

脊柱 - 骨盆参数在腰椎滑脱中的研究进展

马晨旭¹, 米明珊^{2*}

¹青海大学研究生院, 青海 西宁

²青海大学附属医院脊柱外科, 青海 西宁

收稿日期: 2023年12月13日; 录用日期: 2024年3月5日; 发布日期: 2024年3月12日

摘要

腰椎滑脱是一种临床常见的可导致下腰痛及下肢症状的疾病, 术后下腰痛的症状是否与脊柱 - 骨盆矢状位参数变化相关的临床关联问题日益引起临床关注, 既往人们对脊柱骨盆参数的研究侧重于长节段脊柱融合术后影响的研究, 且研究较为充分并有相对统一的结论, 但对短节段腰椎融合术后影响的研究较少且存在一定争议, 笔者下文以腰椎滑脱为例试图阐述短节段腰椎融合术后临床症状与矢状位参数之间的关系并进行综述。

关键词

腰椎滑脱, 脊柱骨盆参数, 矢状位平衡, 矢状位失衡

Research Progress of Spinal-Pelvic Parameters in Lumbar Spondylolisthesis

Chenxu Ma¹, Mingshan Mi^{2*}

¹Graduate School of Qinghai University, Xining Qinghai

²Department of Spine Surgery, Affiliated Hospital of Qinghai University, Xining Qinghai

Received: Dec. 13th, 2023; accepted: Mar. 5th, 2024; published: Mar. 12th, 2024

Abstract

Lumbar spondylolisthesis is a common clinical disease that can lead to low back pain and lower extremity symptoms. The clinical correlation between postoperative low back pain symptoms and the change of spinal and pelvic sagittal position parameters has attracted increasing clinical attention. Previous studies on spinal and pelvic parameters have focused on the study on the post-operative effects of long-level spinal fusion, and the studies have been relatively sufficient and

*通讯作者。

文章引用: 马晨旭, 米明珊. 脊柱-骨盆参数在腰椎滑脱中的研究进展[J]. 医学诊断, 2024, 14(1): 20-27.

DOI: 10.12677/md.2024.141003

reached relatively uniform conclusions. However, there are few and controversial studies on the postoperative effects of short level lumbar fusion. In the following article, the author takes lumbar spondylolisthesis as an example to attempt to elaborate the relationship between clinical symptoms and sagittal position parameters after short level lumbar fusion.

Keywords

Lumbar Spondylolisthesis, Spinal Pelvic Parameters, Sagittal Balance, Sagittal Imbalance

Copyright © 2024 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

“腰椎滑脱”(Lumbar spondylolisthesis)广泛地指一个椎体在另一个椎体上的前方、后方或侧方滑移,导致节段的不稳定从而产生一系列临床症状表现[1] [2]。它在 1976 年由 Wiltse 等人提出病因学分类方法,分为 6 型包括先天型、峡部型、创伤性型、退变型、病理型和术后型[3]; 其中最常见两种类型为峡部型腰椎滑脱(Isthmic Lumbar Spondylolisthesis)和退变型腰椎滑脱(Degenerative Lumbar Spondylolisthesis)。峡部型是指: 由于先天性或后天长期从事体育活动,特别是腰椎反复过曲过伸的活动中导致腰椎峡部出现裂隙或疲劳骨折后未能愈合,从而产生上位椎体向前滑移[4]。退变型是指: 在脊柱退行性变的基础上,导致以下位椎体为参照上位椎体向前移位并且无椎弓峡部的断裂[5]。Meyerding 分级系统是被最常被我们使用的针对于腰椎滑脱的分级系统,该系统将下位椎体的上终板分为 4 份,由滑脱椎体后缘做切线,与下位椎体上缘交叉处测量其前移程度,并将其分为 5 度滑移。前移在下位椎体 25%以内者为 I 度; 26%~50%者为 II 度; 51%~75%者为 III 度; 超过 75%者为 IV 度[3]。其中退变性通常局限于 I、II 度; 而峡部性则可达 III 度甚至 IV 度滑脱。除此之外腰椎滑脱还有 Newman 分型该分型将骶 1 上终板分为 10 等份同时将骶骨前面也分为 10 等份,该分级系统最终分值为两部分的总和,该分级系统不仅考虑滑脱的程度,而且还注重腰 5 椎体的旋转。但该分级系统因过于繁琐且临床应用价值相比于 Meyerding 分级较小因此已被 Meyerding 分级系统所取代。

脊柱骨盆矢状位参数是一组可以量化脊柱矢状位是否平衡的一组参数,而矢状位平衡以往主要用于脊柱侧弯等长节段固定术后的评估,但对于短节段固定的术后疗效评估也同样重要[6] [7]。

