

· 综 述 ·

## 上颈椎后路内固定技术的研究进展

周树一<sup>1</sup>, 李豪杰<sup>1</sup>, 王扬<sup>2</sup>, 徐顶立<sup>1</sup>, 施凯日<sup>1</sup>, 彭宇杰<sup>1</sup>, 马维虎<sup>2</sup>

(1. 宁波大学医学院, 浙江 宁波 315020; 2. 宁波市第六医院, 浙江 宁波 315040)

**摘 要** 上颈椎有复杂的解剖结构和重要的生理功能, 是神经外科和脊柱外科手术的高危领域。随着技术的进步和内固定材料的更新, 上颈椎内固定技术也在不断发展。临床常用的上颈椎内固定技术分为前路和后路两大类, 两者疗效相当, 但后路操作较前路简单、相对安全。为进一步了解上颈椎后路内固定技术的研究进展, 笔者从枕骨侧后路内固定技术、寰椎后路内固定技术、枢椎后路内固定技术、寰枕融合内固定技术、寰枢融合内固定技术等几个方面做一综述。

**关键词** 寰枕关节; 颈寰椎; 枢椎; 外科手术; 综述

颈椎是头颅承重的重要部位, 通过颈椎各个节段相互的耦合作用, 人体才能流畅地完成颈部前屈、后伸、左右旋转以及左右侧弯等动作。上颈椎由枕骨和寰椎、枢椎组成, 向上承接颅脑, 向下与其他颈椎节段相连。先天性发育畸形或发育不良、创伤性骨折或脱位、退行性病变、感染、脊柱肿瘤及医源性因素等是导致上颈椎不稳的主要原因。由于解剖结构的复杂性和生理功能的重要性, 上颈椎部位的手术有极高的风险<sup>[1]</sup>。因此, 对于上颈椎内固定, 手术方式的选择要综合病变部位、病因、病变程度及是否合并脊髓损伤、是否压迫神经血管等多种因素而定。临床常用的上颈椎内固定技术可分为前路和后路两大类, 两者的疗效相当, 但后路操作较前路简单、相对安全<sup>[2]</sup>。为进一步了解上颈椎后路内固定技术的研究进展, 笔者从枕骨侧后路内固定技术、寰椎后路内固定技术、枢椎后路内固定技术、寰枕融合内固定技术、寰枢融合内固定技术等几个方面做一综述。

### 1 枕骨侧后路内固定技术

**1.1 枕骨板钉棒系统内固定** 枕骨板钉棒系统内固定是目前主流的枕颈后路内固定方式<sup>[3]</sup>。该术式采用枕骨板和螺钉进行枕骨侧固定, 辅以连接棒连接颈椎以加强固定的稳定性。组合式钉棒系统让枕骨螺钉的固定位置更加灵活, 可在选择颅骨较厚处作为锚点的同时与颈椎螺钉连接; 且大多数枕骨板采用多轴“U”形可调固定头设计以利于连接棒与颈椎万向螺钉的连接, 可调的刚性结构也使短节段固定能保留更

多的运动节段。该术式要求术者能熟练掌握该区域的解剖结构及患者个体的变异情况, 这对枕骨固定时置钉位置的选择, 尤其是避开颅内静脉窦, 有至关重要的作用。另外, 双皮质固定时, 如果发生硬脑膜和静脉窦损伤, 为防止出现空气栓塞, 患者头部须低于右心房水平, 且静脉窦的损伤会导致出血甚至静脉窦血栓形成, 故术前进行全面的 CT 扫描评估有助于手术医生的安全操作。

