

上颈椎微创内固定技术的应用研究进展

Research progress of minimally invasive internal fixation technique in upper cervical spine

苗犀子, 石磊, 葛启均, 高鼎智, 邓忠良

(重庆医科大学附属第二医院脊柱外科 400060 重庆市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2023.09.11

中图分类号: R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2023)-09-0843-05

先天性畸形、肿瘤、感染、创伤及退行性病变等常导致上颈椎失稳而需要内固定手术治疗,不同的发病机制及损伤部位选择的内固定方式也不同,目前固定方式主要有齿状突螺钉内固定、寰枢椎经关节螺钉内固定、枕寰枢螺钉内固定、寰枢椎螺钉-棒内固定、枢椎椎弓根螺钉内固定等。但一些经典的手术方式常需要较大的切口来暴露术区,对软组织的创伤大,术中出血较多,围手术期疼痛较明显。因此各国学者提出了手术创伤更小,安全性更高的手术方式,即微创手术,以期减少手术相关的并发症。目前微创上颈椎内固定技术主要包括主要包括微创前路颈椎内固定技术(经皮前路齿状突螺钉内固定技术、经皮前路寰枢椎经关节螺钉内固定技术、经皮前路枕寰枢螺钉内固定技术)和微创后路上颈椎内固定技术(微创后路寰枢椎螺钉-棒内固定技术、经皮后路寰枢椎经关节螺钉内固定技术、经皮枢椎椎弓根螺钉内固定技术)^[1-6]。笔者就微创内固定技术做一综述,为脊柱外科医生提供参考和借鉴。

1 微创前路上颈椎内固定技术

1.1 经皮前路齿状突螺钉内固定技术

枢椎齿状突骨折是颈椎常见的骨折类型,约占颈椎骨折的 15%^[7]。Anderson II 型骨折和浅 III 型齿状突骨折属于不稳定骨折,一般需要手术治疗^[8]。前路齿状突螺钉固定技术最早是在 1980 年由 Nakanishi 报道^[9],其优势是保留了寰枢椎间的活动度。Kazan 等^[10]首次在报道中介绍了在尸体上借助经皮套筒对齿状突骨折进行经皮前路手术的技术细节,将切口在 C4/5 水平右侧胸锁乳突肌的内缘,通过注射生理盐水来分离保护血管与气管、食管并扩大咽后间隙,进钉点和进钉角度和开放手术相似,从 C2 椎体前下

缘的中点向齿状突的顶部进钉。Chi 等^[11]首次将经皮齿状突螺钉内固定技术应用于临床治疗 II 型及 III 型齿状突骨折,经过平均 15.7 个月(10~25 个月)的随访,10 例患者中 9 例(90%)有影像学融合。随后的研究中也证明了该技术的安全性及有效性。2015 年 1 篇 Meta 分析表明,接受后路 C1 侧块-C2 椎弓根螺钉-棒固定融合术的患者与接受齿状突前路螺钉固定者相比,前者的融合率明显更高^[12]。而 2019 年的一篇 Meta 分析结果表明,两者间的融合率并无明显差异^[13]。经皮与开放前路齿状突螺钉内固定术的适应证相同,适用于 Grauer II A、II B 型骨折及部分浅 III 型骨折,不适用于 Grauer II C 型骨折以及不可牵引复位的 Grauer II B 型骨折。手术禁忌证包括重度骨质疏松、横韧带撕裂、陈旧性骨折不愈合、短颈畸形或术前和术中无法进行牵引复位等^[9]。对于前路齿状突固定,选用单枚螺钉还是 2 枚螺钉依然存在争议。生物力学研究表明,两者可以提供相似的稳定性^[14],而置入 2 枚螺钉耗时更长且穿破齿状突侧壁伤及周围组织如韧带等的风险更高^[15]。另外,使用齿状突螺钉治疗肿瘤导致的病理性齿状突骨折时需要在螺钉周围注入骨水泥进行强化。Garnon 等^[16]报道了经皮治疗 C2 齿状突转移性恶性肿瘤患者的经验,手术在 CT 引导下进行,注射生理盐水和 5%碘化造影剂溶液的混合物分离软组织,最后通过经皮套管置入螺钉并注入骨水泥。

