

双髂骨螺钉固定技术在脊柱外科应用的研究进展

Research progress of double ilium screw fixation technique in spinal surgery

赵世新,李玉伟,温 艳,周 鹏,崔 巍,效 伟

(河南省漯河市中心医院脊柱外科 462000)

doi: 10.3969/j.issn.1004-406X.2021.04.11

中图分类号: R687.3 文献标识码: A 文章编号: 1004-406X(2021)-04-0355-05

脊柱骨盆内固定因其能够提供坚强的末端固定、维持躯干平衡并且提高腰骶段融合率,已经广泛应用于脊柱外科。其发展历史可追溯到 20 世纪 60 年代发明的 Harrington 和 Luque 内固定系统,但因二者生物力学强度不足以及较高的假关节发生率,逐渐被随后的 Galveston 固定技术所取代,然而由于该技术置入髂骨骨质内的棒过于光滑,造成其抗拔出力较低^[1]。在此基础上,髂骨螺钉固定技术应运而生,该技术通过在髂骨内外侧皮质之间置入全螺纹螺钉以代替 Galveston 固定技术的光滑金属棒,将螺钉的抗拔出力提高了 3 倍^[2],而且根据不同情况可选择单侧髂骨内置入单枚/双枚螺钉以及使用单棒/双棒与上位的椎弓根螺钉连接以达到脊柱-骨盆联合固定的效果。此后 Chang 等^[3]提出了经第 2 骶椎髂嵴(second sacral alar-iliac, S2AI)螺钉固定技术,该技术相较于髂骨螺钉具有以下优点: (1) 采用中线入路且 S2AI 与上位椎弓根螺钉排列为同轴结构,因此无需预弯棒及特殊的连接装置即可与上位螺钉相连接,有助于骨盆矫形; (2) 无需咬除髂后上棘,可明显减轻患者术后疼痛^[4]。髂骨螺钉及骶髂螺钉在治疗平背综合征、脊柱后凸畸形、骨盆倾斜、重度腰椎滑脱、腰骶部创伤和骨盆肿瘤等疾病时应用广泛^[5-8]。然而,在某些情况下不能经髂骨置钉时,末端固定只能依靠螺钉与髂骨的把持力来实现,此时, S2AI 螺钉固定技术便失去了优势。为了取得最坚强的末端固定效果,最好的方法是应用双髂骨螺钉(dual iliac screw, DIS)固定技术,即每侧髂骨置入 2 枚髂骨螺钉^[9]。但国内外关于该技术的相关文献报道较少,笔者就其临床应用及研究进展进行综述,以期对脊柱骨盆重建的患者提供最佳的手术方式。

1 DIS 固定的应用解剖学基础及生物力学特性

骨盆由骶骨及两侧髂骨借韧带和纤维软骨连接而成,大体可分为前环和后环两个部分,其中骨盆前环由耻

骨联合和耻骨上下支构成,通过与两侧承重弓互相连接起到稳定盆腔脏器的作用;骨盆后环主要由骶骨、髂骨及二者之间的骶髂关节构成,较前环承载了更多的载荷,参与骨盆 60% 的稳定作用。骨盆后环的承重弓包括股髂弓和坐髂弓,前者于站立时承受体重,应力方向自髌臼向上经髂骨传至骶骨;后者则于坐姿时传递重量,应力起于坐骨结节,上行经髂骨传至骶骨。因此,人体重量无论经股髂弓抑或坐髂弓传递,绝大部分应力均通过髂骨后下部,主要为髂粗隆、弓状线和坐骨大切迹共同组成。由于该部位应力集中,骨小梁沿应力方向排列,称为髂骨下柱。髂骨下柱骨质致密,为髂骨螺钉的置入提供了天然的解剖学基础和强大的把持力,且螺钉置入的方向和应力方向走行一致,利于躯干重力的传导^[10]。与髂骨下柱相对应,髂骨还存在另一个骨质丰富的柱状区域,即髂骨上柱,其方向自髂后上棘指向髂嵴最高点^[11]。髂骨上柱、下柱可分别容纳 1 枚和 2 枚髂骨螺钉置入,故而 DIS 固定目前的置入方法也包括 2 种,即上下柱 DIS 固定和下柱 DIS 固定,前者 2 枚髂骨螺钉分别经髂骨上柱和下柱置入;后者 2 枚螺钉则均经髂骨下柱置入。由于髂骨下柱的骨质更为致密,可为髂骨螺钉提供更好的把持界面,因此目前 DIS 固定的临床应用和研究主要集中于下柱 DIS 固定^[12-14]。

