

基础研究

髂骨螺钉松动四种翻修技术的生物力学比较

于滨生, 庄新明, 李泽民, 郑召民, 王泰平

(中山大学附属第一医院脊柱外科 骨科研究所 510700 广州市黄埔东路 183 号)

【摘要】目的:比较松质骨填充钉道、增加螺钉长度、传统聚甲基丙烯酸甲酯(polymethylmethacrylate, PMMA)强化钉道和外板开窗 PMMA 强化钉道四种方法翻修松动髂骨螺钉后的固定强度, 探讨髂骨螺钉松动的理想补救手段。**方法:**8 具成人防腐尸体骨盆标本, 经双能 X 光吸收法测定骨密度后, 将直径 7.5mm 髂骨短钉(长度为 70mm)分别置入左右髂骨(A 组), 通过 MTS 材料试验机向螺钉尾部施加 100~300N 垂直循环载荷 2000 次后, 测试髂骨螺钉的轴向拔出力。用松质骨紧密填充两侧钉道后, 在左侧钉道内置入短钉(B 组), 右侧钉道置入长度为 100mm 的髂骨长钉(C 组), 重复上述测试。将左侧钉道内注满 PMMA 后, 再次置入髂骨短钉(D 组); 将另 1 枚髂骨短钉置入右侧钉道, 以螺钉中点为中心沿螺钉轴线的髂骨外板处开窗, 高度 20mm、长度 40mm、深度至内板皮质, 灌注 PMMA(E 组); D 组和 E 组重复上述测试。记录各组髂骨螺钉的轴向最大拔出力并进行比较。**结果:**8 具标本的骨密度为 0.75~0.91g/cm², 平均为 0.85±0.05g/cm²。A~E 组的最大拔出力分别为 1174±542N、261±89N、769±317N、1954±623N 和 1820±659N, D 组与 E 组比较无显著性差异($P>0.05$), D 组与 E 组显著高于 A、B 和 C 组($P<0.05$), C 组显著高于 B 组($P<0.05$), B 组和 C 组显著低于 A 组($P<0.05$)。**结论:**松质骨填充钉道和增加螺钉长度不能恢复髂骨螺钉的锚定强度; 外板开窗 PMMA 强化和传统 PMMA 强化后置钉可使髂骨螺钉获得更高的锚定强度; 从微创角度, 外板开窗 PMMA 强化可能成为髂骨螺钉松动的理想补救手段。

【关键词】腰骶融合; 髂骨螺钉固定; 螺钉松动; 翻修; 聚甲基丙烯酸甲酯; 生物力学

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2010.04.04

中图分类号: R687.3, R318.01 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2010)-04-0272-05

Biomechanical test of 4 revision techniques for loosened iliac screw/YU Binsheng, ZHUANG Xinming, LI Zemin, et al/Chinese Journal of Spine and Spinal Cord, 2010, 20(4): 272~276

【Abstract】Objective: To compare 4 revision techniques in terms of stuffing cancellous bone, increasing screw length, traditional polymethylmethacrylate (PMMA) augmentation and outer cortical window PMMA augmentation for the salvage of loosened iliac screw, and to determine the favorable protocol. **Method:** 8 preserved human cadaver pelvis were used in this study. After measuring bone mineral density (BMD) by dual-energy radiograph absorptiometry, 7.5mm diameter and 70mm length iliac screws were inserted into bilateral side of ilium (group A). 2000 cyclic of 100~300N compressive loading was added to the screw tail, the axial pull-out strength of iliac screw were measured on a MTS material testing machine. After stuffing the two screw path with cancellous bone, the iliac screw with same length was reinserted into the left side (group B) and another iliac screw with the length of 100mm was placed in the right side (group C). The test mentioned above was repeated, and then the left screw path was filled with PMMA and 70mm length iliac screw was inserted (group D). Another 70mm length screw was inserted into the right side, and an outer cortical window with 40mm length, 20mm height, depth to the inner cortical bone was made around the screw center and filled up with PMMA (group E). Lastly, the PMMA augmented screws were retested as before. The maximum pull-out strengths of the five screwing techniques were measured and compared biomechanically. **Result:** The average BMD value of 8 specimens was 0.85±0.05g/cm², ranged from 0.75 to 0.91g/cm². The maximum pull-out strengths for group A~E were 1174±542N, 261±89N, 769±317N, 1954±623N and 1820±659N respectively. No significant difference with respect to maximum pull-out strength was noted between group D and E ($P>0.05$), however, the two PMMA aug