**1.2 枕骨髁螺钉内固定** 枕骨髁螺钉内固定采用的为多轴螺钉, 不需要连接棒, 避免了应力性断棒的风险, 且这种方法可避免因放置枕骨板造成的肌肉损伤。因此, 枕骨髁螺钉内固定被认为是可替代传统枕骨板钉棒系统进行枕颈固定的安全、有效的方法<sup>[4-5]</sup>。但对于骨质疏松的患者, 需要考虑联合应用枕骨板固定, 以增强固定的稳定性。且术中应注意椎动脉走行的解剖变异, 并注意避免损伤头侧的舌下神经管和外侧的髁导静脉。李国庆等<sup>[6]</sup>在 12 具颈椎部完整的成人尸体标本上进行枕骨髁置钉, 通过 CT 扫描对置钉的安全性进行确认后, 测量了枕骨髁螺钉的相关置钉参数: 钉道长度( $20.8 \pm 2.6$ ) mm, 螺钉内倾角  $37.1^\circ \pm 4.7^\circ$ , 螺钉与颅底切线的夹角  $8.5^\circ \pm 1.7^\circ$ , 枕骨髁螺钉轴线至舌下神经管下缘距离 ( $3.1 \pm 1.1$ ) mm, 进钉点至颅底的垂直距离 ( $4.6 \pm 1.4$ ) mm, 进钉点至枕骨髁内侧缘的水平距离 ( $6.1 \pm 1.5$ ) mm。

### 2 寰椎后路内固定技术

**2.1 寰椎侧块螺钉内固定** 寰椎侧块螺钉内固定有操作简单、置钉方向易控制等优点, 常用于各种原因导致的寰椎椎板或关节突缺如、椎管狭窄等。Kumar 等<sup>[7]</sup>报道了采用后路寰椎侧块螺钉内固定治疗 Jef-

基金项目: 国家自然科学基金项目 (81572217); 浙江省医药卫生科技计划项目 (2020391275)

通讯作者: 马维虎 E-mail: weihu\_ma@163.com

ferson 骨折 1 例,术后患者颈椎活动范围和功能恢复良好。Liu 等<sup>[8]</sup>通过研究认为,在采用枕骨板钉棒系统对上颈椎进行内固定时,增加寰椎侧块螺钉固定不仅可以增强固定的稳定性,还可在颈椎轴向旋转时均匀地分散应力,降低并发枕骨螺钉拔出和连接棒断裂的风险,尤其适用于合并骨质疏松的老年患者。然而由于寰椎解剖位置的特殊性,此术式易造成脊髓、椎动脉、神经根等损伤,因此术前进行 CT 扫描与三维重建尤为重要,必要时可做 MRI 检查。

**2.2 寰椎后弓经椎板螺钉内固定** 寰椎后弓经椎板螺钉内固定一般作为寰椎侧块不能置入螺钉时寰椎后路内固定的备选方案。该术式的手术操作一般是,先打磨后弓骨皮质,充分显露置钉处,然后沿后弓走行仔细开出一条 10 ~ 15 mm 长的钉道,用直径 2.7 mm 的螺钉将取自髂嵴的方形自体髂骨块固定于寰椎后弓残端和去除骨皮质的枢椎棘突之间。Donnellan 等<sup>[9]</sup>建议将该术式所用螺钉的直径改成 3.5 mm,术中在寰椎中线处去掉后弓以充分显露髓腔,并尽可能向外侧置入螺钉,以防止螺钉钉尾的重叠。采用该术式固定上颈椎还应考虑椎动脉解剖变异、后弓近端椎动脉沟处骨质的厚薄等情况,以保障手术安全。

### 3 枢椎后路内固定技术

**3.1 枢椎椎弓根螺钉内固定** 枢椎椎弓根螺钉内固定是枢椎后路内固定的首选术式<sup>[10]</sup>,除了用于治疗一些单纯的枢椎骨折,该术式大多是作为多节段固定的一部分。由于枢椎形态的个体差异较大,枢椎椎弓根螺钉置入的方式较多,因此该术式并没有标准化的置钉方法,置钉时最主要的风险来自于枢椎内椎动脉走行的变异,如发生双侧椎动脉损伤将出现严重后果。王建华等<sup>[11]</sup>根据椎动脉进入椎动脉孔处与椎管的距离、椎动脉球部与枢椎上关节面的距离,将枢椎椎动脉管形态分为 4 型,并认为紧密高拐型是枢椎椎弓根螺钉置入的禁忌。唐晓军等<sup>[12]</sup>对 20 具尸体标本进行枢椎椎弓根螺钉内固定,将枢椎横突后支下缘与下关节突交界处作为进钉的解剖标志,并利用 CT 扫描及三维重建测量置钉相关参数,认为内倾角 30° ~ 35°、头倾角 20° ~ 23°置钉是安全可行的。术中应用导航系统和 3D 导板也可增加枢椎椎弓根螺钉内固定置钉的安全性,降低发生动脉和神经损伤的概率<sup>[13]</sup>。