与传统的单髂骨螺钉和骶髂螺钉不同,DIS 通过额外增加 1 个髂骨固定点进而提高了脊柱骨盆固定结构的稳定性,除外其软组织剥离较多及钉棒连接困难等缺点外,其生物力学优势已得到证实。因此,对于严重腰骶部失稳的患者,DIS 固定不失为一种好的选择。Yu 等^[15]率先对 DIS 固定的生物力学特性进行研究,发现全骶骨切除状态下采用 L3-髂骨固定,单髂骨螺钉无论采用长钉还是短钉在压缩和扭转刚度方面都不及骨性结构完整的状态;但是采用双髂骨螺钉进行固定时,其压缩刚度和扭转刚度均与骨性结构完整时相近;值得注意的是,虽然上下柱 DIS 固定和下柱 DIS 固定在轴向扭转负荷下刚度无明显差异,但上下柱 DIS 固定的压缩刚度要低于下柱 DIS 固定。究其原因,可能与上文解剖学基础相关,因为髂骨下柱为躯体重量传递至下肢的主要桥梁,而髂骨上柱则主要为韧带附着点牵拉所形成,故而髂骨下柱的骨质强度要明显优于髂骨上

基金项目:河南省医学科技攻关计划项目(联合共建项目)(编号: LHGJ20191424)

第一作者简介:男(1994-),医师,研究方向:脊柱外科

电话:(0395)3356027 E-mail: zsxinzzdx@163.com

通讯作者:李玉伟 E-mail: 460910316@qq.com

柱,能够为螺钉提供更强把持力。两种 DIS 固定的扭转刚度差异不大,可能与螺钉的置钉方向有关,虽然髂骨下柱的骨把持界面优于上柱,但下柱 DIS 固定的 2 枚螺钉方向近乎平行,而上下柱 DIS 固定的螺钉方向存在夹角,这可能在扭转刚度方面弥补了髂骨上柱骨质把持力较差的缺点^[16]。

Mindea 等^[17]也对全骶骨切除的尸体标本进行了几种脊柱骨盆内固定方式的生物力学比较,与 Yu 等^[15]的研究结果类似,在全骶骨切除进行脊柱骨盆重建时,内固定生物力学强度由高到低分别为 DIS 双棒固定>DIS 固定>单髂骨螺钉固定>改良的 Galveston,但受限于切口大小和置棒难度,在因全骶骨切除行脊柱骨盆重建时,建议使用 DIS 固定。此外,部分骶骨切除时,依据截骨范围的不同选择的内固定方式也有差异。Yu 等^[18]的研究表明,当截骨面位于 S1 椎体中线水平以下时,单髂骨螺钉固定即能恢复脊柱骨盆的稳定性,但是当截骨范围进一步扩大时,单髂骨螺钉固定在压缩和扭转刚度方面不能够提供足够的稳定性,此时应考虑使用 DIS 固定以满足脊柱骨盆固定需求。

2 DIS 固定的适应证及临床应用

虽然髂骨螺钉固定是目前脊柱骨盆内固定的主流术式,但是当骶骨因病理情况不能置钉或需要强大螺钉把持力的情况下,髂骨螺钉便不足以满足手术要求,此时 DIS 固定便是其最佳的替代方法。当前文献报道应用 DIS 进行脊柱骨盆固定的适应证主要集中在以下四个方面。

