

腰骶部移行椎对脊柱 - 骨盆 - 髋关节复合体矢状面平衡参数的影像学研究进展

杜琳^{1,2}, 杨海涛^{1*}

¹重庆医科大学附属第一医院放射科, 重庆

²重庆市铜梁区中医院放射科, 重庆

收稿日期: 2025年5月5日; 录用日期: 2025年5月28日; 发布日期: 2025年6月6日

摘要

腰骶部移行椎(Lumbosacral Transitional Vertebra, LSTV)是一种常见的先天性脊柱变异, 表现为腰椎骶化或骶椎腰化。LSTV通过改变腰骶部解剖结构及生物力学特性, 影响脊柱 - 骨盆 - 髋关节复合体(Lumbopelvic-Hip Complex, LPHC)的矢状面平衡参数, 且LSTV患者骶骨终板测量基准选择存在争议, 严重影响临床术前评估及患者预后疗效。本文系统综述LSTV对LPHC矢状面平衡参数的影响及研究进展, 旨在为术前手术方案的制定以及预后评估提供理论依据。

关键词

腰骶部移行椎, 矢状面平衡, 脊柱 - 骨盆 - 髋关节复合体, 脊柱生物力学

Advances in Imaging Research on the Impact of Lumbosacral Transitional Vertebra on Sagittal Balance Parameters of the Lumbopelvic-Hip Complex

Lin Du^{1,2}, Haitao Yang^{1*}

¹Department of Radiology, The First Affiliated Hospital of Chongqing Medical University, Chongqing

²Department of Radiology, Chongqing Tongliang District Hospital of Traditional Chinese Medicine, Chongqing

Received: May 5th, 2025; accepted: May 28th, 2025; published: Jun. 6th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 杜琳, 杨海涛. 腰骶部移行椎对脊柱-骨盆-髋关节复合体矢状面平衡参数的影像学研究进展[J]. 临床医学进展, 2025, 15(6): 370-376. DOI: 10.12677/acm.2025.1561735

Abstract

Lumbosacral Transitional Vertebra (LSTV) is a common congenital spinal variation, characterized by either lumbarization of the cranial sacral vertebrae or sacralization of the caudal lumbar vertebrae. LSTV affects the sagittal balance parameters of the lumbopelvic-hip complex (LPHC) by altering the anatomical structure and biomechanical properties of the lumbosacral region. Additionally, controversy persists regarding the selection of measurement references for the sacral endplate in LSTV patients, which significantly impacts clinical preoperative assessments and postoperative prognostic outcomes. This article systematically reviews the effects of LSTV on sagittal balance parameters of the LPHC and summarizes recent research advances, aiming to provide a theoretical basis for optimizing surgical planning and prognostic evaluation.

Keywords

Lumbosacral Transitional Vertebra, Sagittal Balance, Lumbopelvic-Hip Complex, Spinal Biomechanics

Copyright © 2025 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

脊柱-骨盆-髋关节复合体(Lumbopelvic-Hip Complex, LPHC)是一个有着承上启下作用的整合功能单元,由腰椎、骨盆及髋关节组成,是人体直立姿势维持和力学传递的关键功能单元[1]-[3]。其矢状面独特的“S”形生理弯曲及骨盆宽大而垂直的解剖结构与生物力学特性决定了矢状面平衡的稳定性,临床中常通过影像学参数评估其功能状态,在预防脊柱功能障碍和评估脊柱手术结果中起着重要作用[2]-[5]。

腰骶部移行椎(LSTV)作为常见脊柱变异,表现为最后一节腰椎骶化或第一节骶椎腰化,文献报道发生率约3.3%~35.9%[6]。LSTV改变了腰骶部应力分布,进而影响LPHC的生物力学平衡,导致LPHC矢状面平衡参数发生变化,不仅给术前评估与手术规划制定带来巨大挑战,还严重降低患者术后疗效及生活质量[5][7]。此外,LSTV患者骶骨终板测量基准选择存在争议,进一步加大了临床评估难度。本文针对LSTV对LPHC矢状面平衡参数的影响及研究进展进行系统综述,为优化手术策略、改善患者预后提供科学理论支持。