**3.2 枢椎峡部螺钉内固定** 当枢椎椎弓根的形态影响螺钉安全置入和椎板切除时,枢椎峡部螺钉内固定可作为一种替代措施。该方法置钉轨迹与椎弓根螺钉内固定相似,且更靠近内侧<sup>[14]</sup>。术前根据 CT 影像进行仔细评估确定进钉点及置钉方向,术中在 X 线透视引导下置入螺钉,可保障手术的安全<sup>[15]</sup>。

**3.3 枢椎椎板螺钉内固定** 枢椎椎板体积较寰椎大,为椎板螺钉内固定提供了可能性。椎板螺钉的置钉位置应选在棘突与两侧椎板移行处,椎板双侧交叉置钉,出钉点为下关节突中心点。该术式有创伤小、操作简单、置钉位置远离椎动脉等优点,但枢椎椎板不完整、面积小、合并骨质疏松症则是手术禁忌证。Dorward 等<sup>[16]</sup>研究认为,枢椎椎板螺钉内固定螺钉的抗拔能力与椎弓根螺钉内固定相近,优于枢椎峡部螺钉内固定。但在寰枢韧带断裂的情况下,枢椎椎板螺钉内固定的抗侧弯能力可能不如其他内固定方法,且用于寰枢椎脱位患者的治疗,术后再脱位和再手术的发生率较高<sup>[17]</sup>。故临床上该术式常作为枢椎椎弓根螺钉内固定和峡部螺钉内固定的补充方案。

**3.4 枢椎棘突螺钉内固定** 在颈椎各节段中枢椎棘突体积最大,螺钉可横向、垂直或斜行置入,应用螺钉固定的可操作性强且椎动脉、脊髓损伤的风险小。Liu 等<sup>[18]</sup>报道了 1 例采用枢椎棘突螺钉内固定进行枕颈固定的病例,术后固定稳定,无神经血管并发症和切口感染。枢椎棘突螺钉内固定主要作为枢椎椎弓根变异、椎板异常或椎动脉高跨畸形不能行椎弓根螺钉、椎板螺钉内固定时的替代方法,但棘突缺如、Hangman 骨折并不适用于此术式。此外该术式还有螺钉易置入椎管、螺钉影响植骨面积等缺点<sup>[19]</sup>。

### 4 寰枕融合内固定技术

寰枕融合内固定目前主要有两种方法:经寰枕关节螺钉内固定和枕骨板钉棒系统连接寰椎侧块螺钉内固定。经寰枕关节螺钉内固定的置钉位置一般位于寰椎后弓及侧块下关节突移行处的中点。章允志等<sup>[20]</sup>经过在标本上的模拟,测出经寰枕关节螺钉内固定理想的钉道角度为矢状面上螺钉上倾角  $53.3^{\circ} \pm 3.4^{\circ}$ 、冠状面上螺钉内倾角  $20.0^{\circ} \pm 2.6^{\circ}$ ,理想的钉道长度为  $(29.28 \pm 2.46)$  mm。对于单纯寰枕关节脱位的患者,可采用经寰枕关节螺钉内固定进行治疗,但要警惕引发枕神经痛的风险<sup>[21]</sup>。Maughan 等<sup>[22]</sup>报道了 1 例枕骨大孔撕脱骨折采用枕骨板钉棒系统连接

双侧寰椎侧块螺钉内固定进行寰枕融合的病例,术后未并发神经损伤。Bambakidis 等<sup>[23]</sup>研究发现枕骨板钉棒系统连接寰椎侧块螺钉内固定具有较高的强度。Takigawa 等<sup>[24]</sup>研究发现经寰枕关节螺钉内固定与枕骨髁螺钉连接寰椎侧块螺钉内固定的稳定性相当。寰椎侧块发育畸形或发育不良、缺如,以及肿瘤或炎症导致的寰枕关节破坏和枕骨髁薄弱、缺损、骨质疏松等,应视为寰枕融合内固定的禁忌证。