1.2 经皮前路寰枢椎经关节螺钉内固定技术

2003 年 Reindl 等^[17]首次报道了前路寰枢椎经关节螺钉(atlantoaxial anterior transarticular screw, AATS)内固定技术,并在随后的生物力学研究中证明了该固定方式具有良好的稳定性。该技术通过咽后入路置入螺钉,螺钉的进钉点位于枢椎体前下缘中点两侧约 4mm 处,在冠状面和矢状面分别以 15°~25°和 20°~30°的角度向后上方进入 C2 椎体,螺钉在关节中心点附近穿过寰枢关节,一直到达 C1 上关节面的软骨下骨,此技术还需要在寰枢椎前部关节间植骨融合。Li 等^[18]首次将经皮 AATS 内固定技术应用于临床,他们在常规透视辅助下使用特制的经皮套管进行置钉,进钉点与进钉角度与前者大致相同,螺钉位置满意后取出克氏针,使用电刀或刮刀暴露双侧 C1-2 关节骨性结

基金项目:重庆市技术创新与应用发展专项重点项目(编号: cstc2019jsx-gksbX0027);重庆市渝中区基础研究与前沿探索项目(编号:20210135)

第一作者简介:男(1997-),硕士研究生在读,研究方向:骨外科
电话:(023)62887561 E-mail:347010588@qq.com

通讯作者:邓忠良 E-mail:dengzl@cqmu.edu.cn

构,使用磨钻和刮匙去掉部分皮质骨,取髂前上棘松质骨,通过保护套移植到 C1-2 关节突前部,使用此技术治疗 8 例创伤导致寰枢椎不稳的患者,所有患者均获得了即刻脊柱稳定,平均随访 19 个月(8~27 个月),无断钉现象,所有患者均骨性愈合。随后,Wang 等^[15]也报道了经皮 AATS 内固定技术,治疗 7 例创伤导致的寰枢椎不稳的患者,通过经皮套筒置钉,在内镜辅助下进行植骨,随访 18~45 个月,平均 27.5 个月,无断钉现象,所有患者均骨性愈合。研究表明,AATS 内固定比经皮后路寰枢椎经关节螺钉内固定损伤椎动脉的解剖学风险要低^[1]。AATS 固定在屈曲-伸展方向的生物力学稳定性不如寰枢椎后路经关节螺钉固定,固定早期的稳定性较差,可能会导致骨折不易愈合,Zhang 等^[16]设计了一种用于微创手术的新型寰枢椎经关节螺钉,该螺钉两端为螺纹结构,中部为多孔金属结构,直径 6mm,远远大于传统的 AATS,通过有限元分析证明使用该螺钉进行固定的即时稳定性远远超过传统的 AATS 固定。前路寰枢椎经关节固定的主要指征是寰枢椎不稳定,禁用于旋转性寰枢椎脱位和需要脊髓减压的病例,其他相对禁忌证包括颅颈畸形等可能导致术中影像难以获取或妨碍术中操作的解剖畸形以及一些导致螺钉的稳定性不够的特殊类型骨折^[17]。

1.3 经皮前路枕寰枢螺钉内固定技术

前路枕寰枢螺钉内固定技术由 Dvorak 等^[18]首次报道。Wu 等^[2]首次将其应用于临床,报道了使用经皮前路枕寰枢螺钉内固定技术治疗寰枢椎不稳的经验,通过 5~10mm 的切口,使用外径为 7mm 的保护套筒,经咽后入路放置螺钉,进钉点为枢椎侧块中点水平的中外 1/3 处,向外倾 15°、后倾 25°置入,螺钉指向枕骨髁中后 1/3 处,螺钉放置满意后,使用电刀或刮刀暴露双侧关节骨性结构,使用磨钻和刮匙处理关节突前方的骨皮质后移植髂骨松质骨,患者的总体预后良好。但该技术的生物力学性能不如后路螺钉-棒固定,术后需要严格佩戴颈托 10~12 周,而且当合并有寰椎侧块骨折或枕骨髁骨折时螺钉可能难以放置,因此该术式不适合常规使用。该术式的优势是可以用于已经有后路固定再次发生骨折或者后路椎弓根等结构畸形不适合放置后路螺钉的情况。