2. 脊柱-骨盆矢状面平衡参数研究现状

骨盆入射角(Pelvic Incidence, PI)这一解剖学参数被提出以来,学术界逐渐认识到脊柱-骨盆矢状面平衡对维持躯体姿态的关键作用,由此推动了以PI为核心的矢状面平衡评估体系的建立。目前临床主要通过全脊柱侧位X线片测量脊柱-骨盆参数,其评估系统由骨盆参数与脊柱参数两大部分构成。

骨盆参数:(1) 骨盆入射角(Pelvic Incidence, PI): 定义为S1上终板中点与股骨头中心连线(双股骨头不重合时取连线中点)与S1上终板垂线之间的夹角,正常范围约 34° ~ 84° (平均 52°),是反映骨盆前后径形态与矢状面代偿潜力的核心参数[1][8]。高PI,伴随高骶骨倾斜角(SS)及低骨盆倾斜角(PT),提示骨盆代偿能力较强,患者可通过骨盆后倾(增大PT)使得骶骨垂直化来减少脊柱前倾力矩,延缓或代偿矢状面

失衡; 低 PI, 骨盆前后径短, 骶骨水平化空间有限, 代偿能力显著降低, 易引发严重失衡[1][8]。PI 不仅是评估骨盆形态的解剖学指标, 更是预测失衡代偿及指导手术规划的关键依据。既往观点认为 PI 在骨骼成熟后恒定, 但最新研究提示其可能随年龄发生动态变化[8][9]。(2) 骶骨倾斜角(Sacral Slope, SS): 指 S1 上终板切线与水平线之间的夹角, 正常范围约 $20^{\circ}\sim 65^{\circ}$ (平均 40°), 直接表征骶骨的倾斜程度[1][8]。SS 较低时骨盆呈垂直位, 较高时则呈现前倾趋势。(3) 骨盆倾斜角(Pelvic Tilt, PT): S1 上终板的中点与股骨头中心连线和铅垂线之间的夹角, 正常范围约 $5^{\circ}\sim 30^{\circ}$ (平均 12°), 用于描述骨盆相对于股骨轴的空间方向[1][8]。在 PI 恒定的前提下, PT 增大表明骨盆后倾伴骶骨垂直化(SS 减小), 而 PT 减小则对应骨盆前倾伴骶骨倾斜(SS 增大)[1][8][10]。三者遵循 $PI = PT + SS$ 的力学平衡公式, 共同构建骨盆空间定位的动态坐标系。

脊柱参数: (1) 矢状面垂直轴距离(Sagittal Vertical Axis, SVA): 以 C7 椎体中心铅垂线(C7 Plumb Line, C7 PL)与骶骨后上角的水平距离为量化指标。当 C7 PL 位于骶骨后上角前方时记为正值, 反之为负值。研究表明, $SVA < 5\text{ cm}$ 是维持脊柱整体矢状面平衡的理想阈值[1][8][11]。(2) 胸椎后凸角(Thoracic Kyphosis, TK): 为胸椎段的生理性后凸, 通过 Cobb 角测量, 通常取 T4 上终板至 T12 下终板的夹角(避免肩关节重叠影像干扰)。胸椎后凸不足(TK 减小)可能迫使腰椎前凸(LL)代偿性增大, 以维持重心平衡, 而胸椎后凸过度(TK 增大)可导致躯干前倾(SVA 前移), 需骨盆后倾(PT 增大)代偿[8][12]。(3) 腰椎前凸角(Lumbar Lordosis, LL): L1 上终板与骶 S1 上终板切线的夹角, 其数值与骨盆形态密切相关。LL 与 TK 协同调控 SVA 处于平衡状态。

3. LSTV 对脊柱 - 骨盆矢状面平衡参数的影响

骶骨是衔接腰椎和骨盆的重要解剖结构, 通过骶骨倾斜角度动态调节矢状面平衡, 并将垂直力从腰椎传递到骨盆和下肢以支撑身体维持直立姿势。当存在 LSTV 时, 腰骶部解剖结构异常可引发骨盆形态重塑, 导致 PI、SS 及 LL 的匹配关系失衡。因此, LSTV 患者需重点分析脊柱 - 骨盆矢状面平衡参数的变化, 为临床手术方案的制定提供理论依据。