## 5 寰枢融合内固定技术

**5.1 寰枢椎钢丝内固定** 寰枢椎钢丝内固定很早就被用于上颈椎的固定,常用两种术式是 Gallie 式和 Brooks 式。这两种术式均需要将钢丝穿过椎板下方,易造成脊髓损伤,此外术后还易出现颈椎不稳的情况。随着技术的发展,寰枢椎钢丝内固定的手术方式逐步改良,即在寰枢椎间加压植骨,以提高钢丝固定的稳定性,改善颈椎侧弯和旋转的稳定性问题。但改良后的术式仍不能保证头部平移的稳定性,术后需用固定架固定头颈部,防止颈椎过度活动。因为并发症的发生率较高,寰枢椎钢丝内固定已逐步被淘汰。

**5.2 寰枢椎椎板夹固定** 寰枢椎椎板夹内固定操作较为简单,将椎板夹分别置入寰枢椎后弓及椎板处,确定角度后锁定即可完成手术操作。目前寰枢椎椎板夹内固定的代表性术式主要有 Apofix<sup>[25]</sup>与 Halifix 两种。椎板夹的弹力能防止颈椎过度前屈,且可与 Magerl 技术联用<sup>[26]</sup>,能有效减少寰枢关节脱位,提高颈椎活动的稳定性。但寰枢椎椎板夹内固定的抗旋转作用很小,术后常需要颈部外固定以限制颈椎过度活动。此外,由于椎板夹会挤占颈椎空间,Hangman 骨折、Jefferson 骨折及椎管狭窄或合并骨质疏松症的患者均不适用于该方法。

**5.3 寰枢椎经关节螺钉内固定** 寰枢椎经关节螺钉内固定,1987 年由 Magerl 和 Seeman 首次报道,因此也被称为 Magerl 螺钉固定术。该术式的置钉位置一般选在寰枢椎的关节突或椎弓根处,为增加固定的稳定性还可联合钢丝固定或椎板夹固定。寰枢椎经关节螺钉内固定的适用范围较广,临床上常用于各种原因导致的上颈椎不稳,如果使用万向螺钉头,还可以作为长节段固定的一部分。但该术式置钉时损伤椎动脉的风险较高、置钉困难,对寰枢椎脱位的复位作用有限,还可能出现螺丝错位、滑脱的情况,且对于临床医生来说学习曲线较长。

**5.4 寰椎侧块枢椎椎弓根钉棒系统内固定** 寰椎侧块枢椎椎弓根钉棒系统内固定是将螺钉分别固定于寰椎侧块与枢椎椎弓根,再以连接棒将两者相连,达到寰枢融合的目的。Rajinda 等<sup>[27]</sup>研究发现,对于寰枢关节融合,寰椎侧块枢椎椎弓根钉棒系统内固定与寰枢椎经关节螺钉内固定都是安全有效的方法,但后者手术时间比前者短、出血量比前者少。Chun 等<sup>[28]</sup>对寰枢椎经关节螺钉内固定、寰椎侧块枢椎峡部螺钉内固定、寰椎侧块枢椎经椎板螺钉内固定、寰椎侧块枢椎椎弓根钉棒系统内固定 4 种寰枢椎后路固定方法进行了生物力学研究,发现与前 3 种方法相比,寰椎侧块枢椎椎弓根钉棒系统内固定抗拔能力最稳定。该术式与寰枢椎经关节螺钉内固定相比具有两大优点:一是枢椎椎弓根螺钉置钉更易操作;二是在寰椎脱位或骨折的情况下,可对椎体进行单独处理。Goel-Harms 技术是最常用的寰椎侧块枢椎椎弓根钉棒系统内固定术式,能提供良好的轴性负荷,具有良好的三维稳定性,可维持颈椎旋转、伸展时的稳定。但是 Goel-Harms 技术有价格昂贵、医生的学习曲线陡峭、椎动脉损伤风险高等缺点,且不适用于寰枢椎结构破坏的患者。

