

影响经腰椎间孔入路椎间融合术融合率的因素分析

鲁齐林^{1△}

[关键词] 腰椎退行性疾病;椎间融合;经腰椎间孔入路椎间融合术;述评

[中图分类号] R681.5 [文献标志码] A [文章编号] 1005-0205(2023)09-0071-04

DOI:10.20085/j.cnki.issn1005-0205.230914

腰椎退行性病变如腰椎滑脱症、椎间盘突出症、椎管狭窄症、侧凸症等的发病率逐年升高^[1],该类疾病保守治疗可获得较满意疗效,当疾病有手术指征时,腰椎后路手术治疗较为常见。腰椎后路减压融合术施以合理减压与脊柱序列重建可获得较满意疗效,其中以经腰椎间孔入路椎间融合术(Transforaminal Lumbar Interbody Fusion, TLIF)应用最为广泛^[2]。追求满意的融合是经腰椎间孔入路椎间融合术手术操作的核心,也是远期疗效的保障。椎间融合一旦失败会引起患者椎间假关节形成、钉棒断裂、腰背疼痛等,降低生活质量、增加经济负担,目前文献报告的椎间植骨不融合的发生率为 5%~35%^[3]。因此,达到满意的椎间融合一直是脊柱外科手术关注的重点。本文结合文献报道及临床经验,分析并总结经腰椎间孔入路椎间融合术围手术期的椎间融合相关因素,为提高椎间融合率提供参考。

1 螺钉的选择及精准植入

1.1 椎弓根钉直径与长度的选择

经腰椎间孔入路椎间融合术术中常用的椎弓根螺钉及皮质骨轨道螺钉都能够有效地固定脊柱前中后三柱,但前者更为常用^[4]。椎弓根螺钉直径与长度是影响稳定性的重要因素之一,一般认为螺钉直径越大,骨-螺钉界面的刚度及抗拔出力越强;螺钉的长度越大,把持强度越大,其稳定性也越好^[5]。但凡事过犹不及,螺钉过粗过长存在其他弊端。在螺钉直径选择方面,椎弓根解剖形态限定螺钉直径。研究指出当椎弓根螺钉的横截面积小于椎弓根横截面积 70% 时,疲劳性松动概率增高,但该占比达到 90% 以上后,椎弓根

内骨质过多损耗反而影响其稳定性,所以目前临床上推荐椎弓根螺钉的粗细是占椎弓根截面的 70%~90%^[6]。在植入螺钉长度方面,Weinstein 等^[7]提示椎弓根内骨质对螺钉的把持已占有整个钉道把持力的 60%,更深进入松质骨可增加把持力至 80%,穿破椎体前方骨皮质可进一步增加牢固性,但椎前血管及其他重要结构医源性损伤的概率就越大,所以椎弓根螺钉在进钉点至椎体前方皮质预出钉点总长度上,一般认为以进入 80% 为宜。

1.2 椎弓根钉形态与进钉点的关注

螺钉的形态与进钉点也是影响螺钉稳定性的因素之一。在腰椎螺钉模型中给椎弓根螺钉施加负荷后,发现螺钉底部与螺纹的交界处是椎弓根螺钉的应力主要集中点,且下方螺钉更为集中,这一结果支持临床上 75% 的螺钉断裂发生在下端螺钉的事实^[8]。笔者在下位椎弓根螺钉常选用双螺纹螺钉(钉前端粗大松质骨螺纹和钉后端致密皮质骨螺纹)以增加力学强度,减少螺钉疲劳断裂,提高椎间融合率。腰椎退行性病变高发于中老年人群,该人群中骨质疏松因素对内固定的影响应被重视,经腰椎间孔入路椎间融合术术前患者年龄、是否有鱼椎型椎体、有无椎体骨水泥强化术史等需要纳入手术评估,适时结合双能骨密度仪检测评估腰椎骨质质量,对骨质疏松患者准备骨水泥强化螺钉、膨胀螺钉以增加螺钉对骨质的铆合性。准确进钉点的选择及一次性成功进钉是椎弓根螺钉牢固性的一大保证。“人字棘顶点法”与“Magerl 法”在临床上应用最为广泛,正常情况下关节突关节退变不明显、乳突副突嵴与峡部嵴解剖较清晰时多运用前者,植钉简单易行且剥离不靠外;特殊情况下如假性滑脱患者关节突关节增生内聚较为严重,人字棘辨识不清,则以依靠横突中轴线与关节突外缘的垂直线的 Magerl 法植钉,其精准性高且可获得更符合脊柱力学传导的低切迹衔接纵棒。