2. 正常人脊柱 - 骨盆矢状位参数

脊柱矢状位参数用来量化矢状位曲度,可分为脊柱参数、骨盆参数、下肢参数以及整体矢状位参数四部分[8]。下面简要陈述相关定义及内容。

脊柱参数主要包括: 颈椎前凸角(Cervical Lordosis, CL): 即 C2 下终板与 C7 下终板延长线的夹角; 胸椎后凸角(Thoracic Kyphosis, TK): 即 T4 上终板与 T12 下终板延长线的夹角; 腰椎前凸角(Lumbar Lordosis, LL): 即 L1 上终板与 S1 上终板延长线的夹角。

下肢参数主要是股骨倾斜角(angle of femur obliquity, FOA), 定义为股骨干纵轴与铅垂线的夹角。

整体矢状位参数主要为: 脊柱矢状位垂直轴(Sagittal Vertical Axis, SVA): 即由 C7 中点做铅垂线至 S1 终板后上缘的垂直距离,是反应脊柱矢状位平衡的重要参数,其正常值为小于 5 cm; T1 骨盆角(T1 pelvic angle, TPA)即 T1 椎体中点与股骨头连线和股骨头中点与 S1 上终板中点连线所成的夹角,其正常值小于

26°, 脊柱骶骨角(spino-sacral angle, SSA), 定义为 C7 中点至 S1 上终板中点连线与 S1 所做的切线形成的角度。

骨盆参数包括形态学参数和功能性参数。形态学参数可体现发育成熟后骨盆的形态, 较常用的是骨盆入射角(Pelvic Incidence angle, PI): 即 S1 椎体上终板中点做垂线, 并以其上终板中点与双侧股骨头连线的中点做连线所产生的夹角。功能性参数主要用于评估骶骨平台的朝向与骨盆旋转存在的确切关系, 该参数会受个体姿势的影响, 主要参数有: 骶骨倾斜角(Sacral Slope, SS): 即 S1 上终板切线与水平线之间的夹角; 骨盆倾斜角(Pelvic Tilt, PT): 即骶骨上终板中点做重力线和其中点与双侧股骨头中点的连线所形成的夹角。以下我们将展开介绍与腰椎滑脱相关程度较多的一组脊柱骨盆参数。

2.1. 骨盆入射角

首先要考虑的是骨盆入射角(PI), PI 由 Duval-Beaupère 在 1998 年提出并定义, 即从 S1 椎体上终板中点做垂线, 并以其上终板中点与双侧股骨头连线的中点做连线所产生的夹角。这是一个解剖参数, 对每个人来说都是常数[9]。骨盆入射角从出生至成人稍微会出现一点变化, 但当人体生长发育完成时, 骨盆入射角则恒定不变, 但在 75 岁以上的老年人、某些特定的融合手术中或韧带松动时可产生不同程度的变化。骨盆入射角小表示骨盆狭窄(即前后尺寸减小)同时说明骨盆前倾, 骨盆入射角大则表示骨盆宽(即前后尺寸变大), 同时说明骨盆后倾[10] [11] [12], 由此可见, 骨盆入射角越大的患者发生骨盆后倾的可能性越大。

2.2. 骨盆倾斜角、骶骨倾斜角和 Dubousset 腰骶角

骨盆倾斜角(PT)与骶骨倾斜角(SS)为骨盆功能性参数, 骨盆倾斜角是指经骶骨上终板中点做重力线和其中点与双侧股骨头中点的连线所形成的夹角, 代表骨盆的开口朝向, 以及反映了骨盆围绕股骨头的旋转能力[13]。而 Dubousset LSA (Dubousset 腰骶角)是指腰 5 椎体上终板做切线与骶 1 椎体后缘做的切线相交所形成的角度, 是衡量腰骶部后凸的简单有效指标, 若该角度小于 90°, 则认为存在明显的腰骶部后凸。Lafage 等人[14]证明骨盆倾斜角与健康相关的生活质量(HRQOL)存在相关性, 及骨盆倾斜角越大其生活质量相关评分结果越差(如 ODI 评分、SF-12 评分、VAS 评分等)。骶骨倾斜角是指 S1 上终板切线与水平线之间的夹角, 代表骶骨的倾斜度, 其与腰椎前凸有直接关系。

PT、PI、SS 这三个参数之间存在简单的几何关系即骨盆入射角等于骶骨倾斜角和骨盆倾斜角的算术和即 $PI = PT + SS$ 。Yang 等[15]招募了 340 例来自华东地区的健康志愿者, 发现 PI 与 PT、SS 有较强的相关性。Barrey 等[16]研究认为, 非病理状态下 PT 正常值应小于 PI 值的 50%, SS 理想值应大于 PI 值的 50%。