**5.5 寰椎侧块枢椎椎板钉棒系统内固定** 寰椎侧块枢椎椎板钉棒系统内固定是用螺钉固定寰椎侧块、椎板螺钉交叉固定枢椎,两者再以连接棒相连。此术式最早由 Wright 提出并应用,故也称为 Wright 术式。相较于 Goel-Harms 技术,此术式避开了椎动脉孔区域,从而大大降低了椎动脉损伤的概率,并且稳定性较好。Gorek 等<sup>[29]</sup>研究发现,Wright 术式与寰椎侧块枢椎椎弓根钉棒系统内固定在稳定性方面无差异。但 Wright 术式对枢椎椎板的完整性要求较高,且由于空间过小不能与 C<sub>3</sub> 相连,故临床上常将其作为椎动脉解剖结构异常不能行 Magerl 螺钉固定术和枢椎椎弓根螺钉内固定时的备选方案。

**5.6 寰椎椎板枢椎短峡部螺钉内固定** 寰椎椎板枢椎短峡部螺钉内固定是指用螺钉分别固定寰椎椎板和枢椎短峡部,两者再以连接棒相连。该术式临床上仅用于因寰椎或枢椎结构异常而不能行其他术式时,是常规手术方式的备选方案,相关报道较少。

**5.7 寰枢椎侧块关节松解联合关节融合器和钉棒系统内固定** 颅底凹陷合并难复性寰枢椎脱位易造成严重后果甚至死亡,后路寰枢椎侧块关节松解是目前

治疗此类疾病有效的方法之一。寰枢椎侧块关节松解联合关节融合器和钉棒系统内固定适用于寰枢关节存在骨性融合、牵引完全无效的寰枢椎脱位。该术式一般先切除部分枕骨大孔下缘,再从后路松解寰枢侧块关节,纠正齿突高度,然后在两侧侧块关节间置入融合器,实现纵向撑开,再置入钉棒系统,并以融合器为支点加压,过伸复位寰椎。对于寰枢椎脱位患者,直接后路复位固定比前路手术简单安全,但同样有并发神经、椎动脉损伤及感染、植骨不愈合等风险。

## 6 其他

**6.1 微创手术** 得益于医疗技术的快速发展,微创上颈椎内固定手术在临床逐渐开展<sup>[30]</sup>。目前的微创上颈椎内固定手术通常在内窥镜辅助下进行,手术视野被放大数倍,局部解剖细节的显示更清晰、明确,如枢椎椎弓根螺钉内固定、寰椎侧块螺钉内固定及寰枢椎经关节螺钉内固定,均可在内窥镜下完成。微创手术与传统切开内固定手术相比,切口小、术后恢复时间短。但由于微创手术要通过器械进行间接操作,难以直观感受手术区域的解剖结构,医生的学习曲线较长。微创手术在上颈椎后路内固定中的应用还有很大提升空间,也是未来发展的一个方向。

**6.2 3D 打印和计算机导航置钉技术** 3D 打印技术是近年来的新兴技术<sup>[31]</sup>,由于有高度个性化的定制特性,大大提高了术中置钉的准确性。3D 打印导板技术已广泛应用于上颈椎乃至全脊柱手术中,其置钉的准确率和安全性均优于传统的徒手置钉<sup>[32]</sup>。但 3D 打印导板技术有不能用于急诊手术、组织剥离多、导板制作时会有误差、高温消毒会导致导板变形等缺点。计算机导航置钉技术也在脊柱外科领域迅速发展,其中 O 形臂三维导航下置钉最精确、便捷,且射线暴露次数少,是目前计算机导航置钉手术的首选<sup>[33]</sup>。但由于该方法操作复杂、医生学习曲线陡峭、价格昂贵,这些因素在一定程度上限制了其在临床的推广应用。随着技术的进步,相信 3D 打印和计算机导航技术在脊柱外科乃至神经外科领域中的应用会日趋成熟。

**6.3 人工寰齿关节置换** 目前临床上应用的上颈椎后路内固定技术均会不同程度地造成颈椎旋转受限或侧移不稳。为寻找更好的治疗上颈椎不稳的方法,有学者进行了人工寰齿关节的研究<sup>[34]</sup>。但这些研究目前仅限于实验室模型设计及生物力学、材料学的研

