

综述

胸腰椎椎弓根螺钉内固定术后螺钉松动的研究进展

Advance on screw loosening after the internal fixation
with thoracolumbar vertebral pedicle screw

袁磊, 陈仲强, 曾岩, 孙卓然, 李危石

(北京大学第三医院骨科 100191 北京市)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2017.08.14

中图分类号: R687.3, R619 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2017)-08-0756-07

椎弓根螺钉内固定技术能提供脊柱三柱固定, 重建脊柱的稳定性, 增加相应节段的融合率, 是目前治疗胸腰椎侧后凸畸形、骨折、滑脱、肿瘤及退行性病变等的重要方法^[1]。随着脊柱生物力学的研究以及内固定材料的发展, 椎弓根螺钉内固定技术取得了显著的进步, 但螺钉松动仍是椎弓根螺钉内固定最常见的并发症^[2]。大量研究报道了术后螺钉松动的发生, 但是采用的诊断标准及研究方法不尽相同, 报道的螺钉松动发生率也相差很大; 很多研究探讨了螺钉松动的危险因素, 并且介绍了多种减少螺钉松动发生的方法。笔者就螺钉松动的诊断标准、发生率、危险因素等研究进展进行文献综述, 旨在提高对椎弓根螺钉松动的认识。

1 诊断标准

螺钉松动的诊断主要依赖于放射学检查。若螺钉稳定地固定在椎弓根上, 内置物周围无射线透亮区征象; 若内置物周围出现 X 线透亮区经常被视为松动的征象^[3], 周围出现透亮区的螺钉拔出扭矩及抗拔力均降低^[4]。很多报道将骨-螺钉界面 X 线透亮区宽度超过 1mm 作为螺钉松动的诊断依据^[5]。Sanden 等^[6]发现, 将 X 线透亮区 1mm 作为螺钉松动的影像学诊断标准具有 64% 的敏感度和 100% 的特异度。由此可见, 借助于影像学检查排除螺钉松动更容易。

“双晕征”(double halo)是用于诊断螺钉松动的另一个影像学征象, 影像学表现为被外部射线不可透过的密质骨边缘所环绕的一个射线透亮区^[6, 7]。这是因为螺钉松动后螺钉周围软组织的形成, 在影像学上表现为“双晕征”。然而, Aghayev 等^[8]报道螺钉松动患者影像学出现明显透亮区的仅占 16%, 但有研究^[7]认为这种征象可以提高对射线可透过区域评估时观察者间的信度与效度, 只是这种方法在临床上应用并不普遍, 而且, 目前尚无研究对螺钉松动影

像学诊断依据的可信度进行评估。

还有一些研究报道使用 CT 对螺钉松动进行评估^[5, 9], 并发现 CT 较 X 线片诊断敏感度高^[9]。一项对脊柱矫形术后的研究^[10]也得出了相似的结论, CT 检查发现 81 例特发性侧凸患者术后 2 年中有 26 例发生了螺钉松动, 而 X 线片仅诊断了其中的 11 例患者(42%)。但大多数情况下, 为了减少辐射和花费, CT 仅用于疑似病例的确诊。Hudyana 等^[11]发现利用 SPECT/CT 发现螺钉松动的敏感度和特异度分别为 100% 和 89.7%, 阳性预测值和阴性预测值分别为 69% 和 100%, 其总体诊断准确率为 92%, 这说明 SPECT/CT 是诊断螺钉松动的一种高精确手段。但是该研究没有进行 X 线片及 CT 与 SPECT 的对比, 不能说明 SPECT 比 X 线片及 CT 具有诊断优势。另一项研究对 59 例术后患者进行 PET/CT 检查^[12]发现, 对患者进行统计时, 诊断螺钉松动的敏感度、特异度及准确度分别为 75%、97.4%、89.8%, 其阳性和阴性预测值分别为 93.8%、100%; 而在对螺钉数进行统计时, 诊断螺钉松动的敏感度、特异度及准确度分别为 45.6%、100%、80%, 其阳性和阴性预测值分别为 88.4%、76%。尽管 SPECT 结果不受金属内置物影响, 与 CT 结合后更容易看清异常情况的解剖位置, SPECT/CT 和 PET/CT 对于螺钉松动均有很高的诊断率, 但是二者均大大增加了患者的经济负担, 很难在临床上推广使用。

Aghayev 等^[8]探索了诊断螺钉松动的量化标准, 他们发现两螺钉轴线所成角的角平分线与同一椎体上椎板延长线间夹角较术后即刻变化超过 2° 对于诊断螺钉松动具有 79% 灵敏度和 92% 特异度(AUC=0.87)。

尽管目前对于螺钉松动的诊断没有统一的标准, 但是利用骨-螺钉界面 X 线透亮区宽度超过 1mm 是临床使用最广泛的诊断依据。虽然有研究发现 CT、PET/CT、SPECT/CT 比 X 线片具有更好的诊断灵敏度, 但是由于临床花费、辐射量和使用便利度等多种因素, 这些诊断方法难以在临床推广。Aghayev 等提出的角度测量虽然提出了量化的标准, 但该方法的可信度有待进一步检验。

