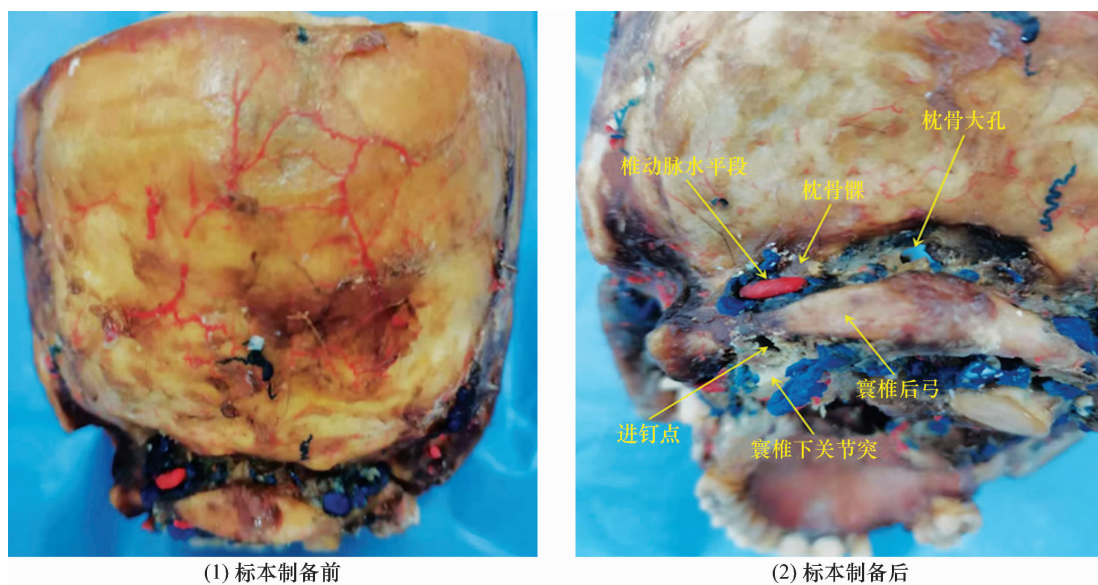


图 1 标本外观图

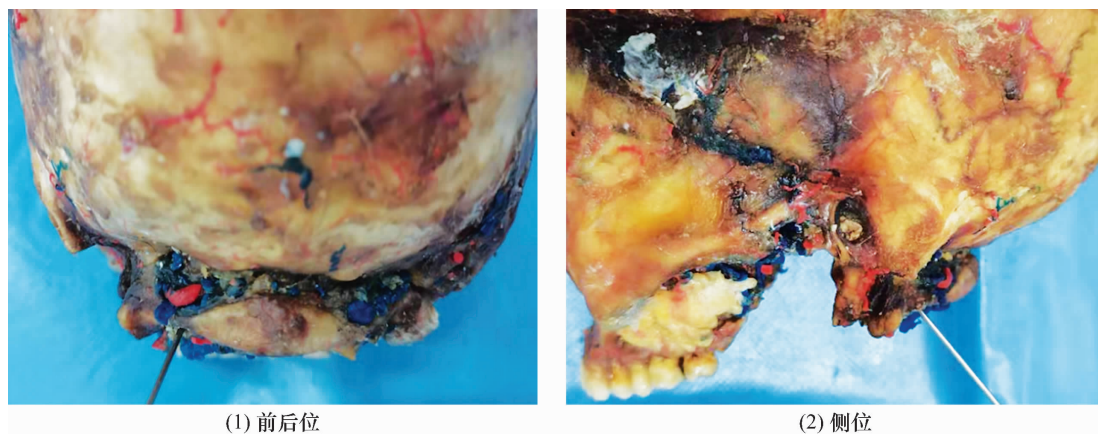


图 2 克氏针植入标本后外观图

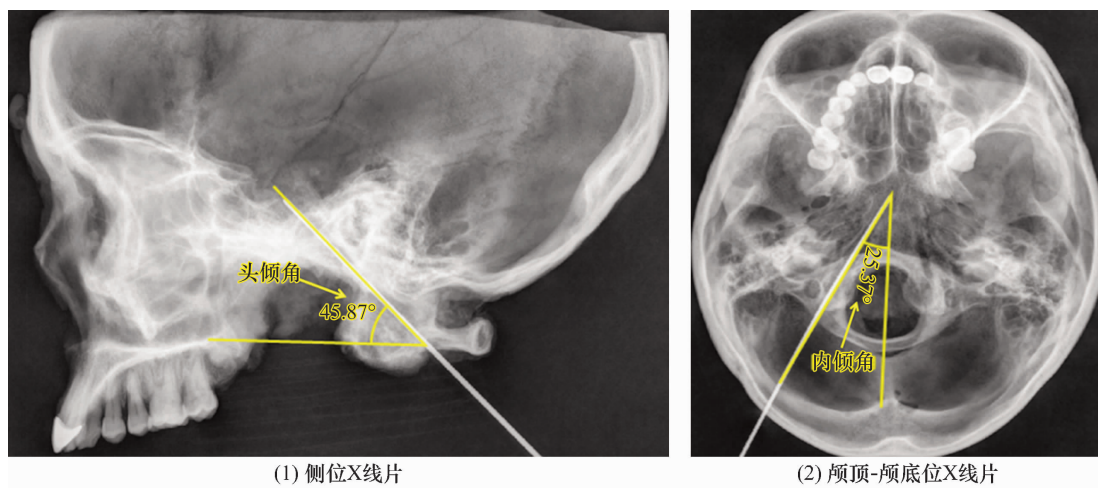


图 3 标本钉道头倾角与内倾角测量示意图

2.4.2 解剖学验证 用骨科摆锯水平锯去标本颅骨顶部,并沿克氏针植入的轨迹纵形剖开骨性结构,重点观察寰椎侧块、枕骨髁内外侧骨质有无破损,克氏针是否侵入舌下神经管、是否突破斜坡两侧及上部的骨质(图 5)。

2.5 数据统计方法 采用 SPSS23.0 统计软件对所得数据进行统计学分析,左、右侧的克氏针钉道内倾角、头倾角及长度比较均采用 t 检验。检验水准 $\alpha = 0.05$ 。