基金项目: 广东省科技计划项目 (2008B050100012 和 2009B050700023)

第一作者简介: 男 (1966-), 副教授, 医学博士, 研究方向: 脊柱临床与生物力学

电话: (020) 82379597 E-mail: hpyubinsheng@hotmail.com

mented techniques provided obviously higher maximum pull-out strength than those in group A, B and C ($P < 0.05$). Although group C showed markedly higher maximum pull-out strength than group B ($P < 0.05$), significantly lower maximum pull-out strength was documented in group B and C than that in group A ($P < 0.05$). **Conclusion:** Stuffing cancellous bone and increasing screw length can not afford the anchoring strength of iliac screw; while the traditional and opening window PMMA augmentation are capacitated to improve iliac screw fixation strength effectively. Based on minimal invasive prospect, outer cortical window PMMA augmentation may serve as an ideal salvage technique for loosened iliac screw.

[Key words] Lumbosacral spine fusion; Iliac screw fixation; Implant failure; Revision; Polymethylmethacrylate; Biomechanics

[Author's address] Department of Spinal Surgery and Orthopaedics Research Center, the First Affiliated Hospital, Sun Yat-sen University, Guangzhou, 510700, China

髂骨螺钉固定技术常用于腰椎-骨盆间的稳定性重建^[1-4]。虽然在矫正畸形和获得即刻稳定方面获得了良好效果,但临床研究结果表明髂骨螺钉随时间延长与负荷累加有较高的松动率^[1,2,4]。髂骨螺钉松动一旦导致腰骶部矫正丢失、融合失败或轴性疼痛,需要对其进行修复^[1,4]。虽然增加螺钉直径和长度、钉道内填充松质骨、应用聚甲基丙烯酸甲酯(polymethylmethacrylate, PMMA)钉道强化等技术已成为胸腰椎椎弓根螺钉松动的翻修方法^[5],但如何修复松动的髂骨螺钉的报道却非常少见^[6-8]。更换螺钉这一传统修复方式必将给长节段腰骶固定的患者带来较大创伤。Klein 和 Rubash^[9]报道了股骨上段皮质开窗 PMMA 强化修复松动股骨柄的技术。然而,至今尚没有报道将这一微创的修复方法用于髂骨螺钉松动的翻修。本研究比较松质骨填塞钉道、增加螺钉长度、传统 PMMA 强化和外板开窗 PMMA 强化四种方法翻修松动髂骨螺钉后的固定强度,以明确何种修复方法可作为髂骨螺钉松动的理想补救手段。

1 材料与方法

1.1 标本来源与处理

8 具成人防腐尸体(由中山大学医学院解剖教研室提供),男性 5 具、女性 3 具,死亡年龄 58~76 岁,平均 67.2 岁。X 光摄片证实无肿瘤、炎症引起的骨质破坏和解剖学变异。采用双能 X 线吸收法骨密度测试仪(dual energy X-ray absorptiometry, DEXA)对尸体 L1~L4 的骨密度(bone mineral density, BMD)进行测定。从尸体中切取完整骨盆标本,并用双层塑料袋将其包裹后-20℃下密封保存。实验前,将标本在室温下解冻 24h,细致剔除附着肌肉,并注意保持各韧带、骨骼和关节结构的完整。将双侧坐骨结节用 PMMA 包埋固定,并