1.4 经皮前路 C2-3 椎体螺钉内固定技术

Autrusseau 等^[19]报道了经皮放置前路螺钉并使用骨水泥强化治疗 1 例 C2 椎体转移性恶性肿瘤患者的经验,方法与 Garnon 报道的经皮前路齿状突螺钉技术相似,因为该患者 C2 椎体下方的骨皮质已完全破坏,所以他们选择使用 C3 椎体的前皮质作为固定点,放置了前路 C2-3 椎体螺钉,术后的随访显示螺钉无移位。

2 微创后路上颈椎内固定技术

2.1 寰枢椎螺钉-棒内固定技术

近年来,寰枢椎椎弓根螺钉(C1-C2 PS)或寰椎侧块(C1-LMS)-C2 椎弓根螺钉-棒固定被广泛应用于寰枢椎

不稳的手术治疗。Goel 和 Laheri^[20]最初介绍了 C1 侧块和 C2 椎弓根螺钉-板融合固定技术,通过在寰椎后弓及枢椎椎板间植骨来进行融合。后来 Harm 和 Melcher^[21]使用钉棒替换钢板,改良并推广了这一技术,目前是临床上进行寰枢椎融合的主流技术,该技术通过 4 枚螺钉及两根连接棒来进行固定,具有优异的生物力学性能,但因螺钉需经椎弓根进入椎体,损伤椎动脉的风险较高。Resnick 等^[22]对 Harm 技术进行了改进,将螺钉穿过 C1 后弓进入侧块,而不穿透前皮质,从而有效增加了进钉深度。已有多团队通过微创的方式放置 C1 侧块-C2 椎弓根螺钉治疗退行性/创伤性寰枢椎不稳,在常规透视下通过双侧的两个小切口暴露 C1、C2 的侧块及 C1/2 关节,通过扩张式管状牵引器来获得操作空间,植骨及置钉,进行 C1-C2 的融合。Holly 等^[23]使用此技术治疗了 6 例齿状突骨折的患者,平均随访 32 个月(24~46 个月),术中无并发症发生,术中平均失血量为 100mL。6 例患者均获得骨折的影像融合,无螺钉断裂。可避免广泛的肌肉剥离,但需要在 C1-2 后部关节间植骨而不是在 C1 后弓和 C2 椎板间植骨,术中需要牺牲 C2 神经根^[18]。该技术在治疗齿状突骨折时可以选择非融合固定,前提是没有寰椎横韧带断裂等影响寰枢椎稳定的因素,有研究显示该方法可以取得满意的骨折愈合率,而且可以二期取出内固定,保留了部分患者寰枢椎间的活动度^[24]。该技术治疗寰枢椎不稳时的禁忌证是椎动脉高骑跨畸形和 C2 椎弓根畸形,对于治疗一侧椎动脉高骑跨畸形或 C2 椎弓根畸形的患者,可以选择单侧固定。Shi 等^[25]报道了在内镜辅助下进行经皮单边 C1-C2 螺钉-棒固定的经验,治疗 7 例齿状突骨折的患者,在后期的随访中,所有患者获得了骨性愈合。但单侧固定的生物力学稳定性明显不如双侧固定,对于一些特殊类型的骨折以及对于重度骨质疏松的患者,单侧固定不能满足稳定需求^[26]。Guo 等^[27]提出了单侧 C1 后弓螺钉、C2 椎板螺钉联合单侧 C1-C2 椎弓根螺钉固定技术;Shen 等^[28]报道单侧 C1 后弓螺钉和 C2 椎板螺钉联合同侧交叉 C1-C2 椎弓根螺钉棒固定技术;Shi 等^[3]报道了单侧 C1 双螺钉同侧 C2 椎弓根螺钉置入联合对侧 C2 椎板钉棒固定技术。此类技术可以降低手术创伤和椎动脉损伤的风险,且有类似于双侧 C1-C2 椎弓根固定的稳定性,但临床应用还未见报道。最近,Cirq R 机器人被用于经皮后路 C1-C2 螺钉固定,大大提高了置钉的精准性^[29]。