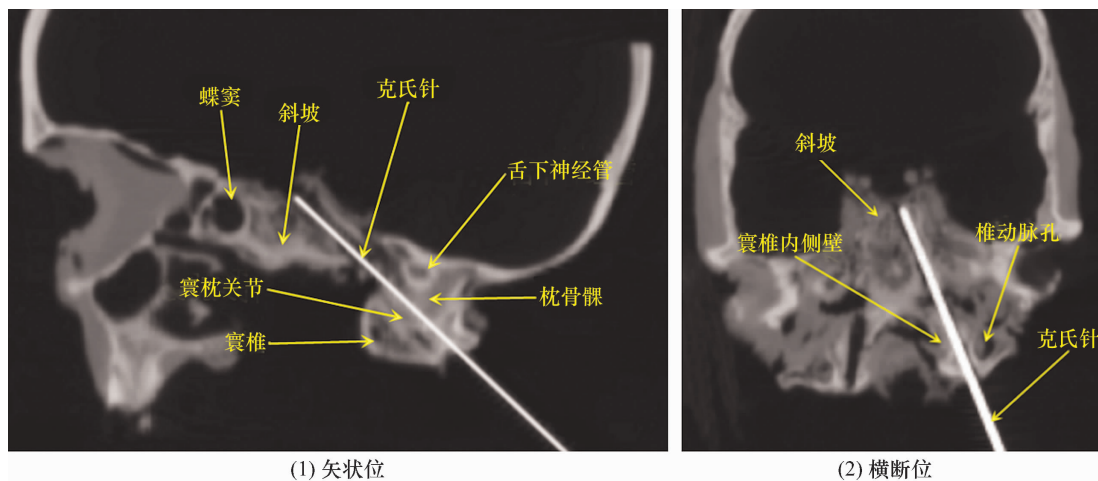


图 4 植入克氏针后的标本 CT 片

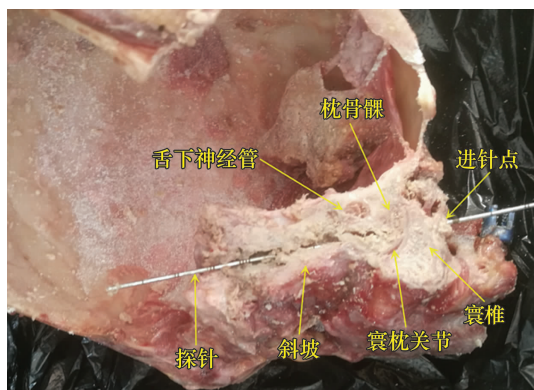


图 5 标本剖开后钉道图片

3 结果

12 具标本的克氏针钉道内倾角 $20.29^\circ \pm 3.10^\circ$, 钉道头倾角 $53.51^\circ \pm 4.61^\circ$, 钉道长度 (52.03 ± 1.02) mm; 左、右侧钉道内倾角、头倾角及长度比较, 差异均无统计学意义(表 1)。CT 扫描结果显示, 克氏针均经过寰枕关节且均在斜坡骨质内, 均未穿破寰椎内侧壁及枕骨髁内外侧壁, 均未侵入舌下神经管、椎动脉孔、蝶窦。标本解剖后观察结果显示, 寰椎侧块、枕骨髁内外侧骨质均无破损, 克氏针均未侵入舌下神经管、均未突破斜坡两侧及上部的骨质。

4 讨论

1927 年由 Foerster 首次报道了枕颈自体腓骨移植融合术, 此后该技术取得了显著进展。枕颈融合术具体的手术方式很多, 各有其优缺点。钢丝捆绑固定植骨在枕颈融合术中取得了一定的疗效^[3]; 但是, 该项技术易造成上颈椎重要的神经、血管、脊髓、脑干等损伤, 并有移植骨断裂的风险, 不作为治疗枕颈不稳的首选手术方式。金属棒加钢丝捆绑植骨在枕颈融合术也取得了较好的效果, 但术中操作风险较大、术后并发症较多, 逐渐淡出了人们的视野。Grob^[4] 提

出, 理想的枕颈融合术应具备以下特征: ①恢复枕颈部正常解剖关系; ②固定牢靠, 能提供持久的生物力学稳定性; ③必须避免内固定器械或植入物进入椎管或颅内, 将神经损伤的风险降至最低; ④颈部固定的节段尽可能短, 只固定不稳定节段, 如寰枕关节不稳只融合寰枕关节即可。根据 Gorb 的观点, 枕骨侧锚定点应选择枕骨鳞部和枕骨髁部。枕骨板钉棒系统是目前主流的后路枕颈融合手术方式, 但是枕骨鳞部骨质厚度因人而异, 且枕部固定时对骨质厚度有苛刻要求, 否则容易出现枕骨螺钉脱出。另外, 枕骨鳞部内板区域血管网丰富, 手术时易发生硬脑膜和静脉窦损伤。此后, 有学者选择枕骨髁部作为枕颈融合术枕骨侧的锚定点^[16-19]。在某些特殊情况下, 枕颈融合无法用枕骨板钉棒系统进行固定时(如枕骨缺失、枕骨鳞部骨质薄弱疏松等), 选择枕骨髁部作为锚定点的内固定技术, 在一定程度上提供了更多置钉可能性和安全性, 但也固有其操作风险, 需谨慎选择。

后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术是在后路枕骨髁螺钉技术和后路经寰枕关节螺钉技术的基础上发展而来的。本研究团队前期已经完成后路枕骨髁螺钉固定的解剖学、影像学、生物力学和有限元分析研究, 其中解剖学研究初步探讨了国人后路枕骨髁螺钉固定的最佳钉道参数, 发现国人枕骨髁适用于直径 4.0 mm 的螺钉进行置钉^[16]。研究发现, 在选择枕骨髁背侧进钉点时, 下方进钉点较上方进钉点拥有更高的置钉成功率和安全性, 螺钉进钉点水平方向参数显著影响螺钉钉道长度^[17]。为避免损伤枕骨髁上方的舌下神经管(内有舌下神经、咽升动脉的脑膜分支和舌下神经管静脉丛), 可调整螺钉和舌下神经