2.3. 腰椎前凸角

腰椎前凸角(LL)为 L1 椎体上终板和 S1 椎体上终板之间的夹角。腰椎前凸角与骨盆入射角密切相关。Berthonnaud 提出了一个模型[17], 将腰椎前凸角在前凸顶点将其分为两个切向弓。下弓由穿过腰椎前凸顶点(顶点的位置在 L3~L5 之间变化)水平线和与骶骨上终板的切线构成。上弓对应于通过前凸顶点的水平线和通过 L1 椎体上终板切线之间的角度。上弓的固定值在 15°到 19°之间, 下弓的变化取决于骶骨终板的方向, 并对应于骶骨倾斜角的值。并且同时根据骶骨倾斜角的值将腰椎前凸角分为四种不同的类型: 1 型: $SS < 35^\circ$, 该型的腰椎几乎没有下弓, 腰椎前凸顶点低, 大致位于腰 5 水平, 上弓为组成腰椎前凸的主要组成部分, 此行的胸椎后凸与腰椎前凸不协调; 2 型: $SS < 35^\circ$ 但整个腰椎曲度接近一条直线, 下弓同样几乎没有, 但胸椎后凸与腰椎前凸相协调; 3 型: $35^\circ < SS < 45^\circ$, 前凸顶点位于 L4 水平, 此为标准的矢状平衡曲线; 4 型 $SS > 45^\circ$, 下弓曲度明显增大, 为躯体过屈时的姿势调节状态。Hanson [18]等发

现 4 型脊柱发生峡部裂型腰椎滑脱的概率要远大于其余 3 型脊柱。

骶骨倾斜角与腰椎前凸角有很强的相关性($r = 0.86, p < 0.001$)。许多学者试图找到腰椎前凸和骨盆入射角之间的数学关系。Schwab [19]提出了如下公式: $PI = LL \pm 9^\circ$ 。因此在分析患者矢状位是否平衡时, 在关注 PI、LL 值本身的同时, 更应该关注 PI 与 LL 之间的匹配性。

3. 种族、年龄、性别对腰椎滑脱及脊柱骨盆参数的影响

影响腰椎滑脱的病因有很多, 目前遗传易感性已经被很好的证实了, 一般成年人脊柱滑脱的发病率为 4%~8%, 但会根据人群样本的种族、年龄和性别发生变化。特别是在爱斯基摩人的群体中, 其峡部裂滑脱的发生率为 54% 大约是白人群体的 10 倍, 而黑人的发病率仅 2% [20]。同样种族对脊柱骨盆参数的影响已经被很好的证明了。在比较高加索人和非裔美国人的脊柱侧弯患者的骨盆参数后, Lonner [21] 等人得出结论, 种族可能会影响个人的自然脊柱骨盆排列。朱泽章等人[22]比较了中国汉族人群和高加索人群正常成年人的脊柱骨盆参数后得出两个群体的 PI 和 SS 存在显著差异。就性别而言, 男性滑脱的发生率是女性的两倍以上, 而对于女性来说出现腰椎滑脱后滑移度的进展的可能是男性的四倍[23]。但关于性别对脊柱骨盆参数的影响, 仍存在一些争议[24] [25] [26]。Vialle 等[25]报道了 110 例女性和 190 例男性 SS 和 PI 的差异有统计学意义。相反, Janssen 等[24]人在比较无症状的成年女性和男性时, 没有发现 SS、PT 或 PI 有任何显著差异。除了种族、性别, 年龄也是一个可能影响到腰椎滑脱及脊柱骨盆矢状位参数的一个变量。Kazuhiro 等人[27]对 137 例腰椎滑脱患者进行研究发现年龄是单阶段腰椎滑脱的重要病因, 而高 PI、年龄和矢状位失衡是导致双阶段腰椎滑脱的重要因素。对于脊柱骨盆参数而言, Hammerberg 和 Wood [28]评估了 50 名无症状受试者的脊柱骨盆变量, 他们没有发现年龄增加与脊柱骨盆参数之间的任何关系, 而 Mac-Thiong 等[26]人的研究中, 年龄与 PT 或 SS 之间存在弱相关性。且通过相关分析发现, 正常成人的 PT 随年龄的增长而显著增加。同样由于患者的年龄增大腰椎退行性改变加重, 因此年龄也是影响腰椎滑脱患者矢状位失衡相关的危险因素之一[29] [30] [31]。因此我们再行腰椎滑脱的治疗前后应该充分考虑患者的种族、性别和年龄后对患者进行区分并采取合适的手术方式以及重视重建其脊柱骨盆矢状位平衡的重要性。