2.2 经皮后路寰枢椎经关节螺钉内固定技术

后路寰枢椎经关节螺钉内固定技术的适应证与禁忌证与前路寰枢椎经关节固定基本相同,但更应注意有无椎动脉高骑跨或 C2 椎弓根狭窄^[29]。Seemann 和 Magerl^[30]在 1979 年首次报道了使用经关节螺钉治疗寰枢椎不稳,进钉点位于 C2 椎板与侧块交界的后下缘,螺钉穿过 C1-2 关节指向 C1 侧块的上缘。该技术能在寰椎后弓及枢椎椎板间植骨融合,并用钢丝捆绑补充固定,具有优异的生物力学稳定性,是进行寰枢椎融合的金标准,但造成椎动脉

损伤的风险较前路寰枢椎经关节螺钉内固定技术更高^[6]。McGuire 和 Harkey 对 Magerl 技术进行了改良, 通过在第 2、3 胸椎椎体水平做两个小切口, 使用经皮扩张管来放置螺钉, 并通过另外的正中切口进行植骨并捆绑钢丝, 可有效减小软组织的创伤, 还可以使螺钉更垂直, 在 C1 和 C2 的关节侧块中, 螺钉可以在更中心的位置固定, 并可以获得更长的固定长度^[31]。Wang 等^[32]在 Magerl 技术的基础上做了改良, 选择使用颗粒状自体松质骨植骨, 不需使用钢丝固定植骨块, 术后不需使用外固定, 用该手术方式治疗了 57 例寰枢椎不稳的患者, 融合率 100%。Borm 等^[33]在导航辅助下使用经皮后路寰枢椎经关节螺钉治疗退行性寰枢椎不稳, 并使用了一种“爪”型结构固定于寰椎后弓, 然后通过钉棒进行“钉-爪”连接。经皮后路寰枢椎经关节螺钉内固定技术在临床应用中证明与开放手术疗效相似, 并且有创伤小、安全性高等特点。ElSaghir 等^[34]治疗 47 例因类风湿疾病导致寰枢椎不稳的患者, 其中有 45 例获得骨性融合, Kaminski 等^[35]治疗 47 例急性创伤性寰枢椎不稳的患者, 对 32 例患者完成了随访, 所有患者均获得了骨性融合, 90% 以上的病例临床疗效优良。有学者提出^[28], 后路寰枢椎经关节螺钉内固定比 C1 侧块/C2 椎弓根螺钉固定更适用于患有寰齿关节骨关节炎的老年患者。近期, 有人在导航或内窥镜辅助下放置后路寰枢椎经关节螺钉治疗齿状突骨折, 而没有融合寰枢椎, 在随访中发现患者骨折愈合良好^[6, 36]。