表 1 后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术的钉道相关参数

| 侧别 | 样本量/具 | 钉道相关参数 | | |
|------------|-------|----------------------------------|----------------------------------|------------------------------------|
| | | 钉道内倾角/ $(\bar{x} \pm s, ^\circ)$ | 钉道头倾角/ $(\bar{x} \pm s, ^\circ)$ | 钉道长度/ $(\bar{x} \pm s, \text{mm})$ |
| 左侧 | 12 | 20.23 \pm 3.35 | 53.45 \pm 4.64 | 51.93 \pm 1.15 |
| 右侧 | 12 | 20.34 \pm 2.98 | 53.57 \pm 4.79 | 52.12 \pm 0.92 |
| <i>t</i> 值 | | -0.523 | -0.496 | -1.161 |
| <i>P</i> 值 | | 0.611 | 0.630 | 0.270 |

管的相对位置,将进钉点从枕骨髁下移至寰椎后弓与寰椎侧块下关节突之间区域的中心点,这样能增大进钉点与舌下神经管及椎动脉水平段的距离,可以较好地避开舌下神经管。下移进钉点既能防止损伤舌下神经管,也能避开椎动脉水平段,可增加置钉成功率。斜坡由蝶骨和枕骨的基底部组成,正常成人的斜坡长度约为 4.5 cm,其中枕骨基底部长约 3.1 cm;斜坡在枕骨大孔水平,中线处厚度为 4 mm,两侧厚度为 10 mm,而且越往垂体窝走行,其厚度逐渐增加,可达 22 mm,两侧有约 10 mm 的骨性安全带。吴玉学等^[20]通过对人体斜坡区断层解剖及三维重建研究后,明确了斜坡周边的各重要解剖结构,上斜坡前方为垂体、双侧为三叉神经和外展神经、中下斜坡前方为鼻咽部和咽后组织、两侧下方为面听神经和舌下神经、后方为脑桥延髓等高级生命中枢,且枕骨大孔毗邻寰枕关节,内有高位脊髓。因此,植入克氏针或螺钉时,应沿斜坡骨性通道走行,这样能避免损伤周围重要结构。本团队前期对后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术进行了数字化解剖学研究^[21],设计长度 50 mm、直径 3.5 mm 的虚拟螺钉,对 46 例志愿者上颈椎进行数字化三维重建,并对重建模型双侧进行虚拟置钉,结果显示各螺钉均未损伤钉道周围重要结构。本研究结果也显示,植入的克氏针全部包埋在骨质内,未突破蝶窦,也未损伤舌下神经管、椎动脉水平段,其安全性值得肯定。本团队通过对后路枕骨髁螺钉内固定系统的生物力学研究发现,后路枕骨髁螺钉技术可以满足正常枕颈融合内固定的要求^[18],而后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术的钉道更长,且为三皮质固定,更能满足内固定的稳定性。马维虎等^[19]的研究结果显示,经寰枕关节螺钉(融合寰椎与枕骨髁)内固定治疗上颈椎不稳,虽然钉道长度较短,但是仍然表现出了与传统枕骨钢板螺钉内固定技术相似的生物力学性能,而增加了螺钉在枕骨髁及斜坡中的长度,更能增加内固定把持力和稳定性。本团队通过对经关节斜坡螺钉内固定技术的生物力学研究,发现该内固定模型可有效减小颅脊交界区在伸

屈、侧弯及旋转上的活动范围,具有可靠的稳定性^[22]。此外,相对于枕骨钉板内固定,该技术减少了软组织剥离,降低了医源性损伤的发生率,还可以与枕骨钉板系统联合应用,增加枕颈融合术后的持久稳定性。