3.1. LSTV 横突变异对参数的影响及机制

Becker 等[13]研究表明, LSTV 的分型(Castellvi I-IV 型)与骨盆倾斜角(PT)呈显著负相关。Haffer 等[14]回顾性分析 819 例腹部 - 骨盆 CT 扫描, 对比 LSTV (Castellvi I-IV 型, $n = 53$)和无 LSTV ($n = 53$)患者的 PR、PI 和 STA 值, 结果显示, LSTV 组($n = 53$)中 PI 显著升高, STA 显著降低, PR 无显著差异。这可能是因为横突与骶骨形成假关节或融合改变了腰骶部受力情况, 施加于腰骶连接处应力增大, 骨盆代偿性前倾, 骶骨倾斜程度增大所致, 此时 PI 增大, PT 减小, STA 减小。

3.2. LSTV 骶骨终板平面选择对参数的影响

Zhou 等[15]测量了 70 例 LSTV 患者(Castellvi III 型和 IV 型)脊柱 - 骨盆参数(PI, PT, SS, LL, PI-LL, TK, SVA, TPA, T1-SPI), 骶骨终板分别选取骶骨与横突融合处正上方(头侧)以及正下方(尾侧)水平, 结果显示, 尾侧(PI, PT, SS, LL, PI-LL, SVA, TPA) > 头侧。该研究证实 LSTV 患者横突与骶骨融合, 但终板并不平行, 选择尾侧为测量水平, 会导致脊柱 - 骨盆参数增大, 但对腰椎以上的胸椎后凸及 T1-SPI 没有影响。然而, 该研究未对腰椎骶化及骶椎腰化患者进行细化。Zhou 等[16]回顾性分析 6097 例患者 MSCT 全脊柱图像, 纳入 210 例完全型 LSTV (25 PSV = 108, 23 PSV = 102)和无 LSTV ($n = 100$)患者, 测量其 PI、PT、SS、LL、STA、SK 和 PR, LSTV 组分别以解剖学上 S1 (Ontog S1)和形态学上 S1 (Morph S1)为基准进行测量, 研究结果表明, 在 23 PSV 组中 Ontog S1 (PI, PT, SS, LL) > Morph S1, 在 25 PSV 组中 Ontog S1 (PI, PT, SS, LL, STA) < Morph S1, 与 Zhou 等[15]研究结果一致, 即选择移行处尾侧水平测量

的脊柱-骨盆参数会比头侧大;而在 23 PSV 组中 Ontog S1 (STA, SK, PR) < Morph S1, 在 25 PSV 组中 Ontog S1 (SK, PR) > Morph S1, 与 Zhou 等研究相反, 即选择移形处尾侧水平测量的脊柱-骨盆参数会比头侧小。

3.3. LSTV 数目变异对参数的影响

骶椎不全腰化(Castellvi II 型)可能伴随骨盆参数减小。Müller 等[17]回顾性分析 1453 例患者侧位腰椎 X 线片, 测量 LSTV 患者(Castellvi II~IV 型 53 例, 包括腰椎骶化 34 例, 骶椎腰化 19 例)及无 LSTV (n = 100)患者的 PI、LL, 骶椎不全腰化者(Castellvi II 型)以解剖上 S1 为基准测量。结果表明, 骶椎不全腰化者(Castellvi II 型) PI、SS 较正常对照组明显减小。这可能因为 LSTV 患者, 横突与骶骨形成假关节后限制了骶骨的倾斜, 且选择的 S1 水平在一定程度上是腰椎的形态、功能, 相当于 L6 水平。