使两侧髂前上棘和耻骨结节所处平面与实验台垂直以模拟人体站立位。

1.2 5 种髂骨螺钉固定模型的建立

使用直径 7.5mm 的髂骨短钉(长度为 70mm)和长钉(长度为 100mm)(Medtronic-WeiGao 公司,中国)和医用 PMMA(Stryker 公司,美国)依次建立 5 种髂骨螺钉固定模型。(1)髂骨短钉固定(A 组, $n=16$):以髂后上棘顶点为中心切除 20×20mm 髂骨,其深度与髂骨翼平齐。以截骨面的中心为进钉点,向髂前下棘用骨锥在髂骨内外板之间开路,然后用直径 7.0mm 丝攻扩髓深度达 70mm 后,置入髂骨短钉。(2)松质骨填塞钉道(B 组, $n=8$):A 组生物力学测试后,从髂骨翼取部分松质骨,紧密填塞左侧髂骨钉道,并将髂骨短钉再次旋入。(3)增加螺钉长度(C 组, $n=8$):A 组测试后,用松质骨紧密填塞右侧钉道,使用直径 7.0mm 的攻丝沿原钉道扩髓,深度达 100mm,并置入长度 100mm 的髂骨螺钉。(4)传统钉道 PMMA 强化(D 组, $n=8$):B 组测试后,用刮匙清除左侧钉道内的游离松质骨,将 PMMA 充分搅拌 1min,装入注射管中并等待 2min 至“面团”期后,将 PMMA 注满左侧髂骨钉道,迅速置入髂骨短钉。(5)外板开窗 PMMA 强化(E 组, $n=8$):C 组测试后,将髂骨短钉置入右侧钉道,以螺钉中点为中心,沿钉道长轴开窗,其高度 20mm、长度 40mm,深度至内板皮质,清除游离的松质骨,将搅拌 1min 后的 PMMA 注入骨窗至外侧皮质水平,用与窗口同样尺寸的金属板封堵窗口,并施加 40N 压力(PMMA 压强为 500Pa),直到 PMMA 凝固(图 1)。

1.3 生物力学测试

将一侧髂骨螺钉与 5.5mm×200mm 直的连接棒紧密固定,并使连接棒与实验台面保持垂直。将标本的尾端包埋块与 858 型 MTS 材料试验机

(MTS 公司, 美国) 的下方夹具紧密固定(图 2)。在 MTS 材料实验机上, 通过连接棒给髂骨钉的尾部施加 100~300N 的循环压力载荷, 加载频率为 1Hz, 共计 5000 次。将自制的拔出装置固定到 MTS 上, 对髂骨螺钉行轴向拔出测试。拔出速度为 0.01mm/s, 拔出过程中的拉力和位移通过传感器连续记录到 MTS 专用电脑。5 种模型的建立与测试顺序依次进行, 在疲劳测试前后均进行 X 线片检查(图 3), 以判断螺钉置入的深度和方向、疲劳测试后是否出现螺钉松动。实验中, 始终用加湿器使标本保持湿润。

1.4 数据处理

绘制拔出-位移曲线, 曲线的顶点值定义为髂骨螺钉的最大拔出。组间比较采用 SPSS 软件 (11.5 版) 的 Friedman 秩和分析并结合 Wilcoxon 检验; $P < 0.05$ 为有显著性差异。

2 结果

8 具标本的腰椎骨密度为 $0.75 \sim 0.91 \text{ g/cm}^2$, 平均 $0.85 \pm 0.05 \text{ g/cm}^2$ 。所有髂骨螺钉均准确置入预计钉道, 未见螺钉穿入髓白和穿破内外板等情况。

A~E 组的最大拔出力分别为 $1174 \pm 542 \text{ N}$ 、 $261 \pm 89 \text{ N}$ 、 $769 \pm 317 \text{ N}$ 、 $1954 \pm 623 \text{ N}$ 和 $1820 \pm 659 \text{ N}$, Friedman 秩和分析结果为 $\chi^2 = 20.3$, $P = 0.001$, 组间存在显著性差异, D 组与 E 组比较无显著性差异 ($P > 0.05$), D、E 组显著高于 A、B 和 C 组 ($P < 0.05$), C 组显著高于 B 组 ($P < 0.05$), B 组和 C 组显著低于 A 组 ($P < 0.05$)。