基金项目:武汉中西医结合骨科医院院级科研项目(HGY202201)

¹ 武汉中西医结合骨科医院(武汉体育学院附属医院)脊柱外科
(武汉,430079)

△通信作者 E-mail:gkluql@163.com

1.3 椎弓根钉选择因素归纳

椎弓根钉棒系统内固定采用经腰椎间孔入路椎间融合术,术后即可稳定是椎间融合的重要基础。椎间即可稳定的可靠性取决于螺钉本身的直径、长度、外形、置入方法及腰椎骨质情况等。满意的腰椎椎弓根螺钉置入可归纳为一次性的精准进钉点辨识及钉道建立,选择约占80%椎弓根粗细的螺钉,根据骨质条件选择合适螺钉,调整合适头倾、外展角沿椎弓根轴平行(亦有研究者提出有7°头倾)于椎体上终板,无破坏椎弓根骨皮质进钉,钉尾稍压进钉点骨皮质即可,进深达到进钉点至椎体前方皮质预出钉点总长度的80%。

1.4 椎弓根钉植入注意要点

患者麻醉后俯卧位,手术之前要确保身体呈水平,如果腰部左右高低不一,置钉的外展角精度会受到影响;其次,保护融合节段上位关节突关节及关节囊影响融合率且对预防融合术后的邻近节段退变有积极意义;再者,关注椎体前方预出钉点与大血管之间的关系,特别是腹主动脉有骨化者,整体考量以把握植钉的有效性与安全性。

2 椎板及附件的减压范围

经腰椎间孔入路椎间融合术手术疗效“近期看减压远期看融合”,但是椎板及附件的减压范围存在争议^[9]。椎板骨质减压过少不仅影响神经症状缓解,还影响后续椎间植入自体骨量;全椎板切除可获得较多椎间植骨量且有一定的减压“彻底性”,但后方韧带复合体破坏不利于术后的即刻稳定性及脊柱序列的力学传导,进而间接影响融合,能缓解症状又行精准减压受到研究者的关注^[10-11]。了解椎管内致压因素首当其冲,尤其是黄韧带与椎间盘此两种重要的纤维性因素。腰椎黄韧带位于硬脊膜的背侧,上止点位于上位椎板的中下三分之一交界线,下止点位于下位椎板上缘,外止点位于上关节突的内缘及由上关节突上缘向椎间孔背侧移行;内侧缘与对侧连接于棘突基底部。黄韧带可同时影响中央椎管、神经根管及椎间孔,是椎管狭窄的重要影响因素^[12]。盘黄间隙是腰椎间盘平面位于椎管外侧间盘与黄韧带之间的间隙,其前壁为椎间盘,后壁为上关节突及黄韧带,向外通椎间孔,向下连侧隐窝(神经根管),向上接上位的侧隐窝^[13],不仅反映椎间盘突出程度、椎管的狭窄程度,还可反映小关节退变及黄韧带肥厚程度。临床上笔者发现经腰椎间孔入路椎间融合术对黄韧带的上下止点附着椎板骨质(即部分椎板)、黄韧带外侧止点的神经根管背侧骨质、上下关节突骨质切除即可充分释放盘黄间隙,同时恢复神经根管、椎间孔、中央椎管容积,以缓解神经症状,同时,切除的骨质制备成骨粒,可满足单个间隙融合自体植骨量。

3 椎管内的处理及终板处理

终板植骨床提供有效的融合接触面积,是椎间植骨成活的前提。解剖学研究证实腰椎骨性终板中央部位为疏松多孔结构,具有良好的通透性,椎体内的血液可以通过终板中央多孔结构的渗透;骨性终板外周部位骨质致密,具有较好的承重功能。因此,骨性终板中央部位的多孔结构渗透营养物质及代谢产物的能力,成为影响术后植骨成活效果的重要因素^[14]。融合节段的脊神经根出口根,下位椎体上终板及硬膜囊、神经根外膜外缘构成的安全三角区是经腰椎间孔入路椎间融合术处理椎间隙的门户。上述减压步骤骨质切除后即可暴露此安全三角区域。首先要处理的就是椎管中外侧的静脉血管网,调整功率后用双极电凝在椎管内对这些血管网进行预止血,尖剪刀锐性切开已止血的血管网后于两断端各一片小三角形脑棉片上下推塞,可省去神经拉钩步骤来干净暴露后纵韧带,又可降低在后续操作中的渗血现象,还可阻止植骨时小骨块溢漏至椎间孔或神经根管。症状侧经椎间孔矩形切开后纵韧带及纤维环后,用直形及弧形刮匙控制深度,分别处理症状侧及对侧椎间盘及终板。术前测量椎体前后径,把握处理椎间盘的深度,避免髓核钳或刮匙处理椎间盘及终板时突破前纵韧带、损伤前方大血管。操作中通过刮出软骨终板部位量以及手感来判断处理程度,最终达到去除软骨终板、保留骨性终板使之成为粗糙面或点状渗血的理想状态。值得注意的是中青年患者纤维环及软骨终板的韧性显著高于老年患者,处理难度也更大。此外,对于椎间隙严重丢失导致上下终板磨损硬化或终板炎患者,更加需要把握植骨床处理程度,进而在植骨成活及融合器塌陷下沉两方面平衡,以免影响椎间融合率。