4. 腰椎滑脱脊柱骨盆参数的改变及其临床意义

近些年来, 越来越多的学者发现腰椎滑脱患者中存在脊柱骨盆矢状位参数的异常, 并且或多或少都伴有矢状位失衡的情况, 且腰椎滑脱患者是否存在矢状位失衡与其所产生的临床症状密切相关。由此推断矢状位失衡在腰椎滑脱的发生发展中起到重要作用。Chaléat-Valayer 等[32]通过对 198 名慢性下腰痛患者及和 709 例无脊柱疾患志愿者做对照组进行比较得出结论: 在 SS、PI、TK 方面, 慢性下腰痛患者的脊柱矢状位排列存在显著差异, 但 PT、LL 则无明显差异。与正常人相比, 下腰痛患者表现为低 SS 和低 LL 和小 PI 的占比较大, 而正常受试者则 SS 正常或高 SS 伴 PI 正常或高 PI 的占比较大。郭新虎[33]等人将 35 名腰椎滑脱患者依据末次随访的 Dub-LSA 将其分为四组, 并进行比较得出结论: 将腰椎滑脱患者的 Dub-LSA 复位至 90 度以上和将腰椎滑移度复位至 25% 以内时能够显著改善脊柱骨盆参数, 能够将部分后倾骨盆转变为平衡型骨盆。并且可以提高患者生活质量改善患者自我形象以及提升患者治疗满意度。Hanson 等人[18]通过将 40 例腰椎滑脱确诊患者分为低级别(Meyerding I-II)和高级别(Meyerding III 及以上)两组, 并在选取 20 名儿童和 20 名成人志愿者进行对照后得出结论与对照组相比高、低程度的腰椎滑脱组 PI 值明显更高, 且重度腰椎滑脱组的 PI 值要明显高于轻度滑脱组。得出 PI 值与 Meyerding 分级系统之间存在正相关, 因此较高的 PI 值可能是导致腰椎滑脱的一个进展因素, 我们在治疗和评估滑脱进展风险时应充分考虑这一因素。贾军[34]等通过对 114 例单节段腰椎椎管狭窄患者, 其中有腰椎滑脱患者 51

例进行回顾性研究发现术前矢状位失衡组与矢状位平衡组相比其 LL 明显较小, 而术前 PI-LL 和 PT 明显较大, 但经统计学分析显示, 术前矢状面失衡与脊柱滑脱之间没有显著相关性($p = 0.598$), 并且认为较大的 PI-LL 是矢状面失衡相关的危险因素。Liu [35] 等研究发现, 较大或较小的 PI 对椎间盘和脊柱退行性变的发展均有显著影响, 且过大的 PI 也同样是腰椎滑脱的危险因素。Abbas [36] 等人发现, 与无症状受试者相比, 腰椎滑脱患者的 LL 和 SS 明显较小。在这项研究中, 36.0% 的患者出现矢状位失衡。矢状位恢复组与未恢复组的脊柱骨盆参数存在较大差异。与恢复组相比, 未恢复组的 LL 减小, PI-LL 和 PT 增大。

5. 腰椎滑脱的手术疗效与矢状位平衡之间的关系

目前腰椎滑脱术后出现矢状位失衡与其手术疗效之间的关系尚存在争议, 研究报道差异较大。矢状位平衡是指个体能以最小的肌肉力量保持稳定的站立姿势的一种矢状位曲度, 而矢状位平衡的维持是脊柱骨盆等骨性结构、椎间盘、韧带和肌肉相互作用的结果, 当这种平衡被打破时称为矢状位失衡。Schwab [37] 报告称, 矢状平衡应满足三个条件: $SVA < 40 \text{ mm}$, $PI-LL < 10^\circ$, $PT < 20^\circ$ 。 $SVA < 50 \text{ mm}$ 时患者取得较好生活质量分数; 当 $SVA \geq 50 \text{ mm}$, 患者临床症状重且生活质量分数低, 故定义 $SVA \geq 50 \text{ mm}$ 为矢状位失衡[38] [39]。一些研究发现, 术后矢状位失衡与 Oswestry 功能障碍指数和下腰痛有关[40] [41]。在选择合适的手术方法治疗腰椎滑脱时应考虑矢状位平衡的恢复。例如, Aoki 等[42]通过对 52 例腰椎滑脱椎体融合术后的患者研究发现, 术后 PI-LL 与术后下腰痛症状存在统计学意义。Hikata [43] 等人发现, 严重矢状位失衡($SVA > 80 \text{ mm}$)的患者在减压手术后无法恢复矢状位平衡, 而术后矢状位失衡对临床结果和 HRQOL 量表的结果产生负面影响。但是同样也有学者认为矢状位失衡是否恢复与术后留下功能残疾和下腰痛无关。例如: Fujii [44] 等人证明, 在单纯减压手术后, 43% 的患者矢状面失衡恢复正常, 并发现术前 $PI-LL > 21.5^\circ$ 或 $SVA > 69 \text{ mm}$ 的患者矢状面恢复不成功, 而术后矢状面失衡患者与其术后临床症状之间无关; 贾军[34] 等人发现腰椎滑脱患者的矢状位失衡主要是功能性和体位保护性的而不是结构性的, 并且发现矢状位参数恢复组与未恢复组术后 VAS、JOA、ODI 评分差异无统计学意义, 且矢状面预后无相关性。因此其认为即使腰椎滑脱术后出现矢状位失衡也并不意味着患者一定会有因为矢状位失衡所引起的下腰痛和腿部疼痛等症状, 而是取决于术中减压是否彻底。海涌等人[45]认为当患者骨盆腰椎匹配值(PI-LL)在 10° 与 20° 之间时术后可获得较好的临床疗效, 患者术后下腰痛症状得到改善。同样李淳德等[46]发现当 PI-LL 小于 15° 时取得的术后疗效更佳。因此我们考虑是否西方学者提出的 $PI = LL \pm 9^\circ$ 这一公式可能不一定适合国人。