2 螺钉松动的发生率及高发位置

第一作者简介: 男(1991-), 博士研究生, 研究方向: 脊柱外科

电话: (010)82267011 E-mail: yuanleipku@163.com

通讯作者: 李危石 E-mail: wslee72@163.com

尽管大量研究报道了螺钉松动的发生率,但已有文献报道的螺钉松动发生率差异很大,在非骨质疏松患者中发生率在 1%以下到 15%之间,而在骨质疏松患者中可高达 60%^[13]。Galbusera 等^[2]总结近年的文献发现,在非骨质疏松患者中,大多数研究报道螺钉松动的发生率很低,有些甚至小于 1%,也有一些报道称在有限数量患者中未见螺钉松动发生,但是没有详细描述松动的诊断方法。但也有些研究报道了较高的松动率,从 7.3%~17.6%不等^[1,14]。

值得注意的是,S1 的螺钉松动发生率较其他椎体发生率高,在包含有 S1 节段的脊柱融合术中 S1 螺钉松动发生率大约为 15.6%~46.5%^[14],而腰椎的螺钉松动率大约为 10%~20%^[5]。这是因为骶骨主要由松质骨组成,并且较其他节段承受更大的负荷。与腰椎椎弓根相比,S1 椎弓根具有直径大、长度短的解剖学特征。这些因素决定了 S1 螺钉松动率要高于腰椎螺钉松动率^[15]。另外,Banno 等^[16]对成人脊柱矫形术后随访发现螺钉松动多发生于固定节段的上端椎(UIV)及下端椎(LIV)。一项对青少年特发性脊柱侧凸(AIS)的最新研究^[17]也得出相同的结论,83.7%的螺钉松动位于上端椎及下端椎,并且越靠近固定节段端侧位置的螺钉,其发生螺钉松动的概率越高。其发生机制是由于多节段融合导致附加应力集中于固定节段端侧^[18]。

已报道的螺钉松动发生率差异很大,这可能和临床工作人员用于评价回访患者的方法及临床试验设计有关。如果对所有行螺钉内固定的患者均进行系统性的调查,螺钉松动率就可能很高;如果仅对有症状或螺钉置入失败的患者进行调查,而假设其他患者没有松动的话,就会得出较低松动发生率的结果。对于多节段固定而言,螺钉松动多发生于端侧椎体。由于很多研究推荐胸腰段手术下端固定融合到 S1,所以关于 S1 螺钉松动的研究报道较多。

3 临床表现与处理

尽管有很多螺钉松动的报道,但大部分螺钉松动患者无临床症状。即使出现较轻的临床症状,很多患者也可以使用药物控制。据统计,仅有 20%的螺钉松动患者出现严重后背痛。虽然螺钉松动是脊柱翻修手术的重要指征之一,但并不是所有的螺钉松动都意味脊柱不稳定及需要再次手术。Banno 等^[19]对脊柱矫形患者术后 2 年随访发现,未发生螺钉松动的患者的 ODI 较术前有显著改善,而松动组术后与术前相比没有统计学差异,但是发生螺钉松动的患者都无需行翻修手术。Bredow 等^[1]报道的 365 例患者中有 45 例患者术后发生了螺钉松动,其中有 23 例患者(6.3%)需要翻修手术,约占螺钉松动患者的 50%。一项对腰椎使用动态稳定系统固定的 126 例患者随访发现^[9],螺钉松动组与非松动组术后 3 个月、12 个月、24 个月的腰、腿痛 VAS 评分及 ODI 均无显著性差异,25 例发生松动的患者也无需行翻修手术。一项对青少年特发性侧凸畸形矫形术后的随访发现^[17],松动组及非松动组术后 6 个月的 SRS-22 评分未见明显差异,32 例发生螺钉松动患者中,均未出

现神经功能损伤及脑脊液漏等并发症,螺钉松动患者中 2 例出现矫形失败,其中 1 例患者 1 年后行翻修手术,32 例中有 3 例在骨性融合后取出内置物。但对于脊柱矫形术后患者而言,螺钉松动会导致假关节形成,可能出现进行性后凸畸形,严重时需要再次手术。

4 生物力学机制

螺钉松动的生物力学机制有:(1)应力遮挡,比如骨组织负载的减少会导致螺钉周围骨组织的重塑而过度负荷会导致微小骨折^[20];(2)由于前柱支撑不足导致骨和螺钉交界面的局部高应力也可能是螺钉松动的原因之一^[21];(3)置入物磨损碎屑的出现也会增加骨质溶解的风险,随之发生螺钉松动^[22];(4)内置物相关的感染也被认为与螺钉松动有关,但是缺乏相关机制的临床资料。

体外生物力学实验通常使用循环负载使螺钉-骨界面出现松动,进而利用轴向拔出测试评估椎弓根螺钉固定力。Mehmanparast 等^[23]使用猪的 L1~L3 椎体进行试验,实验组分别给予椎弓根螺钉头尾方向(CC 组)、内外侧方向(ML 组)最大位移为 ± 1 mm,频率为 3Hz 的 5000 次循环负荷,这种循环横向负载可以沿着螺钉-骨界面形成抗压应力,进而导致固定力及拔出力下降,结果显示螺钉的拔出力与刚度明显受循环负荷的方向及椎体水平影响,CC 组、ML 组、对照组的螺钉拔出力依次显著增加,而拔出力从 L1 到 L3 依次降低,椎体水平的影响可由螺钉与骨界面的面积解释。而且,该研究发现拔出力与椎弓根的骨密度显著相关。另一项人体腰椎体外生物力学试验表明,螺钉置入深度增加可以增加螺钉固定减少螺钉松动^[24]。