4 椎间植骨材料的质、量与成骨环境

4.1 椎间植骨材料的质与量

满意的植骨材料应具有成骨作用、骨传导性、骨诱导性三种特性,自体骨被认为是移植材料的“金标准”。目前自体椎板颗粒骨、自体髂骨、同种异体骨在椎间融合中都有应用^[15]。自体椎板颗粒骨不仅具有以上特性,还具有以下优点:取材方便,无排异反应,硬度接近生理状态,骨诱导作用强;自体髂骨是三面皮质骨,与椎间隙接触面积大,满意维持椎间高度,但供区骨折及疼痛无法回避;同种异体骨的骨量充足,但价格昂贵且有免疫排斥、炎症反应风险。因此自体椎板颗粒骨在临床经腰椎间孔入路椎间融合术式中常作为首选。Ha等^[16]通过对术后影像学的评估,发现足量的植骨可提高椎间融合率及良好维持椎间高度。郝建学等^[17]亦认为植骨量低于5 cm³时椎间植骨融合率不理想,其建议单间隙植骨量以5 cm³及以上为宜。

Closkey 等^[18]认为当植骨面积大于终板面积 30% 时,才能有效承受正常成人脊柱载荷,减少融合并发症。植入骨颗粒体积的相关研究表明,大体积植骨粒在植入后,由于自身网架结构容易被吸收,从而导致破坏作用大于改建重塑,使承载重量的作用减弱;而在制造小体积的植骨粒过程中,骨板自身结构被破坏,各骨粒之间及骨粒与终板间容易形成纤维连接和骨痂连接,延长了后期修复周期;同时骨性终板的长期微动容易形成假关节结构,不利于骨小梁重建,最终导致融合失败;采用中等体积植骨粒 $0.1\text{ cm}^3/\text{粒}$ (边长约 4.6 mm 的立方体)行植骨融合内固定术后影像学评价效果良好,明显提高椎间融合率^[19]。

4.2 骨生长因子在椎间融合中的应用

植骨材料联合骨生长因子在脊柱融合的临床应用越来越广泛。骨形态发生蛋白-2(BMP-2)是一种高效的骨诱导因子,可将未分化的间充质干细胞向骨细胞定向诱导分化,促进新生骨形成,可促进骨性融合及骨缺损修复^[20]。目前重组人骨形态发生蛋白(rhBMP-2)被用于骨缺损、骨不连及椎间融合等,自体骨与重组人骨形态发生蛋白在体内混合之后,重组人骨形态发生蛋白发挥其诱导成骨效应,维持植骨活性促进融合,同时也刺激成骨干细胞向终板中央部位迁移,促进椎间成骨,加快骨性融合^[21]。

5 椎间融合器的选择与放置

椎间融合器(Cage)的选择与放置是经腰椎间孔入路椎间融合术融合的重要步骤。融合器的植入可在植骨成活、椎间融合过程中提供生物力学支撑,以帮助恢复椎间高度及椎体功能^[22]。在材质方面由早期的 BAK、异体股骨环、钛金属、PEEK 甚至 3D 打印材质等不断演进,以追求兼顾弹性模量、稳定性、透视性、骨性融合等效果。在 Cage 植入数量方面,单枚 Cage 斜向植入与双枚平行植入在融合率方面比较差异并无统计学意义,单枚使用可减少手术时间、出血量、医疗费用等,但是在椎间盘高度的维持方面,采用双枚 Cage 更有优势^[23]。临床上笔者常规选用单枚 Cage,但对Ⅱ度及以上滑脱和(或)腰骶角过大的患者,为了更好地维持椎间高度、复位及稳定,笔者会偏向于选用双 Cage。植入位置方面,Prian 等^[24]认为 Cage 尽量放置靠前以利于腰椎生理曲度的恢复和稳定,侧凸的患者则根据侧凸的方向(左右)选择 Cage 的植入位置(右左),其后缘应距椎体后缘至少 3 mm 。在形态方面肾形 Cage 的后移发生率要明显低于长方体形,子弹头形的植入易操作,但齿状吻合面差、后移率最高;选择融合器的合适高度尤为重要,高度过大的 Cage 会导致椎间隙过度分离、神经根张力增加,高度过低的 Cage 将无法恢复椎间高度和脊柱前凸,并可能导致融