Schwab [47] 等人报告了在进行长节段脊柱融合手术治疗成人脊柱畸形时保持脊柱矢状位排列的重要性。他们的研究结果清楚地表明, 术后整体矢状面平衡与术后残余疼痛和残疾显著相关, 并且提出的放射学参数阈值预示着临床症状和生活质量的恶化, 并得出结论, $PI-LL$ (PI 减去 LL) 小于或等于 10° 是减少术后疼痛和残疾的理想骨盆对线。但在腰椎滑脱这类疾病的短节段腰椎融合术中的研究较少, 有待学者们进一步研究和探索。

6. 总结和展望

对于腰椎滑脱患者而言, 脊柱骨盆参数的失衡的原因可能是患者因疼痛而产生的功能性和保护性体位, 也有一部分是由退变引起。腰椎滑脱的手术治疗方式已成熟并成为一种常规手术。间盘切除后融合手术可在一定程度上改善矢状位失衡。但手术对腰椎滑脱脊柱失衡的改善以及术后残留症状的关系有待进一步研究, 且手术疗效与矢状位平衡之间是否存在相关性尚存在争议, 因此需要进一步的长期研究。并且我们在对腰椎滑脱进行手术治疗并做到充分减压和良好固定的基础上时也应充分考虑 PI、LL、SS、Dub-LSA 这些关键性指标与腰椎滑脱的相关性, 并采取合适的手术方式在尽可能更大程度上缓解患者的