5 影响因素

螺钉松动作为椎弓根螺钉内固定的常见临床并发症之一,很多因素与之相关,可以分为患者因素、手术因素和螺钉因素等方面。

5.1 患者因素

很多研究表明年龄与螺钉松动有关^[25]。有研究^[26]将年龄>55 岁作为螺钉松动的危险因素,但是大量研究证实年龄增加会伴随骨密度降低,年龄的影响可能主要是骨密度降低的缘故。Wu 等^[9]发现螺钉松动患者的平均年龄比非松动患者大 5 岁,两者之间具有显著性差异;Kuo 等^[27]也发现了相似的结果。最近文献报道^[28,29],腰椎骨密度与年龄和骨髓的脂肪含量呈明显负相关,年龄是骨密度的关键影响因素。另外,有研究^[15,25,27]报道螺钉松动组和非松动组在性别方面无显著性差异。然而,最近一项对 81 例青少年特发性脊柱侧凸患者术后 2 年的随访研究^[19]显示,14 例男性中 8 例(57%)发生了螺钉松动,而在 67 例女性中仅有 18 例(27%)发生螺钉松动,提示男性较女性侧凸矫正术后更容易发生螺钉松动。而对腰骶椎融合而言,年龄>60 岁、女性患者是 S1 螺钉松动的危险因素^[30],但这也可能是由于骨密度的影响。

骨质疏松是螺钉松动的高危因素之一。研究发现螺钉松动患者的平均骨密度 T 值显著低于非松动患者^[31]。早期研究报道骨密度小于 $0.45\text{g}/\text{cm}^2$ 可能是前路脊柱固定术后发生螺钉松动的临界值^[32]。虽然骨质疏松被认为是螺钉松动的高危因素,但是关于骨质疏松患者螺钉松动率的临床资料比较缺乏。El Saman 等^[13]报道胸腰部或腰椎椎体骨折术后骨质疏松患者螺钉松动率为 62.8%。一项回顾性随机对照研究^[18]报道了腰椎管狭窄症术后 10.3% 的螺钉 (48/464) 发生了松动。在一项前瞻性研究中, Ohtori 等^[9]统计了 62 例绝经后女性退行性腰椎滑脱患者的术后资料, 骨质疏松患者作为观察组, 共置入 102 枚椎弓根螺钉, 其中有 15 枚螺钉在 X 线平片中出现了超过 1mm 的透亮区, 用 CT 对观察组进行检查, 发现 26 枚螺钉松动。

一项对 126 例行动态稳定系统内固定术后患者的回顾性研究^[5]发现, 2 型糖尿病患者的螺钉松动率 (36.0%) 显著高于血糖正常患者 (15.8%), 血糖控制良好患者 ($\text{HbA1c} \leq 8.0\%$) 螺钉松动率显著低于血糖控制不良患者。但是 Kim 等^[29]的研究结果显示螺钉松动组和非松动组在性别、BMI、高血压、糖尿病、吸烟饮酒史均无显著性差异; Kuo 等^[27]也得出了相同的结论。目前关于糖尿病对于骨质疏松及螺钉松动的影响还存在争议。

不同疾病术后螺钉松动的发生率差异较大。Liu 等^[33]报道了 13 例多节段腰椎滑脱患者, 术后未发现螺钉松动迹象。而一项回顾性研究^[34]发现, 38 例腰椎管狭窄患者术后 21.1% 患者发生了螺钉松动, 其中 24 例患者术前存在退变性腰椎滑脱, 但是腰椎滑脱组和非滑脱组螺钉松动发生率无显著性差异, 松动组及非松动组的 VAS 评分、ODI 改善情况也未见明显差异。Uehara 等^[17]报道 AIS 术后使用 CT 评估发现 27% 的患者、2.6% 螺钉发生松动, 成年脊柱畸形术后 31.7% 的患者出现影像学螺钉松动征象^[16]。一项对 25 例胸腰段骨折术后患者平均 16 个月随访发现, 均未发现螺钉松动^[35]。Zhao 等^[36]的研究统计, 行传统短节段固定 (TSSF) 的 35 例单节段胸腰部骨折患者, 术后 12 个月有 2 例患者出现螺钉断裂, 而行后路经伤椎置钉短节段固定 (PFFV) 的 32 例患者术后 12 个月未发现螺钉松动迹象。可见不同疾病的发病人群分布、手术策略、固定长短等方面存在较大差异, 故导致不同脊柱疾病术后螺钉松动差异很大。

肌肉 MRI 的 T2 加权像主要反映肌肉中脂肪的含量, 与肌肉的退变有关^[37]。Kim 等^[25]测量了术前椎旁肌 L5~S1 水平的横切面积及 MRI 的 T2 加权像中椎旁肌的平均信号强度, 结果发现 S1 螺钉松动组多裂肌及竖脊肌的横切面积显著小于非松动组, 且松动组的多裂肌及竖脊肌的信号强度显著高于松动组; 但腰大肌横切面积及 T2 像信号强度在两组间均无差异。

5.2 手术因素

Kim 等^[29]对 S1 螺钉松动的回顾性研究发现, 行 1 个 (L5/S1)、2 个 (L4~S1)、3 个 (L3~S1)、4 个 (L2~S1) 腰骶节

段融合的 S1 螺钉松动率分别为 2.0%、26.8%、50.0%、50.0%。3 和 4 个节段融合的患者 S1 螺钉松动发生率显著高于 1 个节段融合的患者。而在另一项腰骶椎融合固定研究中, 也得出了融合节段数的增加是 S1 螺钉松动的高危因素^[30]。还有研究报道了青少年及儿童脊柱侧凸等脊柱畸形术后的螺钉松动发生率, 与退行性疾病相比, 尽管因长节段固定而导致不良的力学负载条件, 即使是严重的畸形患者, 也没有更高的椎弓根螺钉松动发生率^[38]。可能与年轻患者有足够的骨强度有关。