3 讨论

影像学和解剖学研究结果表明从髂后上棘至髂前下棘的柱状区域为髂骨螺钉的锚定通道已成为共识^[7,10-12]。在坐骨切迹 (距离进钉点大约 70mm) 上方的内外板间富含皮质骨, 可为髂骨螺钉提供坚强的锚定^[7,10,11]。但 Miller 等^[12]的研究结果表明, 当髂骨螺钉长度超过 100mm 时, 螺钉穿破内外板和穿入髓白的几率可高达 25%。因此, 临床多数采用长度为 60~80mm 髂骨螺钉固定^[1,4]。本研究将髂骨长钉和短钉的长度分别定义为 100mm 和 70mm。从髂后上棘至髓白水平存在高度 32.1mm 和宽度 22.6mm 的骨性区域^[11], 适合于外板开窗修复松动的髂骨螺钉。

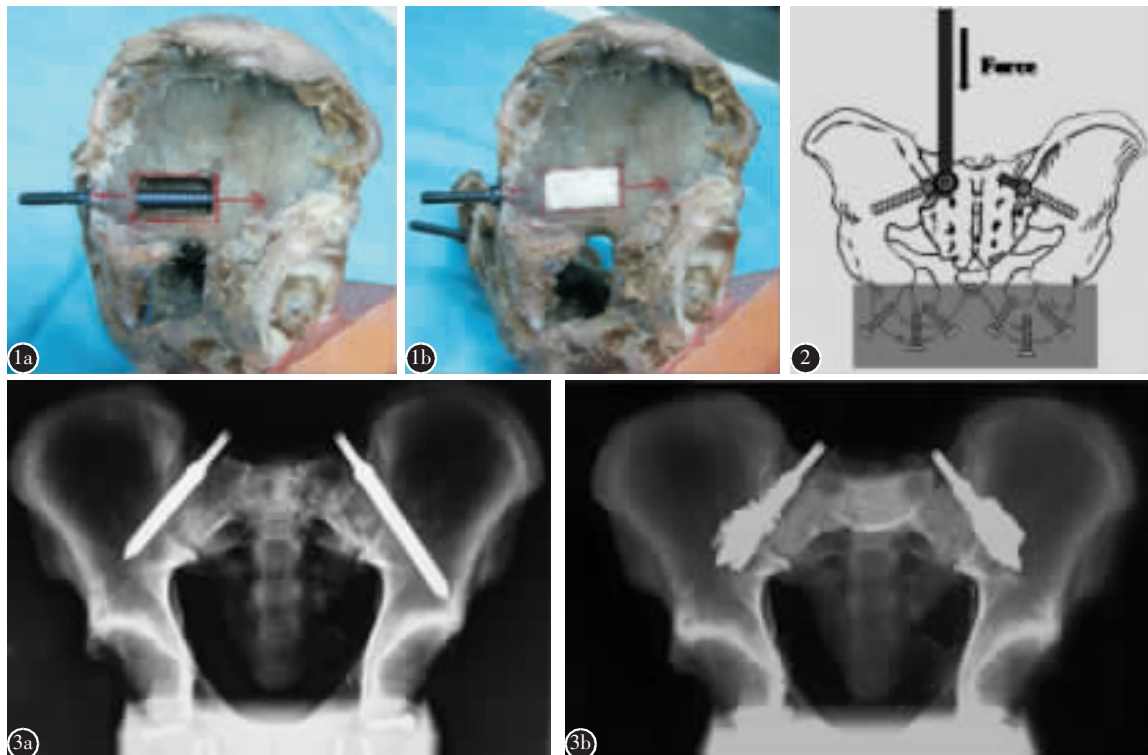


图 1 外板开窗髂骨螺钉强化技术的实物照片 a 以螺钉中点为中心, 沿钉道长轴的外板开窗, 其高度 20mm、长度 40mm, 且深度至内板皮质 b 开窗处用 PMMA 填塞至外板皮质 图 2 生物力学实验示意图 图 3 髂骨螺钉松动四种翻修技术的后前位 X 线片 a 松质骨填塞钉道(左)和增加螺钉长度 b 传统 PMMA 强化(左)和外板开窗 PMMA 强化