究和有限元分析<sup>[35]</sup>。相信在不久的将来,人工寰齿关节置换术将成为治疗上颈椎疾病的一种新选择。

## 7 小结

上颈椎后路内固定手术的主要目标是恢复颈椎生理功能,并尽可能地减小手术创伤、减少术后并发症及提高术后远期疗效,如何保证术后颈椎活动的稳定性、防止术中出现重要神经血管损伤及提高手术操作的精准度是当前面临的主要问题。随着生物力学和材料学的发展,上颈椎内固定技术也将日益完善。此外,微创技术、3D 打印技术、计算机导航技术及机器人辅助置钉技术<sup>[36]</sup>也是上颈椎后路内固定技术发展的新方向。

## 参考文献

- [1] TAKAYASU M, AOYAMA M, JOKO M, et al. Surgical intervention for instability of the craniovertebral junction[J]. *Neurol Med Chir(Tokyo)*, 2016, 56(8):465-475.
- [2] GUAN J, CHEN Z, WU H. Effectiveness of posterior reduction and fixation in atlantoaxial dislocation: a retrospective cohort study of 135 patients with a treatment algorithm proposal[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(5):1053-1063.
- [3] JOAQUIM A F, OSORIO J A, RIEW K D. Occipitocervical fixation: general considerations and surgical technique[J]. *Global Spine J*, 2020, 10(5):647-656.
- [4] DU Y K, LI S Y, YANG W J, et al. Morphometric trajectory analysis for occipital condyle screws[J]. *Orthop Surg*, 2020, 12(3):931-937.
- [5] BOSCO A, ALEEM I, LA MARCA F. Occipital condyle screws: indications and technique[J]. *J Spine Surg*, 2020, 6(1):156-163.
- [6] 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.
- [7] KUMAR A, ONGGO J, FON L H, et al. Direct fixation of C1 jefferson fracture using C1 lateral mass screws: a case report[J]. *Int J Spine Surg*, 2019, 13(4):345-349.
- [8] LIU H, ZHANG B, LEI J, et al. Biomechanical role of the C1 lateral mass screws in occipitoatlantoaxial fixation: a finite element analysis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2016, 41(22):E1312-E1318.
- [9] DONNELLAN M B, SERGIDES I G, SEARS W R. Atlantoaxial stabilization using multiaxial C-1 posterior arch screws[J]. *J Neurosurg Spine*, 2008, 9(6):522-527.
- [10] HLUBEK R J, BOHL M A, COLE T S, et al. Safety and accuracy of freehand versus navigated C2 pars or pedicle screw placement[J]. *Spine J*, 2018, 18(8):1374-1381.