动态稳定系统如 Dynesys 系统可以使应力更好地分布于整个脊柱节段, 但也增加了包括螺钉松动、感染、腰腿痛及椎体终板骨折等并发症的概率^[39]。一项对腰椎管狭窄症患者行椎板切除及 Dynesys 动态固定术后的研究发现, 4.6% 的螺钉发生松动^[34]。其他研究报道, Dynesys 动态稳定系统具有更高的螺钉松动率^[6], 甚至高达 73.5%^[40]。但是前一项研究患者的平均年龄为 43.6 ± 14.6 岁, 后者为 63.7 岁, 这可能与患者的骨密度也有很大关系, 但这两篇文都未报道此项指标。

脊柱融合术后, 由于代谢性疾病或感染等因素导致融合不成功或者融合不充分, 从而无法获得充分的前柱支撑甚至导致脊柱矢状位失衡。融合不成功或者融合不充分的骨-螺钉界面的应力明显高于融合成功者^[2]。Hwang 等^[20]回顾性分析了胸腰段 (T11~L2) 爆裂性骨折患者, 35 例非融合组患者中 7 例患者术后发生螺钉松动, 融合组 39 例患者中仅 1 例患者出现螺钉松动, 二者具有显著性差异, 但是未报道随访时的融合率。最近一篇对胸腰段爆裂性骨折治疗的 Meta 分析^[41]结果表明, 融合组及非融合组在影像学结果、功能改善及内植物失败率等方面均无显著性差异, 并且非融合组可以显著降低手术时间及术中出血量, 提示对于胸腰段爆裂性骨折使用椎弓根螺钉固定后, 融合并非必须。各种融合方式^[42~48]报道的术后融合率为 76.9%~100%, 螺钉松动率为 0~3.5%。有研究报道了骨质疏松患者使用膨胀式螺钉^[18]、术后静脉注射唑来磷酸^[49]可以显著增加实验组的融合率并且降低螺钉松动率, 但是没有分析融合率和松动率的关系。最近一篇文献关注了成人脊柱畸形术后 S1 及骶骨螺钉松动率与 L5/S1 融合率的关系, 发现松动组 L5/S1 椎间融合率显著低于未松动组^[9]。

从生物力学角度来看, 如果融合不良或未进行融合会导致术后螺钉所受负荷更重, 这种附加负荷会导致螺钉的微小移动和螺钉周围纤维组织的形成, 从而导致松动的发生。已经融合的螺钉松动可能多发生于融合完成之前。融合与非融合一直是脊柱外科争论热点之一, 但是目前关于螺钉松动与融合率的研究报道较少, 需要进行更多关于螺钉松动与融合及非融合的高质量随机对照研究。

不同术式也可能会影响螺钉松动的发生。有研究报道与腰椎后路椎体间融合 (PLIF) 相比, 经椎间孔入路腰椎体间融合术 (TLIF) 螺钉松动发生率较低^[50, 51]。而另一项对腰骶椎固定融合的研究表明, 相对于后外侧融合 (PLF) 手

术来说, TLIF 是 S1 松动的危险因素 (OR:5.54, 95% CI: 1.08-28.2)。

体外实验研究表明, 双皮质固定较单侧皮质具有更强的稳定性及更大的拔出力^[24], 但是双皮质固定应考虑大血管并发症, 如腹主动脉破裂、动脉瘤等。另一项研究^[52]分别对 S1 进行双皮质固定及单侧皮质加聚甲基丙烯酸甲酯 (PMMA) 骨水泥强化固定进行对比, 结果发现对于 BMD > 0.70g/cm³, 双皮质固定能获得更强的锚固强度; 而对于 BMD 介于 0.6~0.7g/cm³ 时, 单侧皮质加 PMMA 强化具有更好的固定力量; 当 BMD < 0.6g/cm³ 时, 双皮质固定及单侧皮质联合 PMMA 固定均在早期出现螺钉松动。Orita 等^[30]的研究发现, 在腰骶融合固定的患者中, 37 例患者向骶骨岬方向拧入椎弓根螺钉, 螺钉与骶椎后方皮质, 前方皮质以及骶椎前上方终板获得固定而实现所谓三皮质固定, 这 37 例患者术后 S1 螺钉均未出现松动迹象, 而在单侧皮质固定的 53 例患者中 18 例 (34.0%) 出现了螺钉松动征象。

Kim 等^[25]测量了 156 例患者的脊柱骨盆参数, 发现螺钉松动组的平均骨盆入射角 ($52.0^{\circ} \pm 9.8^{\circ}$) 要显著大于非松动组 ($45.8^{\circ} \pm 9.3^{\circ}$), 松动组在术前及术后的骨盆入射角-腰椎前凸角 (PI-LL) 均显著大于非松动组。另一项对成年脊柱矫形的研究也发现, 脊柱-骨盆平衡矫正不充分 (PI-LL > 10°) 是螺钉松动的危险因素^[19]。很多文献强调了术中纠正腰椎前凸角的重要性, LL 的减小似乎与腰背疼痛和功能丧失有关^[53]。Kim 等^[25]认为术前及术后较大的 PI-LL 均为螺钉松动的高危险因素, 而术后 PI-LL 可能更重要。另一项^[27]研究发现 PI 和 LL 在螺钉松动组和非松动组间无显著性差异, 但是术后 LL 增大患者比 LL 减小患者发生螺钉松动概率小, 提示 LL 减小是 S1 螺钉松动的一个危险因素。