2.1 骶骨肿瘤

绝大多数骶骨肿瘤需要进行手术干预,手术方式包括全骶骨切除和部分骶骨切除,此时由于骨盆后环完整性遭到破坏,需要进行脊柱骨盆的重建。Fujibayashi 等^[19]对 5 例腰骶部转移瘤合并神经症状的患者进行了姑息性手术治疗,并进行了平均 28.4 个月的随访,术后所有患者疼痛症状及神经功能好转,术后并发症包括 1 例切口早期感染,经抗生素治疗和手术清创引流后感染得以控制;生存期较长的患者中 1 例出现了断棒,这可能与姑息性手术未行植骨融合有关。Acharya 等^[20]采用上下柱 DIS 对 4 例骶骨全切患者进行了脊柱骨盆固定,通过咬除髂后上棘制造两个互相垂直的骨面用于上、下柱螺钉的置入,不仅提供了充足的自体骨材料,也使得术中置棒变得简单,并且减少了术后症状性螺钉突出的发生,所有患者术后神经功能得以改善,并于切口愈合后继续接受局部放射治疗,随访期间所有患者无复发迹象,随访期间未出现内固定失败病例,这与其行双侧后外侧植骨融合有关。Hasan 等^[21]在 DIS 开放性手术的基础上开展了经皮置钉技术,成功为 1 例罕见的副神经节瘤病理性骶骨骨折患者进行了内固定手术,尽管 1 年后的随访结果发现骨质进一步破坏,但单侧双髂骨螺钉双棒的内固定系统依旧牢固。该研究结果表明,对于运动需求较大的年轻个体,经皮微创 DIS 固定技术是一

种可行的术式选择。

2.2 脊柱畸形

Ebata 等^[22]报道了 27 例成人脊柱畸形(adult spinal deformity, ASD)行脊柱骨盆矫形术的患者,采用 S1 椎弓根螺钉联合 DIS 进行末端固定。术后 1 年随访时有 2 例患者出现髂骨螺钉松动,术后 2 年有 3 例患者出现髂骨螺钉松动,3 例患者出现 S1 椎弓根螺钉松动。DIS 联合 S1 椎弓根螺钉内固定系统提供了 6 个骨盆锚定点,极大提高了 ASD 矫形的末端稳定性,能更好地重建脊柱骨盆序列,且内置物并发症较单一髂骨固定更少。对于脊柱矢状面失衡需行 S1 椎弓根椎体截骨术(pedicle subtraction osteotomy, PSO)患者,应用 DIS 固定可达到良好的矫形效果。Bodin 等^[23]对 11 例腰骶部后凸畸形的患者实施 S1 PSO,并应用下柱 DIS 固定,矢状面失衡得以矫正且远期随访矫形效果无明显丢失。Ozturk 等^[24]报道了 1 例严重腰骶部后凸畸形的患者,多次矫形手术后矢状位失衡仍在进展,行 S1 PSO 并用 DIS 进行脊柱骨盆固定,术后腰椎前凸和骨盆入射角(pelvic incidence, PI)平衡得以改善,且随访过程中矢状位失衡不再进展。Czyz 等^[25]报道了 1 例高 PI 合并 L5/S1 滑脱翻修的患者,与上述 S1 PSO 不同, Czyz 通过双侧骶骨纵行截骨减小了 PI,并使用 DIS 进行腰骶部固定,术后 1 年随访时,患者站立和行走的姿势得到极大改善,PI 较术前减少约 30°。

2.3 骶骨骨折

骶骨 U 型骨折是 Roy-Camille 分型中的 2 型和 3 型骨折^[26],常伴有骨折线上下端结构的移位,此时患者常合并神经症状,充分减压后应进行坚强的腰骶部固定。Acharya 等^[20]应用 DIS 对 2 例 Roy-Camille 分型 2 型的患者进行脊柱骨盆固定,术后随访虽然神经功能未能完全恢复,但是术后 3 个月患者能独立行走且随访期间未出现内置物松动、断裂等并发症。Vilela 等^[27]则报道了 1 例因枪伤导致的 Roy-Camille 3 型骶骨骨折合并 L4/5 椎体骨折的患者,清创后采用 DIS 进行脊柱骨盆固定,术后 2 年随访过程中,没有出现内置物松动断裂,脊柱冠状面和矢状面椎体序列得以很好的纠正和维持。

2.4 脊柱感染

Acharya 等^[20]报道对于腰骶部结核术后合并化脓性感染的翻修手术的患者,内固定置入必须完全跨过感染节段,应用 DIS 可以加强末端固定强度从而避免在感染区域椎体的置钉,为切口深部感染的治疗提供条件。