合器后移和融合失败。笔者在临床中总结认为植骨量不宜过多以免影响 Cage 置入,Cage 置入头倾角度参考椎间隙终板的角度,防止医源性终板损伤,后续 Cage 下沉影响融合,对于骨质疏松患者尤其要注意此点;融合器的高度选择一方面依靠术前规划 CT 测量,另一方面植骨床处理好后依靠椎间隙试模,若试模与术前测量高度不符,则以试模为准,术中亦可结合透视评估;为防止融合器后退,在技术层面可考虑植入 Cage 后稍打横,改变轨迹增加后退难度,保留椎体弧形唇样后缘,适度沿纵棒纵行加压螺钉,钳制 Cage 后退“门户”。

人口老龄化使得腰椎退行性病变的患者逐年增加,椎间融合术中经腰椎间孔入路椎间融合术应用最为普遍,良好的椎间融合是疗效的远期保障。影响椎间融合的各项因素贯穿于经腰椎间孔入路椎间融合术整个围手术期,除了强调手术操作本身,术前关注评估病情、精确测量、个性化制定手术操作步骤;术后重视宣教,近期避免不合理运动导致融合失败,远期重视骨代谢相关疾病(如糖尿病、低蛋白血症)的防治。目前看来,在常规经腰椎间孔入路椎间融合术中,合理处理终板进行植骨床的准备是操作难点,该步骤需要在近乎“盲视状态”下充分处理软骨终板和保护骨性终板之间把握平衡,在骨质疏松与终板骨化条件下此步骤尤其需要关注。内镜下融合手术在此方面存在优势,其能适时“可视化”指导终板处理,可能是保障终板处理质量的一种更为理想的方式。通过上述因素的分析 and 总结,期望有助于脊柱外科医师对椎间融合环节的理解,以此为基础来进一步探索,更好地应用于临床。

参考文献

- [1] 孟海,倪嘉帅,苏楠,等. 肥胖因素对后路椎间融合术治疗双节段腰椎退行性疾病的影响[J]. 颈腰痛杂志,2023,44(1):46-49.
- [2] 胡赢,谢家豪,李梓灏,等. 单节段腰椎融合术中融合器对腰椎前凸角的影响[J]. 中国中医骨伤科杂志,2020,28(12):17-20.
- [3] HERKOWITZ H N, SIDHU K S. Lumbar spine fusion in the treatment of degenerative conditions: current indications and recommendations[J]. The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons, 1995, 3(3): 123-135.
- [4] 张天擎,李越,关立,等. 不同轨迹螺钉组合固定能否加速椎间融合:临床前瞻性初步研究[J]. 首都医科大学学报, 2022, 43(3): 480-489.
- [5] ZHANG Q H, TAN S H, CHOU S M. Effects of bone materials on the screw pull-out strength in human spine[J]. Med Eng Phys, 2006, 28(8): 795-801.
- [6] 敖俊,方国芳,冯伟,等. 以三维有限元模型分析短节段腰椎椎弓根螺钉系统固定后螺钉应力的分布[J]. 中国组织