本研究提出的后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术,可视为一种新型的后路枕颈融合内固定技术,能满足 Grob^[4]提出的理想枕颈融合术应具备的条件。该手术方式与传统枕颈融合方式具有相同的适应证^[21]:①外伤性寰枢关节脱位及骨折,且不可整复;②各种原因导致的寰枕关节骨折脱位;③寰枢关节脱位伴脊髓压迫,需要后路寰椎后弓及部分枕骨大孔后缘切除减压。该技术尤其适用于以下情况:①各种原因导致枕骨大孔后缘、寰枢椎后部结构缺如或薄弱;②传统枕颈融合手术失败需要翻修;③单纯的寰枕关节脱位。但是,并非所有需枕颈融合固定的患者均能采用该手术。对于寰椎侧块、枕骨髁和斜坡的先天发育畸形,或合并先天寰枕融合、寰枕关节破坏的患者,应视为手术禁忌证。

本研究只是初步探讨了后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术的钉道参数,然而上颈椎存在解剖上的个性化差异,甚至变异,因此该技术应用于临床时,按照本研究所测量的钉道长度和置钉角度并不能保证完全安全。今后还需进一步明确置钉的安全范围,以及置钉内倾角和头倾角的调节范围,以此提高该手术的安全性。相信,随着 3D 打印技术、显微镜辅助技术、计算机导航技术及机器人辅助置钉技术^[23-25]的发展,后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术的安全置钉率可大大提高。

本研究结果显示,后路经寰枕关节-枕骨髁-斜坡置钉技术在解剖学和影像学上具有可行性和安全性,可作为后路枕颈融合术的补充。

参考文献

- [1] BHIMANI A D, CHIU R G, ESFAHANI D R, et al. C₁-C₂ fusion versus occipito-cervical fusion for high cervical fractures: a multi-institutional database analysis and review of the literature[J]. World Neurosurg, 2018, 119: e459-e466.