临床研究结果表明,由于处于松质骨中,髂骨螺钉随着载荷次数的增加容易发生松动^[1,4],松动率可高达 43%^[4]。Pfeifer 等^[5]的生物力学研究结果表明通过钉道内填塞松质骨翻修松动的椎弓根螺钉仅能恢复初始固定强度的 69%。与其研究结果相似,本研究结果显示松质骨填塞钉道所获得的固定强度仅为初始固定强度的 22%。髂骨螺钉翻修的目的在于再次获得更高的锚定强度,以把持矫形和固定位置,直到坚强融合的实现。因此,钉道内填塞松质骨不能作为髂骨螺钉松动的修复手段。

Zheng 等^[8]认为髓白是传导应力的主要结构,其周围高密度松质骨可为髂骨螺钉提供坚强的锚定。Akesen 等^[6]评价了增加螺钉直径和长度翻修松动髂骨螺钉的生物力学强度,结果显示增加螺钉的直径可显著提高固定强度,增加螺钉长度则难以提高髂骨螺钉的锚定强度。本研究结果同样表明,虽然增加螺钉长度的修复方法的固定强度显著高于单纯钉道内填塞松质骨,但显著低于髂骨短钉固定的初始状态。由于不能获得更坚强的固定且增加了螺钉穿出内外板的风险,因此,增加螺钉长度的方法不能用于髂骨螺钉松动的翻修。

Zheng 等^[8]评价了传统 PMMA 强化对髂骨螺钉锚定强度的影响,结果表明 PMMA 强化固定后的最大拔出力显著高于仅通过坐骨切迹的髂骨短钉固定。本研究结果进一步证明传统 PMMA 强化和外板开窗 PMMA 强化均可提高髂骨螺钉的锚定强度。从提高固定强度的角度,开窗 PMMA 强化与传统 PMMA 强化一样可作为髂骨螺钉松动的修复手段。生物力学研究结果表明,增加 PMMA 注射压力和注射量可显著提高椎弓根螺钉的固定强度^[13]。为使髂骨螺钉周围填充更多的 PMMA,以提高钉-骨界面的结合强度,本研究选择了沿钉道外板开窗 20mm 高和 40mm 长,并在灌注 PMMA 后,给 PMMA 施加 500Pa 的压强以促进 PMMA 与松质骨间的结合。但是,该压强远远低于椎体成形技术中的压强^[13]。因此,为提高开窗强化技术的锚定强度,需要对高压注射 PMMA 的强化效果做进一步探讨。

在使用髂骨螺钉技术的长节段腰-髂固定中,髂骨螺钉常通过连接棒与腰骶椎的椎弓根螺钉或骨钩相连,修复髂骨螺钉固定需要事先拆除所有钉-棒连接点和连接棒。因此,传统的修复方

法不可避免地给患者带来较大创伤。如果翻修手术的主要目的是修复髂骨螺钉与松质骨间的松动,外板开窗修复技术可避免原手术部位软组织的再次切开,从臀大肌间隙进入,不仅创伤小,而且可准确到达钉道所在的髂骨外板。另外,由于局部表浅,且没有大血管神经等重要结构,外板开窗修复技术可期待在腔镜辅助下实现更加微创的髂骨螺钉翻修。因此,外板开窗 PMMA 强化技术可能成为松动髂骨螺钉的理想修复方式。

作为一种新技术,虽然人体标本为体外生物力学研究提供了理想的材料,但是,内固定在人体内 4 个月至少承受 100 万次的载荷^[14],本研究 2000 次的循环载荷仅仅能反映术后早期情况;本研究使用的是防腐标本,防腐标本的干燥和福尔马林作用必将对松质骨内部强度产生影响;髂骨螺钉在体内应承受三维方向负荷,本研究只进行了垂直加载;体内螺钉的松动是一种吸收和重塑的慢性过程,这与直接螺钉拔出有所不同。因此,本研究结果直接指导临床实践尚存在一定的局限性。