2.3 经皮枢椎椎弓根螺钉内固定技术

创伤性枢椎滑脱或 Hangman 型骨折占有颈椎创伤的 4%。对于不稳定骨折, 包括一些 Levine-Edwards(L-E) II 型和大多数 II a 和 III 型骨折, 或者当外支架固定失败时, 通常需要手术治疗^[4]。手术方式多样, 包括 C2-3 前路固定、C1-2 和 C1-3 后路固定以及 C2 椎弓根拉力螺钉内固定等。1970 年, Judet 提出了经椎弓根接骨术治疗 Hangman 型骨折, 即单独使用 C2 椎弓根螺钉来进行骨折的固定, 该手术方式不需要进行节段融合, 保留了椎体间的活动度。然而, 该置钉方法损伤椎动脉或脊髓的风险较高。Taller 等^[37]选择在 CT 引导下置钉, 降低了对神经血管的损伤风险。该技术目前主要用来治疗 L-E II 型 Hangman 型骨折的患者。对于 I 型 Hangman 型骨折的患者, 一般常规采取保守治疗, 但因为保守治疗需要长期的制动, 过程很痛苦, 而且可能出现压疮等并发症, 所以有学者提倡使用微创技术治疗 I 型 Hangman 型骨折。Sugimoto 等^[38]报道了一种导航辅助下经皮 C2 椎弓根螺钉的置钉方法, 治疗 1 例 L-E I 型 Hangman 型骨折的患者, 通过一个正中切口把参考臂固定于 C2 的棘突上, 然后通过双侧的小切口来放置 C2 椎弓根螺钉。虽然导航的使用被证明可以大大提高置钉的安全性, 但是在微创手术中需要另外的切口来放置参考臂, 有学者选择把参考臂固定于 Mayfield 头架上来解决这个问题, 并经皮成功置入了经皮 C2 椎弓根螺钉来治疗 L-E II 型 Hangman 型骨折的患者^[39]。椎动脉

高骑跨畸形会增加放置 C2 椎弓根螺钉时损伤椎动脉的风险, 对于有单侧椎动脉高骑跨畸形的 II 型 Hangman 骨折患者, 可以选择使用单侧经皮 C2 椎弓根螺钉固定^[32]。对于一侧椎弓根合并对侧椎板骨折的患者可以选择只固定椎弓根骨折的一侧, 枢椎侧块骨折会影响 C2 椎弓根螺钉的放置, 合并有单侧枢椎侧块骨折的患者可以选择对侧 C2 椎弓根螺钉固定^[4]。而对于 II a 型及 III 型 Hangman 骨折患者, 需要两个或以上的节段固定, 不适合选用该技术^[40]。

2.4 枕-颈内固定技术

寰枕间的不稳在临床上较罕见, 枕骨髁螺钉连接寰椎侧块螺钉等枕颈融合固定方式在临床的应用较少, 关于此类固定方式的微创技术报道较少。

3 展望

目前已报道的上颈椎微创置钉技术与传统置钉技术疗效相当, 并且有术中出血少, 术后疼痛轻等优势。但大多数的研究纳入的病例数较少, 缺乏大样本、长期的随访以及高质量的前瞻性研究, 其适应证有待进一步研究。而且微创颈椎置钉技术普遍难度高, 特别是经皮置钉技术, 学习曲线陡峭, 且对术中影像设备的要求较高, 操作器械、操作技术也有待进一步改进及完善, 目前很难替代传统手术方式, 临床医师应严格把握其适应证, 根据不同的情况选择对患者最有利的手术方式。导航系统及机器人的出现, 使微创置钉更加容易实现。相信随着社会的进步及科技的发展, 会慢慢地形成体系化的、被脊柱外科医生普遍接受的上颈椎微创内固定技术。