5.3 螺钉因素

Uehara 等^[17]发现螺钉直径 $\leq 4.5\text{mm}$ 更易发生松动, 占松动螺钉总数的 56%。Kim 等^[25]同样关注了螺钉的相关参数, 比如螺钉直径、长度、骨内螺钉长度、轴角 (螺钉在横断面上与垂线的夹角)、矢状角 (矢状位螺钉与上终板间的夹角), 结果发现松动组的平均轴角要显著小于非松动组, 非松动组的骨内螺钉长度显著长于松动组, 但是两组之间的其他螺钉相关参数如矢状角、螺钉直径、使用螺钉的长度基本相似。但是体外生物力学研究发现, 短髓骨螺钉的最大拔出力显著低于长螺钉, 而且具有更高的松动率^[54]。也有研究报道^[30], 相对于螺钉与椎体中线夹角而言, 螺钉长度对松动的影

响并没有那么大。最近一项研究发现, 椎弓根螺钉穿出椎弓根是螺钉松动的危险因素, 术后 CT 评估椎弓根螺钉穿出椎弓根超过 2mm, 螺钉松动的概率将会增加 17 倍^[17]。还有一些其他因素, 比如反复置钉、是否加横杆固定、术后活动过早过重、支具保护时间不足等, 也被认为是影响螺钉松动的原因。

6 预防

目前临床上有很多方法成功用于预防螺钉松动, 但主要都是针对骨质疏松患者。为了提高椎弓根螺钉固定强度, 大量研究集中于椎弓根螺钉的改进和钉道的强化技术, 比如使用可膨胀螺钉、骨水泥强化等。

6.1 使用膨胀式椎弓根螺钉

为了研究膨胀式螺钉在骨质疏松时固定的生物力学, Chen 等^[55]使用人工合成骨模仿重度骨质疏松, 并且将其与传统螺钉及骨水泥强化螺钉进行了对比, 结果提示膨胀式螺钉拔出力和破坏能与用 2ml 骨水泥强化的螺钉相似, 相当于传统螺钉拔出力的 5 倍。Wu 等^[18]的研究表明, 在 80 例患者置入了 488 枚膨胀式螺钉, 20 枚螺钉发生了松动, 发生率不到传统螺钉的一半。他的另一篇文章^[56]报道 125 例骨质疏松患者置入的 998 枚膨胀式螺钉均未发现松动。Cook 等^[57]对 145 例患者置入了 389 枚膨胀式螺钉, 其中包括 21 例骨质疏松患者 (置入 97 枚螺钉), 也均未发现螺钉松动。

6.2 应用骨水泥强化技术

Frankel 等^[58]对 119 例患者进行了回顾性分析, 共置入 177 枚螺钉, 其中 158 枚螺钉使用 PMMA 加固, 剩余的螺钉未进行加固, 术后两种螺钉都未出现松动。另一项回顾性研究^[59]统计了 21 例骨质疏松及肿瘤患者, 置入 81 枚有孔螺钉, 并用 PMMA 加固, 也未见到螺钉松动。以上两项研究均以射线透亮区为诊断标准, 没有最小宽度限制。El Saman 等^[13]的研究发现 PMMA 强化螺钉可显著降低老年脊柱骨折患者术后螺钉松动率, 发生率仅为 4.3%。

但是该技术可能会出现骨水泥渗漏的并发症, 会导致运动无力、短暂的感觉迟钝、肺栓塞等, 发热、感染、低氧血症等系统性并发症也有报道^[60]。此外, 体外实验证明 PMMA 对髓核细胞有毒性作用, 会导致相邻椎间盘的提前退化, 如果骨水泥堵塞了椎体终板和血管将会加剧此过程。同时, 骨水泥栓塞的形成对于呼吸功能下降的老年人来说可能有严重的后果。

6.3 使用骨引导材料涂层螺钉

实验动物研究发现, 含羟磷灰石等骨引导材料涂层的螺钉可以增强置入物的稳定性^[61]。Liu 等^[62]发现, 使用胶原蛋白、羟磷灰石及软骨素硫酸等涂层材料可以促进螺钉表面骨形成, 增加螺钉的拔出力。这种螺钉可能会给骨质疏松患者提供很大的帮助, 但是仍然缺乏高水平的临床验证。

6.4 应用椎弓根皮质骨轨迹螺钉固定技术

2009 年, Santoni 等^[63]介绍了一种由内向外倾斜置钉的技术, 即椎弓根皮质骨轨迹 (CBT) 螺钉固定技术。该技术使螺钉最大化地接触皮质骨, 相对于传统螺钉增加了 30% 把持力。在严重骨质疏松的患者中, 松质骨的 BMD 下降而对皮质骨影响较小, CBT 螺钉固定增强把持力的原理正是基于椎弓根的皮质骨轨迹, 因而 CBT 技术在这类人群中表现出更好的生物力学稳定性。

Mai 等^[64]使用 CT 值估计骨密度,发现各年龄段人群在 L1~L5 节段 CBT 固定点部位的骨密度均显著高于传统螺钉固定点,骨质疏松患者组中这种差异平均为 73.4%,而非骨质疏松患者组中仅为 20.8%。也就是说,对于骨质疏松患者,CBT 固定点部位的骨密度高于传统螺钉固定点,CBT 更适合于骨质疏松患者。但是目前没有大数据研究证明 CBT 技术对于骨质疏松患者的效果,而且,CBT 也存在一些潜在风险,如螺钉直径过大会导致椎弓根骨折,螺钉穿透骨皮质极易损伤上位神经根,而头倾角不够时会损伤下位神经根等。另外,Glennie 等^[65]和 Cheng 等^[66]均报道 CBT 高螺钉松动率也值得注意。