- [2] KINOSHITA H, MIYAKOSHI N, KOBAYASHI T, et al. A case report of revision occipital – cervical fusion after atlanto-axial instrumentation failure for neurofibromatosis type I[J]. BMC Surg, 2019, 19(1): 44.
- [3] VENDER J R, REKITO A J, HARRISON S J, et al. The evolution of posterior cervical and occipitocervical fusion and instrumentation[J]. Neurosurg Focus, 2004, 16(1): E9.
- [4] GROB D. Posterior occipitocervical fusion in rheumatoid arthritis and other instabilities[J]. J Orthop Sci, 2000, 5(1): 82 – 87.
- [5] LAVANO A, GUZZI G, STROSCIO C A, et al. Occipitocervical fusion[J]. Acta Neurochir Suppl, 2019, 125: 243 – 245.
- [6] 周树一, 李豪杰, 王扬, 等. 上颈椎后路内固定技术的研究进展[J]. 中医正骨, 2020, 32(11): 24 – 28.
- [7] BURTSEV A V, SERGEENKO O M, GUBIN A V. An alternative way of C1 screwing: supralaminar C1 lateral mass screws[J]. J Craniovertebr Junction Spine, 2021, 12(2): 191 – 196.
- [8] 王扬, 李豪杰, 周树一, 等. 寰椎椎弓根螺钉联合经寰枢关节螺钉内固定稳定性的生物力学研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(12): 1129 – 1135.
- [9] 吴超, 邓佳燕, 谭伦, 等. 逐级扩大型 3D 打印导板系统辅助寰枢椎椎弓根植钉准确性分析及临床应用[J]. 中国修复重建外科杂志, 2019, 33(2): 212 – 218.
- [10] LEE Y M, LU A Y, OH T, et al. C2 translaminar screw fixation in pediatric occipitocervical fusion[J]. Childs Nerv Syst, 2022, 38(6): 1125 – 1135.
- [11] NAGATA K, BABA S, CHIKUDA H, et al. Use of C2 spinous process screw for posterior cervical fixation as substitute for laminar screw in a patient with thin laminae[J/OL]. BMJ Case Rep, 2013, 2013: bcr2013009889 [2022 – 03 – 12]. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23814004/>.
- [12] 马生辉, 冯煜, 管江衡, 等. 齿状突切除术后前路与后路 C1 ~ C2 经关节螺钉内固定的生物力学分析[J]. 中国临床神经外科杂志, 2020, 25(10): 696 – 700.
- [13] IZEKI M, NEO M, FUJIBAYASHI S, et al. Utility of the analysis of intracranial venous sinuses using preoperative computed tomography venography for safe occipital screw insertion[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2013, 38(18): E1149 – 1155.
- [14] SUCHOMEL P, BUCHVALD P, BARSA P, et al. Single – stage total C – 2 intralesional spondylectomy for chordoma with three – column reconstruction. Technical note[J]. J Neurosurg Spine, 2007, 6(6): 611 – 618.
- [15] 严望军, 周许辉, 张咏, 等. 后路经寰枢关节螺钉内固定的解剖学研究[J]. 中华骨科杂志, 2006, 26(1): 35 – 38.
- [16] 李国庆, 马维虎, 孙韶华, 等. 后路枕骨髁螺钉通道的影像解剖学研究[J]. 中华创伤杂志, 2015, 31(3): 273 – 277.
- [17] 王扬, 马维虎, 李国庆, 等. 后路枕骨髁螺钉置钉参数对安全性的影响[J]. 中华骨科杂志, 2017, 37(10): 587 – 594.
- [18] 程杭清, 马维虎, 王扬, 等. 后路枕骨髁螺钉内固定系统的生物力学研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2018, 28(1): 73 – 78.
- [19] 马维虎, 王扬, 娄桢祺, 等. 枕骨髁螺钉治疗上颈椎不稳的有限元分析[J]. 中华创伤杂志, 2018, 34(4): 305 – 311.
- [20] 吴玉学, 吕青, 于龙广, 等. 人体斜坡区断层解剖及三维重建研究[J]. 局解手术学杂志, 2018, 27(2): 79 – 82.
- [21] 周树一, 许楠健, 李豪杰, 等. 后路寰枢关节 – 枕骨髁 – 斜坡置钉技术的数字化解剖学研究[J]. 中华医学杂志, 2021, 101(25): 1973 – 1977.
- [22] 李豪杰, 马维虎, 彭宇杰, 等. 经关节斜坡螺钉内固定技术的生物力学研究[J]. 中华骨科杂志, 2021, 41(16): 1100 – 1107.
- [23] 高坤, 余正红, 邵佳, 等. 颅颈交界不稳定 3D 打印导向器辅助枕颈融合术[J]. 中国矫形外科杂志, 2021, 29(21): 1978 – 1981.
- [24] 马维虎. 上颈椎骨折手术技术的选择与应用[J]. 中华创伤杂志, 2019, 35(11): 966 – 969.
- [25] 董瑞一, 朱仕文, 苏永刚. TiRobot 辅助骨折手术的应用进展[J]. 中华创伤骨科杂志, 2022, 24(2): 179 – 184.

(收稿日期: 2022-05-26 本文编辑: 时红磊)

(上接第 7 页)

- [20] 刘颖, 纪超, 吴伟康. 附子多糖对缺氧/复氧乳鼠心肌细胞的保护机制[J]. 中国现代应用药学, 2012, 29(4): 281 – 284.
- [21] HUANG L W, HUANG T C, HU Y C, et al. Zinc protects chondrocytes from monosodium iodoacetate – induced damage by enhancing ATP and mitophagy[J]. Biochem Biophys Res Commun, 2020, 521(1): 50 – 56.
- [22] ZUO H, LIN T, WANG D, et al. Neural cell apoptosis induced by microwave exposure through mitochondria – dependent caspase – 3 pathway[J]. Int J Med Sci, 2014, 11(5): 426 – 435.
- [23] SONG X, HU W, YU H, et al. Existence of circulating mitochondria in human and animal peripheral blood[J]. Int J Mol Sci, 2020, 21(6): 2122.

(收稿日期: 2022-03-13 本文编辑: 李晓乐)