4 参考文献

1. Xu H, Chi YL, Wang XY, et al. Comparison of the anatomic risk for vertebral artery injury associated with percutaneous atlantoaxial anterior and posterior transarticular screws [J]. Spine J, 2012, 12(8): 656-662.
2. Wu AM, Chi YL, Weng W, et al. Percutaneous anterior occiput-to-axis screw fixation: technique aspects and case series [J]. Spine J, 2013, 13(11): 1538-1543.
3. Shi L, Shen K, Deng R, et al. Novel unilateral C1 double screw and ipsilateral C2 pedicle screw placement combined with contralateral laminar screw-rod fixation for atlantoaxial instability[J]. Eur Spine J, 2019, 28(2): 362-369.
4. Soliman MaR, Kwan BYM, Jhawar BS. Minimally invasive unilateral percutaneous transfracture fixation of a Hangman's fracture using neuronavigation and intraoperative fluoroscopy[J]. World Neurosurg, 2019, 122: 90-95.
5. 周英杰, 黄勇. 齿状突骨折微创治疗方法选择的相关问题[J]. 中华创伤杂志, 2019, 35(10): 865-870.
6. Dimitriou J, Garvayo M, Coll JB. Minimally invasive posterior percutaneous transarticular C1-C2 screws: how I do it[J]. Acta Neurochir(Wien), 2020, 162(9): 2047-2050.
7. Baogui L, Juwen C. Fusion rates for odontoid fractures after

- treatment by anterior odontoid screw versus posterior C1–C2 arthrodesis: a meta-analysis [J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2019, 139(10): 1329–1337.
8. Liu N, Tian L, Jiang RX, et al. An in vitro biomechanical evaluation of an expansive double-threaded bi-directional compression screw for fixation of type II odontoid process fractures: a SQUIRE-compliant article[J]. *Medicine (Baltimore)*, 2017, 96(16): e6720.
 9. Kazan S, Tuncer R, Sindel M. Percutaneous anterior odontoid screw fixation technique[J]. *Acta neurochirurgica*, 1999, 141(5): 521–524.
 10. Chi YL, Wang XY, Xu HZ, et al. Management of odontoid fractures with percutaneous anterior odontoid screw fixation [J]. *Eur Spine J*, 2007, 16(8): 1157–1164.
 11. Shen Y, Miao J, Li C, et al. A meta-analysis of the fusion rate from surgical treatment for odontoid fractures: anterior odontoid screw versus posterior C1–C2 arthrodesis [J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(8): 1649–1657.
 12. Garmon J, Auloge P, Dalili D, et al. Combined percutaneous screw fixation and cementoplasty of the odontoid process [J]. *J Vasc Interv Radiol*, 2019, 30(10): 1667–1669.
 13. Reindl R, Sen M, Aebi M. Anterior instrumentation for traumatic C1–C2 instability[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(17): E329–E333.
 14. Li WL, Chi YL, Xu HZ, et al. Percutaneous anterior transarticular screw fixation for atlantoaxial instability: a case series[J]. *The Journal of bone and joint surgery*, 2010, 92(4): 545–549.
 15. Wang J, Zhou Y, Zhang Z, et al. Minimally invasive anterior transarticular screw fixation and microendoscopic bone graft for atlantoaxial instability [J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(8): 1568–1574.
 16. Zhang Y, Li C, Li L, et al. Design a novel integrated screw for minimally invasive atlantoaxial anterior transarticular screw fixation: a finite element analysis [J]. *J Orthop Surg Res*, 2020, 15(1): 244.
 17. Polli FM, Miscusi M, Forcato S, et al. Atlantoaxial anterior transarticular screw fixation: a case series and reappraisal of the technique[J]. *Spine J*, 2015, 15(1): 185–193.
 18. Dvorak MF, Fisher C, Boyd M, et al. Anterior occiput-to-axis screw fixation: part I: a case report, description of a new technique, and anatomical feasibility analysis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(3): E54–60.
 19. Autrusseau PA, Garmon J, Auloge P, et al. Percutaneous C2–C3 screw fixation combined with cementoplasty to consolidate an impending fracture of C2[J]. *Diagn Interv Imaging*, 2020, 101(9): 619–621.
 20. Goel A, Laheri V. Plate and screw fixation for atlanto-axial subluxation [J]. *Acta neurochirurgica*, 1994, 129(1): 47–53.
 21. Harms J, Melcher RP. Posterior C1–C2 fusion with polyaxial screw and rod fixation[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2001, 26(22): 2467–2471.
 22. Resnick DK, Benzel EC. C1–C2 pedicle screw fixation with rigid cantilever beam construct: case report and technical note[J]. *Neurosurgery*, 2002, 50(2): 426–428.
 23. Holly LT, Isaacs RE, Frempong-Boadu AK. Minimally invasive atlantoaxial fusion[J]. *Neurosurgery*, 2010, 66(3 Suppl): 193–197.
 24. Han B, Li F, Chen G, et al. Motion preservation in type II odontoid fractures using temporary pedicle screw fixation: a preliminary study[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(4): 686–693.
 25. Shi L, Deng R, Long QY, et al. Endoscopically-assisted percutaneous unilateral atlantoaxial screw-rod nonfusion fixation treatment for type II odontoid fractures in geriatric patients: case series and technical note [J]. *Pain Physician*, 2020, 23(2): E241–e250.
 26. Shen K, Deng Z, Yang J, et al. Biomechanical study of novel unilateral C1 posterior arch screws and C2 laminar screws combined with an ipsilateral crossed C1–C2 pedicle screw-rod fixation for atlantoaxial instability[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2017, 137(10): 1349–1355.
 27. Guo-Xin J, Huan W. Unilateral C-1 posterior arch screws and C-2 laminar screws combined with a 1-side C1–2 pedicle screw system as salvage fixation for atlantoaxial instability[J]. *J Neurosurg Spine*, 2016, 24(2): 315–320.
 28. Farah K, Meyer M, Prost S, et al. Cirq(R) robotic assistance for minimally invasive C1–C2 posterior instrumentation: report on feasibility and safety[J]. *Oper Neurosurg(Hagerstown)*, 2020, 19(6): 730–734.
 29. Hara T, Iwamuro H, Ohara Y, et al. Efficacy of atlantoaxial transarticular screw fixation using navigation-guided drill: technical note[J]. *World Neurosurg*, 2020, 134: 378–382.
 30. Magerl F, Seemann P-S. Stable posterior fusion of the atlas and axis by transarticular screw fixation[M]. *Cervical spine I*. Springer. 1987: 322–327.
 31. McGuire RA, Jr., Harkey HL. Modification of technique and results of atlantoaxial transfacet stabilization[J]. *Orthopedics*, 1995, 18(10): 1029–1032.
 32. Wang C, Yan M, Zhou H, et al. Atlantoaxial transarticular screw fixation with morselized autograft and without additional internal fixation: technical description and report of 57 cases[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2007, 32(6): 643–646.
 33. Borm W, Konig RW, Albrecht A, et al. Percutaneous transarticular atlantoaxial screw fixation using a cannulated screw system and image guidance[J]. *Minim Invasive Neurosurg*, 2004, 47(2): 111–114.
 34. Elsaghir H, Boehm H, Greiner-Perth R. Mini-open approach combined with percutaneous transarticular screw fixation for C1–C2 fusion[J]. *Neurosurg Rev*, 2005, 28(1): 59–63.
 35. Kaminski A, Gstrein A, Källicke T, et al. Mini-open percutaneous transarticular screw fixation for acute and late atlantoaxial instability[J]. *Acta Orthop Belg*, 2008, 74(1): 102–