3 DIS 的置入技术

由于髂骨形态特殊,厚薄不均,其骨质从上到下由厚变薄再变厚,从前向后也由厚变薄再变最厚,故而髂骨螺钉置入时的钉道并非唯一。国内外学者对此也颇具争议。Berry 等^[28]以髂后上棘作为髂骨螺钉进钉点的解剖标志。Schwend 等^[29]则习惯于将髂后上棘下方作为进钉点。而 Schildhauer 等^[30]提出将髂后上棘上方作为进钉点。但这些

学者对于髂骨最佳进钉点的位置描述均比较模糊。郑召民等^[21]提出由髂后上棘至髂前下棘存在一个直线骨性钉道通路,且该钉道通路中有两个狭窄点可对髂骨螺钉起锚固作用。苑芳昌等^[22]通过对髂骨进行 CT 三维重建后指出,髂骨螺钉通道并不局限于既往文献报道的从髂后上棘进钉这个唯一线性通道,而是髂后上棘附近的扇形区域均可进钉。基于此,DIS 两枚螺钉的进钉点可选择髂后上棘附近的扇形区域,依据钉道方向的不同可分为上下柱 DIS 和下柱 DIS,前者从髂后上棘的上、下方进钉后各自指向髂前下棘和髂骨翼上方,即双枚髂骨螺钉分别走行于髂骨上柱及髂骨下柱内;后者从髂后上棘的上、下方进钉并指向髂前下棘,即双枚髂骨螺钉同时走行于髂骨下柱内(图 1)^[26]。

进钉点及钉道确认后,DIS 髂骨螺钉长度的选择也存在争议。Schildhauer 等^[30]利用 CT 对髂后上棘至髂前下棘的骨通道长度进行测量,数据显示,男性为 141mm,女性为 129mm。与 Schildhauer 的研究结果类似,Berry 等^[28]的测量结果显示男性该骨通道长度为 141mm,女性为 125mm。贺云等^[33]通过测量 DIS 螺钉进钉点至髌白顶软骨的距离来计算螺钉安全长度,测得结果最大值和最小值分别为 130mm 和 109mm。但 Miller 等^[12]的研究表明,当螺钉长度超过 100mm 时将极大提高螺钉穿出内外板骨质或进入髌白的风险。引起螺钉长度较骨通道明显缩短的原因可能是在于置钉时需将进钉点骨质咬除,且入钉时角度的偏差,钉尾沉降等因素引起的。因此,贺云等^[33]建议 DIS 下柱螺钉的钉长在 85~95mm 为宜。

4 DIS 固定的术后并发症

与传统髂骨螺钉和 S2AI 固定不同,DIS 能为脊柱骨盆内固定提供最佳的生物力学稳定,因此术后并发症中内固定失败如螺钉松动或断裂鲜有报道,但不可避免地也存在一些缺点。

4.1 切口并发症

首先,不同于骶髂螺钉,DIS 与上方椎弓根螺钉不属于同轴结构,需对连接棒进行预弯和使用额外的连接器,且术中切口较大,需对软组织进行广泛剥离,这些因素会造成术后切口裂开率和感染率明显升高。在 Elder 等^[34]的研究中,髂骨螺钉固定的患者切口感染率和裂开率为 44% 和 36%,而骶髂螺钉固定的患者切口感染率和裂开率均为 2%。Ishida 等^[35,36]的研究结果同样指出髂骨螺钉固定术后切口的感染率和裂开率较骶髂螺钉明显升高。

4.2 症状性螺钉突出

症状性螺钉突出是指螺钉突出引起的局部疼痛、压疮甚至皮肤破溃。由于髂骨螺钉钉头位置表浅,虽然术中均在入钉点处咬除部分骨质以增大螺钉钉头与皮肤之间的距离,但该固定方式术后发生症状性螺钉突出的几率仍高达 11%。O'Shaughnessy 等^[37]在对髂骨螺钉固定患者的随访中发现,78% 症状性螺钉突出的患者去除螺钉后症状即可得以缓解。Ishida 等^[36]指出螺钉头距离皮肤 <23mm 为螺