- 工程研究与临床康复, 2008, 12(39): 7601-7604.
- [7] WEINSTEIN J N, RYDEVIK B L, RAUSCHNING W. Anatomic and technical considerations of pedicle screw fixation[J]. Clin Orthop Relat Res, 1992, 284: 34-46.
- [8] 周志豪, 阿拉法特·卡哈尔, 王轶希, 等. 传统椎弓根螺钉与改良皮质骨轨迹置钉技术的生物力学性能有限元分析[J]. 中国组织工程研究, 2022, 26(18): 2789-2794.
- [9] 万盛钰, 杨波, 林旭. 不同减压范围下行 BioFlex 动态稳定系统内固定对邻近节段椎间盘应力的影响[J]. 中国组织工程研究, 2016, 20(35): 5203-5209.
- [10] 李文谦. 不同椎板减压手术治疗腰椎管狭窄症效果观察[J]. 河南外科学杂志, 2018, 24(1): 67-68.
- [11] 竺义亮, 王小阵, 陈龙, 等. 后路有限精准减压融合术治疗双节段混合型腰椎管狭窄症 71 例[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2020, 28(12): 73-76.
- [12] 鲁齐林, 竺义亮, 李绪贵, 等. 2 型糖尿病对狭窄腰椎管内结构参数的影响[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2020, 28(1): 38-42.
- [13] 黎江芽. 腰盘黄间隙狭窄的原因及意义(附 83 例 CT 平扫与 CT 脊髓造影对照)[J]. 中华放射学杂志, 2000(4): 51-53.
- [14] 孙尚, 赵振达, 蒋媛, 等. 力学刺激在椎体软骨终板退变中的作用及机制[J]. 医用生物力学, 2021, 36(4): 652-657.
- [15] 任东林, 林飞, 胡天翼, 等. 三种腰椎后路椎间融合植骨材料的临床对比研究[J]. 脊柱外科杂志, 2013, 11(1): 13-18.
- [16] HA K Y, LEE J S, KIM K W. Bone graft volumetric changes and clinical outcomes after instrumented lumbar or lumbosacral fusion: a prospective cohort study with a five-year follow-up[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(16): 1663-1668.
- [17] 郝建学, 周斐, 钟娜, 等. 椎间植骨量对腰椎椎间融合内固定术后融合效果的研究[J]. 实用骨科杂志, 2016, 22(3): 205-208.
- [18] CLOSKEY R F, PARSONS J R, LEE C K, et al. Mechanics of interbody spinal fusion: analysis of critical bone graft area[J]. Spine (Phila Pa 1976), 1993, 18(8): 1011-1015.
- [19] HAO J, YAN C, LIU S, et al. Effect of bone graft granule volume on postoperative fusion after lumbar spinal internal fixation: a retrospective analysis of 82 cases[J]. Pak J Med, 2018, 34(5): 1231-1236.
- [20] XIA Y J, XIA H, CHEN L, et al. Efficient delivery of recombinant human bone morphogenetic protein (rhBMP 2) with dextran sulfate chitosan microspheres[J]. Experimental and Therapeutic Medicine, 2018, 15(4): 3265-3272.
- [21] MARISCAL G, NU EZ J H, BARRIOS C, et al. A meta-analysis of bone morphogenetic protein-2 versus iliac crest bone graft for the posterolateral fusion of the lumbar spine[J]. J Bone Miner Metab, 2020, 38(1): 54-62.
- [22] 纪泉, 孙常太, 黄公怡. 应用 Cage 行腰椎融合术的研究进展[J]. 中华骨科杂志, 2003(10): 58-60.
- [23] 孟海, 杨雍, 孙天胜, 等. 腰椎后路手术椎间融合器应用的专家共识[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2021, 31(4): 379-384.
- [24] PRIYAN R, ANGUS S, PETER A, et al. Do position and size matter an analysis of cage and placement variables for optimum lordosis in PLIF reconstruction[J]. Eur Spine J, 2017, 26(11): 2843-2850.

(收稿日期: 2023-03-11)

(上接第 70 页)

- [12] 叶龙飞, 官建中, 王晓盼, 等. 改良内置外固定架联合骶髂螺钉治疗 Tile C1.3 型骨盆骨折[J]. 中国修复重建外科杂志, 2022, 36(12): 1447-1452.
- [13] 高伟强, 顾祖超, 李程, 等. 胸腰后路内固定系统联合骶髂螺钉治疗经骶骨的不稳定骨盆骨折 25 例[J]. 中国中医骨伤科杂志, 2019, 27(4): 50-52.
- [14] 林弋翔, 秦伟钺, 尹一杰, 等. 经皮骨盆前环内支架固定技术在骨盆骨折中的研究进展[J]. 华西医学, 2022, 37(10): 1565-1568.
- [15] 石通和, 袁伟明, 温金焘, 等. INFIX 治疗不稳定性骨盆前环损伤的临床疗效及早期并发症分析[J]. 中国烧伤疮疡杂志, 2020, 32(3): 187-190.
- [16] SHARMA S, AGGARWAL S K. INFIX-safe and effective surgical option for complex fracture patterns of the anterior pelvic ring: a prospective single center study[J]. Journal of Orthopaedics, 2021, 23: 142-149.
- [17] 韩巍, 吴新宝, 姜钰, 等. 内置固定架治疗骨盆骨折致股神经麻痹三例[J]. 中国修复重建外科杂志, 2016, 30(4): 523-524.

(收稿日期: 2023-01-13)