6.5 应用药物

双磷酸盐是治疗骨质疏松的一线用药,实验证明间断给予甲状旁腺激素可以有效地促进骨的重塑,重组人体 PTH(特立帕肽)已被美国、欧洲和日本用于重度骨质疏松的治疗。Ohtori 等^[9]比较了双磷酸盐和特立帕肽对腰椎融合术后螺钉松动发生率的影响,发现双磷酸盐治疗不能改善螺钉松动率,而特立帕肽可以显著降低螺钉松动的发生率。

7 总结

椎弓根螺钉内固定技术被广泛用于脊柱疾病的治疗,但是螺钉松动的发生值得关注。虽然目前没有螺钉松动的统一诊断标准,但将骨-螺钉界面 X 线透亮区宽度超过 1mm 作为螺钉松动的诊断依据被大多数临床研究所使用,CT 诊断螺钉松动的敏感度更高。由于诊断依据不同,研究者对患者的回访途径不同等方面的差异,螺钉松动的发生率的报道差异很大。尽管很多研究报道了螺钉松动的可能危险因素,但大多数研究均采用的是单因素分析,更多关于螺钉松动多因素回归分析研究需要进一步实施。未来需要更多的研究来规范螺钉松动的诊断标准,统一螺钉松动的分类,确定螺钉松动的临床意义。

8 参考文献

- Bredow J, Boese CK, Werner CM, et al. Predictive validity of preoperative CT scans and the risk of pedicle screw loosening in spinal surgery[J]. Arch Orthop Trauma Surg, 2016, 136(8): 1063-1067.
- Galbusera F, Volkheimer D, Reitmaier S, et al. Pedicle screw loosening: a clinically relevant complication[J]. Eur Spine J, 2015, 24(5): 1005-1016.
- Schatzker J, Horne JG, Sumner-Smith G. The effect of movement on the holding power of screws in bone[J]. Clin Orthop Relat Res, 1975, 111: 257-262.
- Sanden B, Olerud C, Petren-Mallmin M, et al. The significance of radiolucent zones surrounding pedicle screws: definition of screw loosening in spinal instrumentation [J]. J Bone Joint Surg Br, 2004, 86(3): 457-461.
- Wu JC, Huang WC, Tsai HW, et al. Pedicle screw loosening

- in dynamic stabilization: incidence, risk, and outcome in 126 patients[J]. Neurosurg Focus, 2011, 31(4): E9.
- Ko CC, Tsai H W, Huang W C, et al. Screw loosening in the Dynesys stabilization system: radiographic evidence and effect on outcomes[J]. Neurosurg Focus, 2010, 28(6): E10.
- Dakhil-Jerew F, Jadeja H, Cohen A, et al. Inter-observer reliability of detecting Dynesys pedicle screw using plain X-rays: a study on 50 post-operative patients[J]. Eur Spine J, 2009, 18(10): 1486-1493.
- Aghayev E, Zullig N, Diel P, et al. Development and validation of a quantitative method to assess pedicle screw loosening in posterior spine instrumentation on plain radiographs [J]. Eur Spine J, 2014, 23(3): 689-694.
- Ohtori S, Inoue G, Orita S, et al. Comparison of teriparatide and bisphosphonate treatment to reduce pedicle screw loosening after lumbar spinal fusion surgery in postmenopausal women with osteoporosis from a bone quality perspective [J]. Spine(Phila Pa 1976), 2013, 38(8): E487-E492.
- Abul-Kasim K, Ohlin A. Evaluation of implant loosening following segmental pedicle screw fixation in adolescent idiopathic scoliosis: a 2 year follow-up with low-dose CT [J]. Scoliosis, 2014, 9: 13.
- Hudiana H, Maes A, Vandenberghe T, et al. Accuracy of bone SPECT/CT for identifying hardware loosening in patients who underwent lumbar fusion with pedicle screws [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2016, 43(2): 349-354.
- Seifen T, Rodrigues M, Rettenbacher L, et al. The value of (18)F-fluoride PET/CT in the assessment of screw loosening in patients after intervertebral fusion stabilization [J]. Eur J Nucl Med Mol Imaging, 2015, 42(2): 272-277.
- El Saman A, Meier S, Sander A, et al. Reduced loosening rate and loss of correction following posterior stabilization with or without PMMA augmentation of pedicle screws in vertebral fractures in the elderly [J]. Eur J Trauma Emerg Surg, 2013, 39(5): 455-460.
- Finger T, Bayerl S, Onken J, et al. Sacropelvic fixation versus fusion to the sacrum for spondylodesis in multilevel degenerative spine disease[J]. Eur Spine J, 2014, 23(5): 1013-1020.
- McLachlin SD, Al SK, Gurr KR, et al. Comparative assessment of sacral screw loosening augmented with PMMA versus a calcium triglyceride bone cement [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2011, 36(11): E699-E704.
- Banno T, Hasegawa T, Yamato Y, et al. Assessment of the change in alignment of fixed segment after adult spinal deformity surgery [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2017, [Epub ahead of print]
- Uehara M, Takahashi J, Ikegami S, et al. Pedicle screw loosening after posterior spinal fusion for adolescent idiopathic scoliosis in upper and lower instrumented vertebrae having major perforation [J]. Spine (Phila Pa 1976), 2017,