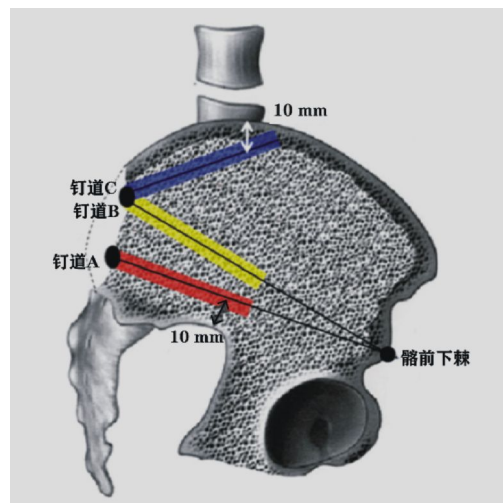


图 1 DIS 髂骨上柱和髂骨下柱钉道示意图(钉道 A、B、C 入钉点的选择位于髂后上棘附近的扇形区域;钉道 A、B 走行于髂骨下柱内,指向髂前下棘;钉道 C 走行于髂骨上柱内,指向髂骨翼^[26])

钉突出,对于出现局部疼痛压疮的患者,术后应及早通过 CT 观察该距离以预测和诊断症状性螺钉突出。

4.3 假关节形成

Chang 等^[38]指出长节段脊柱内固定术后假关节的发生率为 8%~42%,尤以远端固定仅采用单髂骨螺钉时为著。假关节形成多发生于腰骶交界节段,但 L5/S1 假关节形成在 DIS 远端固定中并不常见^[39]。这可能与该固定方式较传统骶髂螺钉及单髂骨螺钉增加了局部稳定性有关。

4.4 骶髂关节退变

虽然 S2AI 螺钉直接穿过骶髂关节有损伤关节软骨的风险,但是多项研究均未报道 S2AI 螺钉固定会加速骶髂关节退变^[34,40]。这可能与 S2AI 对骶髂关节有直接稳定作用有关,且 Xu 等^[41]的研究显示骶髂关节软骨面积远小于骶骨在髂骨上的投影面积,也为 S2AI 螺钉的理想钉道提供了解剖学基础。就 DIS 固定而言,虽然目前暂无其加速骶髂关节退变的报道,但在长节段脊柱骨盆内固定中由于腰骶节段的融合,骶髂关节的生物负荷相应增加,而且 DIS 置钉操作时往往会破坏维持骨盆平衡的重要肌肉和韧带,容易造成背侧骶髂关节不稳定,这些因素都可能会加速骶髂关节退变并引起患者术后骶髂关节疼痛。

5 总结与展望

脊柱骨盆固定能重建腰骶部的稳定性,广泛用于涉及骶骨的长节段脊柱固定,骶骨肿瘤、骶骨骨折、重度腰椎滑脱、骨盆倾斜、腰骶部结核以及内固定失败的翻修治疗等。髂骨螺钉固定技术作为一种经典的脊柱骨盆固定方式,在上述疾病的治疗中应用广泛,但当患者合并严重的骨质疏松、腰骶部肿瘤需要完全或部分切除骶骨、骶骨 U 型骨折、严重的骨盆倾斜以及腰骶部感染需行翻修手术时,通常需要坚强的末端固定提供更高的稳定性和生物力

学强度,此时传统单枚髂骨螺钉的把持力往往不足,尽管近年来出现了 S2AI 螺钉固定等更为先进的脊柱骨盆固定技术使得术中软组织破坏和置棒难度大大减少,但其生物力学强度也不能满足上述疾病治疗的需求,况且对于骶骨 U 型骨折、骶骨肿瘤和腰骶部感染的患者,经骶骨置钉并不现实,此时应采用 DIS 进行末端固定。

目前脊柱骨盆内固定中生物力学强度最佳的固定方式是 DIS 固定,然而,由于其与上方椎弓根螺钉并非同轴结构,造成术中置棒困难且软组织破坏较多,故而其使用具有严格的适应证,仅在骶骨严重外伤或肿瘤不能经骶骨置钉或腰骶部感染固定需跨过感染节段以及严重脊柱畸形需要坚强的末端固定时才应用该固定方式。由于目前关于 DIS 固定的生物力学研究中,所用的螺钉规格和施加的压力不尽相同,所以其结果尚无统一结论。临床应用研究多为个案报道和病例组研究,病例样本量较小,随访时间较短,不能精准地评价 DIS 固定的远期临床效果,在以后的研究中应尽量采用前瞻性研究,适当扩大样本量以准确地评价 DIS 固定的安全性和有效性。