临床症状。同样因为矢状位参数存在种族、性别、年龄等差异, 因此是否国际上提出的 PI-LL 值的范围是否适合国人也有待我们进一步研究。

参考文献

- [1] Golder, W. (1982) Spondyl—Olisthesis mehr als ein Etymologisches Problem [Spondyl-Olisthesis More Than a Problem of Etymology]. *Rontgenblatter*, **35**, 111.
- [2] Fredrickson, B.E., Baker, D., McHolick, W.J., Yuan, H.A. and Lubicky, J.P. (1984) The Natural History of Spondylolysis and Spondylolisthesis. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **66**, 699-707.
<https://doi.org/10.2106/00004623-198466050-00008>
- [3] Bydon, M., Alvi, M.A. and Goyal, A. (2019) Degenerative Lumbar Spondylolisthesis: Definition, Natural History, Conservative Management, and Surgical Treatment. *Neurosurgery Clinics of North America*, **30**, 299-304.
<https://doi.org/10.1016/j.nec.2019.02.003>
- [4] Bhalla, A. and Bono, C.M. (2019) Isthmic Lumbar Spondylolisthesis. *Neurosurgery Clinics of North America*, **30**, 283-290. <https://doi.org/10.1016/j.nec.2019.02.001>
- [5] 脊柱外科学[J]. 中国微创外科杂志, 2014, 14(6): 550.
- [6] Vrtovec, T., Janssen, M.M., Likar, B., Castelein, R.M., Viergever, M.A. and Pernuš, F. (2012) A Review of Methods for Evaluating the Quantitative Parameters of Sagittal Pelvic Alignment. *The Spine Journal*, **12**, 433-446.
<https://doi.org/10.1016/j.spinee.2012.02.013>
- [7] Faundez, A., Roussouly, P. and Le Huec, J.C. (2011) Analyse de l'équilibre Sagittal du Rachis. Une Révolution Dans Les Approches Thérapeutiques des Pathologies Dégénératives Lombaires [Sagittal Balance of the Spine: A Therapeutic Revolution]. *Revue Médicale Suisse*, **7**, 2470-2474.
- [8] 刘新宇, 贾军. 腰椎管狭窄症脊柱-骨盆矢状位参数研究进展[J]. 山东大学学报(医学版), 2019, 57(5): 30-35, 42.
- [9] Legaye, J., Duval-Beaupère, G., Hecquet, J. and Marty, C. (1998) Pelvic Incidence: A Fundamental Pelvic Parameter for Three-Dimensional Regulation of Spinal Sagittal Curves. *European Spine Journal*, **7**, 99-103.
<https://doi.org/10.1007/s005860050038>
- [10] Bao, H., Liabaud, B., Varghese, J., Lafage, R., Diebo, B.G., Jalai, C., Ramchandran, S., Poorman, G., Errico, T., Zhu, F., Protosaltis, T., Passias, P., Buckland, A., Schwab, F. and Lafage, V. (2018) Lumbosacral Stress and Age May Contribute to Increased Pelvic Incidence: An Analysis of 1625 Adults. *European Spine Journal*, **27**, 482-488.
<https://doi.org/10.1007/s00586-017-5324-z>
- [11] Jean, L. (2014) Influence of Age and Sagittal Balance of the Spine on the Value of the Pelvic Incidence. *European Spine Journal*, **23**, 1394-1399. <https://doi.org/10.1007/s00586-014-3207-0>
- [12] Cecchinato, R., Redaelli, A., Martini, C., Morselli, C., Villafañe, J.H., Lamartina, C. and Berjano, P. (2017) Long Fusions to S1 with or without Pelvic Fixation Can Induce Relevant Acute Variations in Pelvic Incidence: A Retrospective Cohort Study of Adult Spine Deformity Surgery. *European Spine Journal*, **26**, 436-441.
<https://doi.org/10.1007/s00586-017-5154-z>
- [13] Le Huec, J.C., Thompson, W., Mohsinaly, Y., Barrey, C. and Faundez, A. (2019) Sagittal Balance of the Spine. *European Spine Journal*, **28**, 1889-1905. <https://doi.org/10.1007/s00586-019-06083-1>
- [14] Lafage, V., Schwab, F., Patel, A., Hawkinson, N. and Farcy, J.P. (2009) Pelvic Tilt and Truncal Inclination: Two Key Radiographic Parameters in the Setting of Adults with Spinal Deformity. *Spine*, **34**, E599-E606.
<https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181aad219>
- [15] Yang, M., Yang, C., Zhai, X., Zhao, J., Zhu, X. and Li, M. (2017) Analysis of Factors Associated with Sagittal Balance in Normal Asymptomatic Individuals: A Retrospective Study in a Population of East China. *Spine*, **42**, E219-E225.
<https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001782>
- [16] Barrey, C., Roussouly, P., Le Huec, J.C., D'Acunzi, G. and Perrin, G. (2013) Compensatory Mechanisms Contributing to Keep the Sagittal Balance of the Spine. *European Spine Journal*, **22**, S834-S841.
<https://doi.org/10.1007/s00586-013-3030-z>
- [17] Berthonnaud, E., Dimnet, J., Roussouly, P. and Labelle, H. (2005) Analysis of the Sagittal Balance of the Spine and Pelvis Using Shape and Orientation Parameters. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, **18**, 40-47.
<https://doi.org/10.1097/01.bsd.0000117542.88865.77>
- [18] Hanson, D.S., Bridwell, K.H., Rhee, J.M. and Lenke, L.G. (2002) Correlation of Pelvic Incidence with Low- and High-Grade Isthmic Spondylolisthesis. *Spine*, **27**, 2026-2029.
<https://doi.org/10.1097/00007632-200209150-00011>