- [Epub ahead of print].
18. Wu ZX, Gong FT, Liu L, et al. A comparative study on screw loosening in osteoporotic lumbar spine fusion between expandable and conventional pedicle screws[J]. *Arch Orthop Trauma Surg*, 2012, 132(4): 471–476.
 19. Banno T, Hasegawa T, Yamato Y, et al. The prevalence and risk factors of iliac screw loosening after adult spinal deformity surgery[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2016, [Epub ahead of print]
 20. Hwang JH, Modi HN, Yang JH, et al. Short segment pedicle screw fixation for unstable T11–L2 fractures: with or without fusion? a three-year follow-up study[J]. *Acta Orthop Belg*. 2009, 75(6): 822–827.
 21. Villa T, La Barbera L, Galbusera F. Comparative analysis of international standards for the fatigue testing of posterior spinal fixation systems[J]. *Spine J*, 2014, 14(4): 695–704.
 22. Botolin S, Merritt C, Erickson M. Aseptic loosening of pedicle screw as a result of metal wear debris in a pediatric patient[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(1): E38–E42.
 23. Mehmanparast H, Petit Y, Mac-Thiong JM. Comparison of pedicle screw loosening mechanisms and the effect on fixation strength[J]. *J Biomech Eng*, 2015, 137(12): 121003.
 24. Karami KJ, Buckenmeyer LE, Kiapour AM, et al. Biomechanical evaluation of the pedicle screw insertion depth effect on screw stability under cyclic loading and subsequent pullout[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2015, 28(3): E133–E139.
 25. Kim JB, Park SW, Lee YS, et al. The effects of spinopelvic parameters and paraspinal muscle degeneration on S1 screw loosening[J]. *J Korean Neurosurg Soc*, 2015, 58(4): 357–362.
 26. Ko CC, Tsai HW, Huang WC, et al. Screw loosening in the Dynesys stabilization system: radiographic evidence and effect on outcomes[J]. *Neurosurg Focus*, 2010, 28(6): E10.
 27. Kuo CH, Chang PY, Tu TH, et al. The effect of lumbar lordosis on screw loosening in Dynesys dynamic stabilization: four-year follow-up with computed tomography [J]. *Biomed Res Int*, 2015, 2015: 152435.
 28. Yang X, Kong Q, Song Y, et al. Clinical application of pedicle screw fixation under guidance of computer assisted navigation in patients with osteoporosis[J]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*, 2012, 26(2): 196–200.
 29. Agrawal K, Agarwal Y, Chopra RK, et al. Evaluation of MR spectroscopy and diffusion-weighted MRI in postmenopausal bone strength[J]. *Cureus*, 2015, 7(9): e327.
 30. Orita S, Ohtori S, Eguchi Y, et al. Radiographic evaluation of monocortical versus tricortical purchase approaches in lumbosacral fixation with sacral pedicle screws: a prospective study of ninety consecutive patients[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(22): E1230–E1237.
 31. Schwaiger BJ, Gersing AS, Baum T, et al. Bone mineral density values derived from routine lumbar spine multidetector row CT predict osteoporotic vertebral fractures and screw loosening[J]. *AJNR Am J Neuroradiol*, 2014, 35(8): 1628–1633.
 32. Lim TH, An HS, Hasegawa T, et al. Prediction of fatigue screw loosening in anterior spinal fixation using dual energy x-ray absorptiometry[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1995, 20(23): 2565–2568, 2569.
 33. Liu X, Wang L, Yuan S, et al. Multiple-level lumbar spondylolysis and spondylolisthesis [J]. *J Neurosurg Spine*, 2015, 22(3): 283–287.
 34. Fay LY, Wu JC, Tsai TY, et al. Dynamic stabilization for degenerative spondylolisthesis: evaluation of radiographic and clinical outcomes[J]. *Clin Neurol Neurosurg*, 2013, 115(5): 535–541.
 35. Li Q, Liu Y, Chu Z, et al. Treatment of thoracolumbar fractures with transpedicular intervertebral bone graft and pedicle screws fixation in injured vertebrae[J]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*, 2011, 25(8): 956–959.
 36. Zhao QM, Gu XF, Yang HL, et al. Surgical outcome of posterior fixation, including fractured vertebra, for thoracolumbar fractures[J]. *Neurosciences(Riyadh)*, 2015, 20(4): 362–367.
 37. Kim HK, Laor T, Horn PS, et al. T2 mapping in Duchenne muscular dystrophy: distribution of disease activity and correlation with clinical assessments[J]. *Radiology*, 2010, 255(3): 899–908.
 38. Di Silvestre M, Bakaloudis G, Lolli F, et al. Posterior fusion only for thoracic adolescent idiopathic scoliosis of more than 80 degrees: pedicle screws versus hybrid instrumentation[J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(10): 1336–1349.
 39. Mavrogenis AF, Vottis C, Triantafyllopoulos G, et al. PEEK rod systems for the spine [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014, 24(Suppl 1): S111–S116.
 40. Lutz JA, Otten P, Maestretti G. Late infections after dynamic stabilization of the lumbar spine with Dynesys[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(12): 2573–2579.
 41. Tian NF, Wu YS, Zhang XL, et al. Fusion versus nonfusion for surgically treated thoracolumbar burst fractures: a meta-analysis[J]. *PLoS One*, 2013, 8(5): e63995.
 42. Zeng ZY, Wu P, Song YX, et al. Unilateral pedicle screw fixation combined with contralateral percutaneous translaminar facet screw fixation and lumbar interbody fusion for the treatment of lower lumbar diseases: an analysis of complications[J]. *Zhongguo Gu Shang*, 2016, 29(3): 232–241.
 43. Bingqian C, Feng X, Xiaowen S, et al. Modified posterior lumbar interbody fusion using a single cage with unilateral pedicle screws: a retrospective clinical study [J]. *J Orthop Surg Res*, 2015, 10: 98.
 44. Yuan Q, Zhang G, Wu J, et al. Clinical evaluation of the polymethylmethacrylate-augmented thoracic and lumbar pedicle screw fixation guided by the three-dimensional navigation for the osteoporosis patients[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(5): 1043–1050.