6 参考文献

- Moshirfar A, Rand FF, Sponseller PD, et al. Pelvic fixation in spine surgery: historical overview, indications, biomechanical relevance, and current techniques [J]. J Bone Joint Surg Am, 2005, 87(Suppl 2): 89-106.
- Kuklo TR, Bridwell KH, Lewis SJ, et al. Minimum 2-year analysis of sacropelvic fixation and L5-S1 fusion using S1 and iliac screws[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2001, 26(18): 1976-1983.
- Chang TL, Sponseller PD, Kebaish KM, et al. Low profile pelvic fixation: anatomic parameters for sacral alar-iliac fixation versus traditional iliac fixation[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2009, 34(5): 436-440.
- 刘臻, 邱勇, 胡宗杉, 等. 经第 2 骶椎骶髂螺钉固定技术在成人脊柱侧后凸畸形中的应用[J]. 中华骨科杂志, 2016, 36(10): 584-590.
- Pandolfino JE, Gawron AJ. Achalasia: a systematic review[J]. JAMA, 2015, 313(18): 1841-1852.
- Gyawali CP. Achalasia: new perspectives on an old disease[J]. Neurogastroenterol Motil, 2016, 28(1): 4-11.
- Torresan F, Ioannou A, Azzaroli F, et al. Treatment of achalasia in the era of high-resolution manometry[J]. Ann Gastroenterol, 2015, 28(3): 301-308.
- Müller M. Impact of high-resolution manometry on achalasia diagnosis and treatment[J]. Ann Gastroenterol, 2015, 28(1): 3-9.
- Bourghli A, Boissiere L, Obeid I. Dual iliac screws in spino-pelvic fixation: a systematic review[J]. Eur Spine J, 2019, 28(9): 2053-2059.
- Bederman SS, Shah KN, Hassan JM, et al. Surgical techniques for spinopelvic reconstruction following total sacrectomy: a systematic review[J]. Eur Spine J, 2014, 23(2): 305-319.
- 于滨生, 郑召民, 庄新明, 等. 髂骨双钉在腰-髂重建结构中的生物力学优势[J]. 中华骨科杂志, 2010, 30(6): 589-593.
- Miller F, Moseley C, Koreska J. Pelvic anatomy relative to lumbosacral instrumentation[J]. J Spinal Disord, 1990, 3(2): 169-173.
- O'Brien JR, Yu WD, Bhatnagar R, et al. An anatomic study of the S2 iliac technique for lumbopelvic screw placement[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2009, 34(12): E439-E442.
- Schildhauer TA, Bellabarba C, Nork SE, et al. Decompression and lumbopelvic fixation for sacral fracture-dislocations with spino-pelvic dissociation[J]. J Orthop Trauma, 2006, 20(7): 447-457.
- Yu BS, Zhuang XM, Zheng ZM, et al. Biomechanical advantages of dual over single iliac screws in lumbo-iliac fixation construct[J]. Eur Spine J, 2010, 19(7): 1121-1128.
- 孙元亮, 桑锡光, 李牧, 等. Galveston 固定髂骨钉置入路径的研究[J]. 中华外科杂志, 2008, 46(11): 801-805.
- Mindea SA, Chinthakunta S, Moldavsky M, et al. Biomechanical comparison of spinopelvic reconstruction techniques in the setting of total sacrectomy[J]. Spine(Phila Pa 1976), 2012, 37(26): E1622-E1627.
- Yu BS, Zhuang XM, Li ZM, et al. Biomechanical effects of the extent of sacrectomy on the stability of lumbo-iliac reconstruction using iliac screw techniques: what level of sacrectomy requires the bilateral dual iliac screw technique [J]. Clin Biomech(Bristol, Avon), 2010, 25(9): 867-872.
- Fujibayashi S, Neo M, Nakamura T. Palliative dual iliac screw fixation for lumbosacral metastasis: technical note[J]. J Neurosurg Spine, 2007, 7(1): 99-102.
- Acharya NK, Bijukachhe B, Kumar RJ, et al. Ilio-lumbar fixation: the Amrita technique [J]. J Spinal Disord Tech, 2008, 21(7): 493-499.
- Hasan MY, Liu G. Minimally invasive dual iliac screw, dual rod fixation in a rare case of pathological sacral fracture from a paraganglionoma: a technique description[J]. J Neurosurg Spine, 2017, 27(3): 316-320.
- Ebata S, Ohba T, Oba H, et al. Bilateral dual iliac screws in spinal deformity correction surgery[J]. J Orthop Surg Res, 2018, 13(1): 260.
- Bodin A, Roussouly P. Sacral and pelvic osteotomies for correction of spinal deformities[J]. Eur Spine J, 2015, 24(Suppl 1): S72-S82.
- Ozturk AK, Sullivan PZ, Arlet V. Sacral pedicle subtraction osteotomy for an extreme case of positive sagittal balance: case report[J]. J Neurosurg Spine, 2018, 28(5): 532-535.
- Czyz M, Forster S, Holton J, et al. New method for correction of lumbo-sacral kyphosis deformity in patient with high pelvic incidence[J]. Eur Spine J, 2017, 26(8): 2204-2210.
- König MA, Jehan S, Boszczyk AA, et al. Surgical