4 参考文献

1. Emami A, Deviren V, Berven S, et al. Outcome and complications of long fusions to the sacrum in adult spine deformity: luque-galveston, combined iliac and sacral screws, and sacral fixation[J]. Spine, 2002, 27(7): 776-786.
2. Mindea SA, Salehi SA, Ganju A, et al. Lumbosacropelvic junction reconstruction resulting in early ambulation for patients with lumbosacral neoplasms or osteomyelitis [J]. Neurosurg Focus, 2003, 15(2): E6.
3. Moshirfar A, Rand FF, Sponseller PD. Pelvic fixation in spine surgery: historical overview, indications, biomechanical relevance, and current techniques [J]. J Bone Joint Surg Am, 2005, 87(Suppl 2): S89-106.
4. Tsuchiya K, Bridwell KH, Kuklo TR, et al. Minimum 5-year analysis of L5-S1 fusion using sacropelvic fixation (bilateral S1 and iliac screws) for spinal deformity [J]. Spine, 2006, 31(3): 303-308.
5. Pfeifer BA, Krag MH, Johnson C. Repair of failed transpedicle screw fixation: a biomechanical study comparing polymethylmethacrylate, milled bone, and matchstick bone reconstruction [J]. Spine, 1994, 19(3): 350-353.
6. Akesen B, Wu C, Mehbod AA, et al. Revision of loosened iliac screws: a biomechanical study of longer and bigger screws [J]. Spine, 2008, 33(13): 1423-1428.
7. Zheng ZM, Yu BS, Chen H, et al. Effect of iliac screw insertion depth on the stability and strength of lumbo-iliac fixation

- constructs: an anatomical and biomechanical study [J]. Spine, 2009, 34(16): E565-572.
8. 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.
 9. Klein AH, Rubash HE. Femoral windows in revision total hip arthroplasty [J]. Clin Orthop, 1993, 291: 164-170.
 10. Berry LJ, Stahurski T, Asher MA. Morphometry of the supraspinous notch intra-iliac implant anchor passage [J]. Spine, 2001, 26(7): E143-148.
 11. Schildhauer TA, McCulloch P, Chapman JR, et al. Anatomic and radiographic considerations for placement of transiliac screws in lumbopelvic fixations [J]. J Spinal Disord Tech, 2002, 15(3): 199-205.
 12. Miller F, Moseley C, Koreska J. Pelvic anatomy relative to lumbosacral instrumentation [J]. J Spinal Disord, 1990, 3(2): 169-173.
 13. Sarzier JS, Evans AJ, Cahill DW. Increased pedicle screw pull-out strength with vertebroplasty augmentation in osteoporotic spines [J]. J Neurosurg, 2002, 96(3 Suppl): 309-312.
 14. Ashman RB, Bechtold JE, Edwards WT, et al. In vitro spinal arthrodesis implant mechanical testing protocols [J]. J Spinal Disord, 1989, 12(4): 274-281.

(收稿日期: 2010-02-02)

(英文编审 蒋欣/郭万首)

(本文编辑 李伟霞)

(上接第 266 页)