- [19] Schwab, F., Lafage, V., Patel, A. and Farcy, J.P. (2009) Sagittal Plane Considerations and the Pelvis in the Adult Patient. *Spine*, **34**, 1828-1833. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181a13c08>
- [20] Simper, L.B. (1986) Spondylolysis in Eskimo Skeletons. *Acta orthopaedica Scandinavica*, **57**, 78-80. <https://doi.org/10.3109/17453678608993222>
- [21] Lonner, B.S., Auerbach, J.D., Sponseller, P., Rajadhyaksha, A.D. and Newton, P.O. (2010) Variations in Pelvic and Other Sagittal Spinal Parameters as a Function of Race in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine*, **35**, E374-E377. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181bb4f96>
- [22] Zhu, Z., Xu, L., Zhu, F., Jiang, L., Wang, Z., Liu, Z., Qian, B.P. and Qiu, Y. (2014) Sagittal Alignment of Spine and Pelvis in Asymptomatic Adults: Norms in Chinese Populations. *Spine*, **39**, E1-E6. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000000022>
- [23] Ganju, A. (2002) Isthmic Spondylolisthesis. *Neurosurgical Focus*, **13**, 1-6. <https://doi.org/10.3171/foc.2002.13.1.2>
- [24] Janssen, M.M., Drevelle, X., Humbert, L., Skalli, W. and Castelein, R.M. (2009) Differences in Male and Female Spino-Pelvic Alignment in Asymptomatic Young Adults: A Three-Dimensional Analysis Using Upright Low-Dose Digital Biplanar X-Rays. *Spine*, **34**, E826-E832. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181a9fd85>
- [25] Vialle, R., Levassor, N., Rillardon, L., Templier, A., Skalli, W. and Guigui, P. (2005) Radiographic Analysis of the Sagittal Alignment and Balance of the Spine in Asymptomatic Subjects. *The Journal of Bone & Joint Surgery*, **87**, 260-267. <https://doi.org/10.2106/JBJS.D.02043>
- [26] Mac-Thiong, J.M., Roussouly, P., Berthonnaud, E. and Guigui, P. (2011) Age- and Sex-Related Variations in Sagittal Sacropelvic Morphology and Balance in Asymptomatic Adults. *European Spine Journal*, **20**, Article No. 572. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1923-2>
- [27] Hasegawa, K., Okamoto, M., Hatsushikano, S., Shimoda, H., Sato, Y. and Watanabe, K. (2020) Etiology and Clinical Manifestations of Double-Level versus Single-Level Lumbar Degenerative Spondylolisthesis. *Journal of Orthopaedic Science*, **25**, 812-819. <https://doi.org/10.1016/j.jos.2019.11.004>
- [28] Hammerberg, E.M. and Wood, K.B. (2003) Sagittal Profile of the Elderly. *Journal of Spinal Disorders & Techniques*, **16**, 44-50. <https://doi.org/10.1097/00024720-200302000-00008>
- [29] Hikata, T., Watanabe, K., Fujita, N., Iwanami, A., Hosogane, N., Ishii, K., Nakamura, M., Toyama, Y. and Matsumoto, M. (2015) Impact of Sagittal Spinopelvic Alignment on Clinical Outcomes after Decompression Surgery for Lumbar Spinal Canal Stenosis without Coronal Imbalance. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **23**, 451-458. <https://doi.org/10.3171/2015.1.SPINE14642>
- [30] Shin, E.K., Kim, C.H., Chung, C.K., Choi, Y., Yim, D., Jung, W., Park, S.B., Moon, J.H., Heo, W. and Kim, S.M. (2017) Sagittal Imbalance in Patients with Lumbar Spinal Stenosis and Outcomes after Simple Decompression Surgery. *The Spine Journal*, **17**, 175-182. <https://doi.org/10.1016/j.spinee.2016.08.023>
- [31] Dohzono, S., Toyoda, H., Matsumoto, T., Suzuki, A., Terai, H. and Nakamura, H. (2015) The Influence of Preoperative Spinal Sagittal Balance on Clinical Outcomes after Microendoscopic Laminotomy in Patients with Lumbar Spinal Canal Stenosis. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **23**, 49-54. <https://doi.org/10.3171/2014.11.SPINE14452>
- [32] Chaléat-Valayer, E., Mac-Thiong, J.M., Paquet, J., Berthonnaud, E., Siani, F. and Roussouly, P. (2011) Sagittal Spino-Pelvic Alignment in Chronic Low Back Pain. *European Spine Journal*, **20**, Article No. 634. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1931-2>
- [33] 郭新虎, 李危石, 郭昭庆, 等. 高度发育不良性腰椎滑脱复位程度与脊柱-骨盆矢状位参数变化的关系[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2020, 30(8): 679-686.
- [34] Jia, J., Zhao, Y. and Liu, X. (2019) Impact of Sagittal Imbalance Correction on Clinical Outcomes in Patients Undergoing MIS-TLIF for LSS. *Clinical Neurology and Neurosurgery*, **181**, 119-126. <https://doi.org/10.1016/j.clineuro.2019.04.017>
- [35] Liu, H., Shrivastava, S.R., Zheng, Z.M., Wang, J.R., Yang, H., Li, Z.M., Wang, T.P., Wang, H. and Utsab, S. (2013) [Correlation of Lumbar Disc Degeneration and Spinal-Pelvic Sagittal Balance]. *Chinese Medical Journal*, **93**, 1123-1128.
- [36] Abbas, J., Hamoud, K., May, H., Hay, O., Medlej, B., Masharawi, Y., Peled, N. and Hershkovitz, I. (2010) Degenerative Lumbar Spinal Stenosis and Lumbar Spine Configuration. *European Spine Journal*, **19**, 1865-1873. <https://doi.org/10.1007/s00586-010-1516-5>
- [37] Schwab, F., Ungar, B., Blondel, B., Buchowski, J., Coe, J., Deinlein, D., DeWald, C., Mehdian, H., Shaffrey, C., Tribus, C. and Lafage, V. (2012) Scoliosis Research Society-Schwab Adult Spinal Deformity Classification: A Validation Study. *Spine*, **37**, 1077-1082. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31823e15e2>
- [38] Schwab, F., Patel, A., Ungar, B., Farcy, J.P. and Lafage, V. (2010) Adult Spinal Deformity-Postoperative Standing Imbalance: How Much Can You Tolerate? An Overview of Key Parameters in Assessing Alignment and Planning Corrective Surgery. *Spine*, **35**, 2224-2231. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181ee6bd4>