- [11] 王建华,尹庆水,夏虹,等. 枢椎椎动脉孔解剖分型与椎弓根置钉关系的研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2006, 16(9): 677-680.
- [12] 唐晓军,罗玲丽,曹奇,等. 枢椎以横突后支下缘与下关节突交界处为解剖标志行椎弓根植钉的 CT 测量[J]. 中南医学科学杂志, 2018, 46(2): 123-126.
- [13] 田野,张嘉男,樊勇,等. 3D 打印导航模板与计算机导航辅助置入 C2 椎弓根和侧块螺钉的对比研究[J]. 实用骨科杂志, 2019, 25(7): 581-587.
- [14] BRANSFORD R J, LEE M J, REIS A. Posterior fixation of the upper cervical spine; contemporary techniques[J]. J Am Acad Orthop Surg, 2011, 19(2): 63-71.
- [15] SAI KIRAN N A, SIVARAJU L, VIDYASAGAR K, et al. Safety and accuracy of anatomic and lateral fluoroscopic-guided placement of C2 pars/pedicle screws and C1 lateral mass screws, and freehand placement of C2 laminar screws[J]. World Neurosurg, 2018, 118: e304-e315.
- [16] DORWARD I G, WRIGHT N M. Seven years of experience with C2 translaminar screw fixation; clinical series and review of the literature [J]. Neurosurgery, 2011, 68(6): 1491-1499.
- [17] WANG Y, WANG C, YAN M. Clinical outcomes of atlantoaxial dislocation combined with high-riding vertebral artery using C2 translaminar screws[J]. World Neurosurg, 2019, 122: e1511-e1518.
- [18] LIU G, LI Q, SHENG F, et al. Outcomes of occipitocervical fixation using a spinous process screw in C2 as a third anchor point for occipitocervical fixation; a case presentation[J]. BMC Musculoskelet Disord, 2020, 21(1): 307.
- [19] 刘观毅,沈锋,马维虎. 枢椎棘突螺钉固定的研究进展[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2019, 29(9): 847-850.
- [20] 章允志,严望军,刘海燕,等. 后路经寰枕关节螺钉固定钉道的测定[J]. 中国骨伤, 2007, 20(4): 227-229.
- [21] YANG J S, LI J, CHEN H, et al. Suboccipital neuralgia after C1 pedicle screw insertion; do we neglect atlantooccipital joint violation? Case report and literature review[J]. BMC Surg, 2019, 19(1): 96.
- [22] MAUGHAN P H, HORN E M, THEODORE N, et al. Avulsion fracture of the foramen magnum treated with occiput-to-c1 fusion; technical case report [J]. Neurosurgery, 2005, 57(3): E600.
- [23] BAMBAKIDIS N C, FEIZ-ERFAN I, HORN E M, et al. Biomechanical comparison of occipitotlantal screw fixation techniques[J]. J Neurosurg Spine, 2008, 8(2): 143-152.
- [24] TAKIGAWA T, SIMON P, ESPINOZA ORÍAS A A, et al. Biomechanical comparison of occiput C1-C2 fixation techniques: C0-C1 transarticular screw and direct occiput condyle screw [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2012, 37(12): E696-E701.
- [25] 王翀,覃建朴,张朋云,等. Apofix 内固定系统、椎弓根螺钉技术两种不同手术方法治疗创伤性寰枢椎不稳的疗效比较[J]. 系统医学, 2016, 1(5): 4-8.
- [26] 魏文智,李全义,王秋莲. Magerl 技术结合单椎板夹固定术治疗对寰枢椎脱位患者并发症和生活质量的影响[J]. 临床和实验医学杂志, 2017, 16(21): 2148-2152.
- [27] RAJINDA P, TOWIWAT S, CHIRAPPAPHA P. Comparison of outcomes after atlantoaxial fusion with C1 lateral mass-C2 pedicle screws and C1-C2 transarticular screws [J]. Eur Spine J, 2017, 26(4): 1064-1072.
- [28] CHUN D H, YOON D H, KIM K N, et al. Biomechanical comparison of four different atlantoaxial posterior fixation constructs in adults; a finite element study [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018, 43(15): E891-E897.
- [29] GOREK J, ACAROGLU E, BERVEN S, et al. Constructs incorporating intralaminar C2 screws provide rigid stability for atlantoaxial fixation [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2005, 30(13): 1513-1518.
- [30] SKOVLJ B, QURESHI S A. Minimally invasive cervical spine surgery [J]. J Neurosurg Sci, 2017, 61(3): 325-334.
- [31] 胡勇,袁振山. 3D 打印辅助置钉技术在颈椎外科手术治疗中的重要性[J]. 中华创伤杂志, 2016, 32(1): 10-12.
- [32] 蒲兴魏,罗春山,邱冰,等. 改良 3D 打印导航模板辅助寰枢椎椎弓根螺钉置钉的临床应用[J]. 中华骨科杂志, 2017, 37(24): 1511-1520.
- [33] 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.
- [34] ZANG Q, LIU Y, WANG D, et al. An Experimental biomechanical study on artificial atlanto-dontoid joint replacement in dogs[J]. Clin Spine Surg, 2017, 30(1): E1-E6.
- [35] HU Y, DONG W X, HANN S, et al. Construction of finite element model for an artificial atlanto-odontoid joint replacement and analysis of its biomechanical properties[J]. Turk Neurosurg, 2016, 26(3): 430-436.
- [36] TIAN W, LIU Y J, LIU B, et al. Guideline for posterior atlantoaxial internal fixation assisted by orthopaedic surgical robot[J]. Orthop Surg, 2019, 11(2): 160-166.

(收稿日期: 2020-07-02 本文编辑: 杨雅)