- management of U-shaped sacral fractures: a systematic review of current treatment strategies[J]. *Eur Spine J*, 2012, 21(5): 829–836.
27. Vilela MD, Gelfenbeyn M, Bellabarba C. U-shaped sacral fracture and lumbosacral dislocation as a result of a shotgun injury: case report[J]. *Neurosurgery*, 2009, 64(1): E193–E194.
28. Berry JL, Stahurski T, Asher MA. Morphometry of the suprasacral notch intrailiac implant anchor passage[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2001, 26(7): E143–E148.
29. Schwend RM, Sluyters R, Najdzionek J. The pylon concept of pelvic anchorage for spinal instrumentation in the human cadaver[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2003, 28(6): 542–547.
30. 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.
31. 郑召民, 陈辉, 吕游. 成人髂骨钉钉道的影像学研究[J]. *中华骨科杂志*, 2007, 27(8): 586–589.
32. 苑芳昌. 成人髂骨螺钉钉道的应用解剖及影像学研究[D]. 山东大学, 2008.
33. 贺云, 段洪, 张云峰, 等. 脊柱骨盆固定中髂骨钉的应用解剖学[J]. *解剖学报*, 2010, 41(4): 611–615.
34. Elder BD, Ishida W, Lo SL, et al. Use of S2–alar–iliac screws associated with less complications than iliac screws in adult lumbosacropelvic fixation[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2017, 42(3): E142–E149.
35. Ishida W, Elder BD, Holmes C, et al. Comparison between S2–alar–iliac screw fixation and iliac screw fixation in adult deformity surgery: reoperation rates and spinopelvic parameters[J]. *Global Spine J*, 2017, 7(7): 672–680.
36. Ishida W, Elder BD, Holmes C, et al. S2–alar–iliac screws are associated with lower rate of symptomatic screw prominence than iliac screws: radiographic analysis of minimal distance from screw head to skin[J]. *World Neurosurg*, 2016, 93: 253–260.
37. O’Shaughnessy BA, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Should symptomatic iliac screws be electively removed in adult spinal deformity patients fused to the sacrum[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2012, 37(13): 1175–1181.
38. Chang TL, Sponseller PD, Kebaish KM, et al. Low profile pelvic fixation: anatomic parameters for sacral alar–iliac fixation versus traditional iliac fixation [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2009, 34(5): 436–440.
39. Yagi M, Akilah KB, Boachie-Adjei O. Incidence, risk factors and classification of proximal junctional kyphosis: surgical outcomes review of adult idiopathic scoliosis [J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2011, 36(1): E60–68.
40. Mazur MD, Mahan MA, Shah LM, et al. Fate of S2–alar–iliac screws after 12-month minimum radiographic follow-up: preliminary results[J]. *Neurosurgery*, 2017, 80(1): 67–72.
41. Xu R, Ebraheim NA, Douglas K, et al. The projection of the lateral sacral mass on the outer table of the posterior ilium[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 1996, 21(7): 790–795.

(收稿日期:2020-10-31 末次修回日期:2021-02-18)

(本文编辑 卢庆霞)