- [39] Lim, J.K. and Kim, S.M. (2014) Comparison of Sagittal Spinopelvic Alignment between Lumbar Degenerative Spondylolisthesis and Degenerative Spinal Stenosis. *Journal of Korean Neurosurgical Society*, **55**, 331-336. <https://doi.org/10.3340/jkns.2014.55.6.331>
- [40] Rose, P.S., Bridwell, K.H., Lenke, L.G., Cronen, G.A., Mulconrey, D.S., Buchowski, J.M. and Kim, Y.J. (2009) Role of Pelvic Incidence, Thoracic Kyphosis, and Patient Factors on Sagittal Plane Correction Following Pedicle Subtraction Osteotomy. *Spine*, **34**, 785-791. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31819d0c86>
- [41] Booth, K.C., Bridwell, K.H., Lenke, L.G., Baldus, C.R. and Blanke, K.M. (1999) Complications and Predictive Factors for the Successful Treatment of Flatback Deformity (Fixed Sagittal Imbalance). *Spine*, **24**, 1712-1720. <https://doi.org/10.1097/00007632-199908150-00013>
- [42] Aoki, Y., Nakajima, A., Takahashi, H., Sonobe, M., Terajima, F., Saito, M., Takahashi, K., Ohtori, S., Watanabe, A., Nakajima, T., Takazawa, M., Orita, S., Eguchi, Y. and Nakagawa, K. (2015) Influence of Pelvic Incidence-Lumbar Lordosis Mismatch on Surgical Outcomes of Short-Segment Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *BMC Musculoskeletal Disorders*, **16**, Article No. 213. <https://doi.org/10.1186/s12891-015-0676-1>
- [43] Hikata, T., Watanabe, K., Fujita, N., Iwanami, A., Hosogane, N., Ishii, K., Nakamura, M., Toyama, Y. and Matsumoto, M. (2015) Impact of Sagittal Spinopelvic Alignment on Clinical Outcomes after Decompression Surgery for Lumbar Spinal Canal Stenosis without Coronal Imbalance. *Journal of Neurosurgery: Spine*, **23**, 451-458. <https://doi.org/10.3171/2015.1.SPINE14642>
- [44] Fujii, K., Kawamura, N., Ikegami, M., Niitsuma, G. and Kunogi, J. (2015) Radiological Improvements in Global Sagittal Alignment after Lumbar Decompression without Fusion. *Spine*, **40**, 703-709. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000000708>
- [45] 孙祥耀, 张希诺, 海涌. 退变性脊柱侧凸术后骨盆投射角与腰椎前凸角匹配程度与临床疗效的关系[J]. 中国骨与关节杂志, 2017, 6(1): 20-26.
- [46] 赵耀, 漆龙涛, 李淳德, 等. 骨盆腰椎匹配值与成人退变性脊柱侧凸畸形术后疗效的相关性研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016, 26(8): 701-708.
- [47] Schwab, F.J., Blondel, B., Bess, S., Hostin, R., Shaffrey, C.I., Smith, J.S., Boachie-Adjei, O., Burton, D.C., Akbarnia, B.A., Mundis, G.M., Ames, C.P., Kebaish, K., Hart, R.A., Farcy, J.P., Lafage, V. and International Spine Study Group (ISSG) (2013) Radiographical Spinopelvic Parameters and Disability in the Setting of Adult Spinal Deformity: A Prospective Multicenter Analysis. *Spine*, **38**, E803-E812. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e318292b7b9>