45. Lu ML, Niu CC, Tsai TT, et al. Transforaminal lumbar interbody debridement and fusion for the treatment of infective spondylodiscitis in the lumbar spine[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(3): 555–560.
46. Zhu Y, Zhang Y, Fang J, et al. [Mid-term outcomes of unilateral pedicle screw fixation with lumbar interbody fusion for lumbar degenerative diseases][J]. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*, 2014, 94(17): 1326–1329.
47. Xie Y, Ma H, Li H, et al. Comparative study of unilateral and bilateral pedicle screw fixation in posterior lumbar interbody fusion[J]. *Orthopedics*, 2012, 35(10): e1517–e1523.
48. Humke T, Grob D, Dvorak J, et al. Translaminar screw fixation of the lumbar and lumbosacral spine: a 5-year follow-up[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1998, 23(10): 1180–1184.
49. Tu CW, Huang KF, Hsu HT, et al. Zoledronic acid infusion for lumbar interbody fusion in osteoporosis [J]. *J Surg Res*, 2014, 192(1): 112–116.
50. Yan DL, Pei FX, Li J, et al. Comparative study of PILF and TLIF treatment in adult degenerative spondylolisthesis[J]. *Eur Spine J*, 2008, 17(10): 1311–1316.
51. Humphreys SC, Hodges SD, Patwardhan AG, et al. Comparison of posterior and transforaminal approaches to lumbar interbody fusion[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2001, 26(5): 567–571.
52. Zhuang XM, Yu BS, Zheng ZM, et al. Effect of the degree of osteoporosis on the biomechanical anchoring strength of the sacral pedicle screws: an in vitro comparison between unaugmented bicortical screws and polymethylmethacrylate augmented unicortical screws[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(19): E925–E931.
53. Lazenec JY, Ramare S, Arafati N, et al. Sagittal alignment in lumbosacral fusion: relations between radiological parameters and pain[J]. *Eur Spine J*, 2000, 9(1): 47–55.
54. Zheng ZM, Zhang KB, Zhang JF, et al. The effect of screw length and bone cement augmentation on the fixation strength of iliac screws: a biomechanical study[J]. *J Spinal Disord Tech*, 2009, 22(8): 545–550.
55. Chen YL, Chen WC, Chou CW, et al. Biomechanical study of expandable pedicle screw fixation in severe osteoporotic bone comparing with conventional and cement-augmented pedicle screws[J]. *Med Eng Phys*, 2014, 36(11): 1416–1420.
56. Wu ZX, Cui G, Lei W, et al. Application of an expandable pedicle screw in the severe osteoporotic spine: a preliminary study[J]. *Clin Invest Med*, 2010, 33(6): E368–E374.
57. Cook SD, Barbera J, Rubi M, et al. Lumbosacral fixation using expandable pedicle screws: an alternative in reoperation and osteoporosis[J]. *Spine J*, 2001, 1(2): 109–114.
58. Frankel BM, Jones T, Wang C. Segmental polymethylmethacrylate-augmented pedicle screw fixation in patients with bone softening caused by osteoporosis and metastatic tumor involvement: a clinical evaluation [J]. *Neurosurgery*, 2007, 61(3): 531–537, 537–538.
59. Amendola L, Gasbarrini A, Fosco M, et al. Fenestrated pedicle screws for cement-augmented purchase in patients with bone softening: a review of 21 cases [J]. *J Orthop Traumatol*, 2011, 12(4): 193–199.
60. Seo JH, Ju CI, Kim SW, et al. Clinical efficacy of bone cement augmented screw fixation for the severe osteoporotic spine[J]. *Korean J Spine*, 2012, 9(2): 79–84.
61. Upasani VV, Farnsworth CL, Tomlinson T, et al. Pedicle screw surface coatings improve fixation in nonfusion spinal constructs[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(4): 335–343.
62. Liu GM, Kong N, Zhang XY, et al. Extracellular matrix-coating pedicle screws conduct and induce osteogenesis [J]. *Eur J Orthop Surg Traumatol*, 2014, 24(Suppl 1): S173–S182.
63. Santoni BG, Hynes RA, McGilvray KC, et al. Cortical bone trajectory for lumbar pedicle screws[J]. *Spine J*, 2009, 9(5): 366–373.
64. Mai HT, Mitchell SM, Hashmi SZ, et al. Differences in bone mineral density of fixation points between lumbar cortical and traditional pedicle screws[J]. *Spine J*, 2016, 16(7): 835–841.
65. Glennie RA, Dea N, Kwon BK, et al. Early clinical results with cortically based pedicle screw trajectory for fusion of the degenerative lumbar spine[J]. *J Clin Neurosci*, 2015, 22(6): 972–975.
66. Cheng WK, Akpolat YT, Inceoglu S, et al. Pars and pedicle fracture and screw loosening associated with cortical bone trajectory: a case series and proposed mechanism through a cadaveric study[J]. *Spine J*, 2016, 16(2): e59–e65.

(收稿日期:2017-06-06 末次修回日期:2017-07-14)

(本文编辑 卢庆霞)