腰椎间盘退变动物模型的研究进展

Research progress on animal models of lumbar disc degeneration

杜瑞环, 张 警, 李忠海

(大连医科大学附属第一医院骨科 116600 大连市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2023.09.12

中图分类号: R681.5 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2023)-09-0847-07

腰椎间盘突出症是骨科常见疾病,指纤维环破裂后,髓核、纤维环及韧带向腰椎管突出,刺激或压迫神经根,引起患者腰、腿疼痛,病情反复,导致患者活动受限甚至残疾,严重影响患者生活质量。而椎间盘退变(intervertebral disc degeneration,IDD)是腰椎间盘突出症的主要原因,相比于腰椎间盘突出症,腰椎 IDD 更为常见。有大型队列研究显示腰椎 IDD 发生率男性为 31.6%,女性高达 44.7%^[1]。建立 IDD 动物模型对人类腰椎 IDD 的相关研究尤为重要,然而 IDD 的机制尚不清晰,并且 IDD 的动物模型繁多,尚无公认的统一且理想的 IDD 动物模型。根据人类 IDD 的特点,改变动物腰椎髓核和纤维环理化性质,甚至破坏椎间盘正常结构,诱导动物的椎间盘发生退变。不同的动物模型造模方法各有优劣,模拟人类腰椎 IDD 的影响因素存在差别,出于不同的研究目的,可以选择适应相关