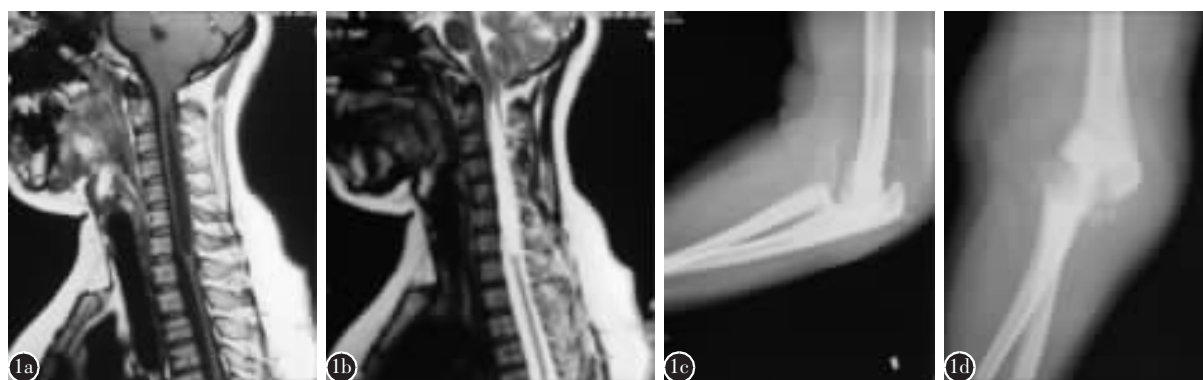


图1 患者女性, 34岁 a、b MRI矢状位像示小脑扁桃体下缘距至枕骨大孔下缘以下8mm, C2~C7节段脊髓空洞, 空洞内液体信号与脑脊液相同 c、d 右肘关节X线片示肘关节面不光整及塌陷, 关节间隙变窄, 关节脱位畸形, 骨质吸收较明显, 周围软组织内可见骨化影

洞症、脊髓痨、麻风、糖尿病、外周神经损伤或炎症及先天性痛觉缺失等。文献报道由脊髓空洞症引起的 Charcot 关节病占有病例的 20% 左右, 而 Chiari 畸形合并脊髓空洞患者以 Charcot 关节为首诊在临床上较少见^[3-8]。Charcot 关节的发病机制仍存在争议, 主要理论有: ①“神经营养学说”^[9]; ②“神经创伤学说”^[10]。多数学者认为两种学说的联合解释较为合理: 中枢神经或周围神经病变引起深感觉障碍, 使机体保护性反射消失, 加上局部软组织及骨神经营养障碍, 导致骨代谢紊乱、关节软骨破坏, 继发关节囊松弛引起关节半脱位及脱位。本例患者查体发现右肘关节肿胀, 压痛不明显, 并存在深感觉障碍, 且 MRI 示 Chiari 畸形合并脊髓空洞, 提示患者可能存在中枢或周围神经的损伤, 最终导致右肘关节发生病理性改变。

因此, 对以无痛性关节肿胀为首诊的患者, 在排查病因时, 要考虑 Chiari 畸形合并脊髓空洞的可能, MRI 检查可明确诊断。

参考文献

1. Nishikawa M, Sakamoto H, Hakuba A, et al. Pathogenesis of Chiari malformation: a morphometric study of the posterior cra-

nial fossa [J]. J Neurosurg, 1997, 86(1): 40-47.

2. Brugieres P, Idy-Peretti I, Iffenecker C, et al. CSF flow measurement in syringomyelia [J]. AJNR, 2000, 21(10): 1785-1792.
3. Davis RP, Ko KR, Sachdev VP. Charcot shoulder as the initial symptom in Arnold-Chiari malformation with hydromyelia: case report [J]. Mt Sinai J Med, 1988, 55(5): 406-408.
4. Yanik B, Tuncer S, Seckin B. Neuropathic arthropathy caused by Arnold-Chiari malformation with syringomyelia [J]. Rheumatol Int, 2004, 24(4): 238-241.
5. Gupta RJ. A short history of neuropathic arthropathy [J]. Clin Orthop Relat Res, 1993, 296: 43-49.
6. Brower AC, Allman RM. Pathogenesis of the neurotrophic joint: neurotrophic VS. Neurovascular [J]. Radiology, 1981, 139(2): 349-354.
7. 卢培刚, 袁绍纪, 吕学明, 等. Chiari 畸形合并神经性关节病: 10 例报告 [J]. 中华神经外科疾病研究杂志, 2007, 6(1): 83-84.
8. 邱勇, 王守丰. Chiari 畸形伴颈部巨大脊膜脊髓膨出 1 例报告 [J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2006, 16(8): 639-640.

(收稿日期: 2010-01-13 修回日期: 2010-02-01)

(本文编辑 卢庆霞)