研究的动物模型。笔者对腰椎 IDD 动物模型的建立方法进行综述,为腰椎 IDD 的相关研究建立动物模型提供依据。

1 IDD 动物模型的物种选择及分类

鼠、兔、羊、猪、狗、猴及狒狒等多种动物被用于建立 IDD 模型^[2]。其中,猴、狒狒等灵长类动物双足直立行走,其腰椎间盘与人类的腰椎间盘在解剖生理上较为接近,最适合作为腰椎 IDD 的动物模型^[3],但其价格昂贵,并受伦理道德的约束,很少使用。与灵长类动物相比,羊、猪、狗等体型较大的动物易于获取,其腰椎间盘大小与人类的接近^[4,5],但其为四足动物,腰椎间盘受到的生物力学压力较小,与人类的腰椎间盘生物力学存在很大差别,而且,其体型较大,对饲养环境有一定的要求,因此应用较少;鼠、兔等体型小、易于饲养、来源充足且经济成本低,应用最为广泛,但其椎间盘的生理解剖结构与人类存在一定差别。

目前,IDD 模型按建立的方法分类主要包括诱发性 IDD 模型、自发退变模型和基因改造模型(图 1)。诱发性 IDD 模型是指利用器械或化学试剂人为破坏纤维环、髓核、终板等椎间盘结构,从而造成 IDD;或者通过改变实验动物的姿势、外部加压或破坏椎间盘之外的脊柱结构从而改变椎间盘的生物力学机制,诱导椎间盘发生退变,例如:尾部压缩模型、双足直立动物模型、腰椎不稳模型等。自发退变模型是指实验动物因年龄增长而发生 IDD。随着基因

基金项目:辽宁省自然科学基金面上项目(2022-MS-322);大连市科技创新基金应用基础项目(2022JJ12SN045);大连理工大学辽宁省微纳米技术及系统重点实验室开放课题基金资助项目(20210101)

第一作者简介:男(1997-),硕士研究生在读,研究方向:脊柱退行性疾病发病机制与再生修复

电话:(0411)83635963 E-mail:drh1601446074@126.com

通讯作者:李忠海 E-mail:lizhonghaispine@126.com

108.

36. Lvov I, Grin A, Godkov I, et al. Posterior percutaneous transarticular stand-alone screw instrumentation of C1-C2 with endoscopic assistance: a report of two cases[J]. Neurocirugia(Astur: Engl Ed), 2021, 32(2): 78-83.
37. Taller S, Suchomel P, Lukás R, et al. CT-guided internal fixation of a hangman's fracture[J]. Eur Spine J, 2000, 9(5): 393-397.
38. Sugimoto Y, Ito Y, Shimokawa T, et al. Percutaneous screw fixation for traumatic spondylolisthesis of the axis using iso-C3D fluoroscopy-assisted navigation (case report)[J]. Minim

Invasive Neurosurg, 2010, 53(2): 83-85.

39. Buchholz AL, Morgan SL, Robinson LC, et al. Minimally invasive percutaneous screw fixation of traumatic spondylolisthesis of the axis [J]. J Neurosurg Spine, 2015, 22(5): 459-465.
40. Kantelhardt SR, Keric N, Conrad J, et al. Minimally invasive instrumentation of uncomplicated cervical fractures [J]. Eur Spine J, 2016, 25(1): 127-133

(收稿日期:2022-07-14 末次修回日期:2022-10-23)

(本文编辑 姜雅浩)