骶椎腰化患者, 以 L6 为基准测量可能伴随脊柱-骨盆参数减小。Kyrölä 等[18]研究有症状退行性脊柱疾病患者中 LSTV (骶椎腰化, n = 60)和无 LSTV (n = 715)患者的 PI、PT、LL、SVA、PI-LL 和 TPA, 其中 LSTV 组分别以 L6 上终板(L6e)和骶 1 上终板(L6s)为基准测量, 研究结果表明, 存在 LSTV 和无 LSTV 患者 PI、PT、LL、PI-LL 和 TPA 存在明显差异, 且 L6s > 无 LSTV > L6e。因此, 作者认为骶椎腰化患者以 L6 为基准测量时, PI、PT、LL、PI-LL 和 TPA 会减小, 且选择移形处尾侧水平测量的脊柱-骨盆参数会比头侧大, 与 Zhou 等[15]研究结果一致, 而对 SVA 无明显影响。Abola 等[19]对 969 例大体标本进行评估, 并对其中存在 LSTV (L4 = 54, L6 = 23)和无 LSTV (L5 = 892)标本的 PI 进行测量及分析, 其中 L6 组分别以 S1 和 L6 上终板为基准进行测量, 结果显示, L6 (PI) < L5, L6 (PI) < LS1 (PI), 这与 Kyrölä [18]和 Zhou 等[15]学者研究结果一致。Haffer 等[14]分析了 LSTV 组中, 4 LV (n = 9)和 6 LV (n = 11)亚组对 PR、PI 和 STA 的影响, 在 6 LV 亚组中, 比较分别以 L6 和 S1 上终板为基准测量各参数差异, 研究结果表明骶椎腰化组中, L6 (STA)明显低于正常对照组, 而 PI 和 PR 无显著差异。Zhou 等[16]研究结果表明骶椎腰化组中, Ontog S1 (PI, PT, SS, LL, STA)明显低于正常对照组, 而 SK 和 PR 较正常组增大。

骶椎腰化患者, 以 S1 为基准测量可能伴随脊柱-骨盆参数增大。Kyrölä 等[18]研究结果显示骶椎腰化者, 以 S1 为基准测量 PI、PT、LL、PI-LL 和 TPA 时, 明显高于正常对照组。Zhou 等[16]研究结果表明骶椎腰化组中, Morph S1 (PI, PT, SS, LL, STA)明显高于正常对照组, 而 SK 和 PR 较正常组减小。Haffer 等[14]研究结果表明, 骶椎腰化组以 S1 上终板为基准测量, 与正常对照组相比, PI 显著升高, 而 STA 显著降低, PR 无显著差异。

腰椎骶化者, 以形态上 S1 为基准测量可能伴随脊柱-骨盆参数减小。Abola 等[19]研究表明, 腰椎骶化者, 以形态上 S1 为基准测量 PI, 明显低于正常对照组。Müller 等[17]研究表明, 腰椎骶化者, 以形态上 S1 为基准测量 PI、LL, 明显低于正常对照组。Haffer 等[14]研究表明, 腰椎骶化者, 以形态上 S1 为基准测量 PR、PI 和 STA, STA 显著降低, 而 PI 显著升高, PR 无显著差异。Zhou 等[16]研究结果表明腰椎骶化组中, Morph S1 (PI, PT, SS, STA, SK)明显低于正常对照组, 而 PR 较正常组增大, LL 无明显差异。

腰椎骶化者, 以解剖上 S1 为基准测量可能伴随脊柱-骨盆参数增大。Müller 等[17]研究表明, 腰椎骶化者, 以解剖上 S1 为基准测量 PI、LL, 明显高于正常对照组。Zhou 等[16]研究结果表明腰椎骶化组中, Ontog S1 (PI, PT, SS, LL)明显高于正常对照组, 而 PR、STA、SK 较正常组减小。

综上, 一般情况下, 当选择尾侧作为测量的基准时, 相对于头侧向尾侧和后侧平移, 且一般伴随骶骨倾斜程度增加。此时, 过 C7 中心铅垂线与骶骨后上角的水平距离增大, SVA 增大; 股骨头中心与 S1 上终板中点及 T1 中点连线的夹角增大, TPA 随之增大; 在股骨头中心不变的情况下, PI、PT、SS 均会增大; 股骨头中心与骶骨后上缘距离尾侧较头侧更近, 因此 PR 减小; 骶骨向腹侧弯曲程度尾侧较头侧更

加明显, SK 值尾侧也较头侧减小; LL 因为骶骨倾斜程度增加而增大; STA 与移行椎体的形态和骶骨后凸程度相关, 与选择测量水平相关性并不大。此外, 对于一些纳入样本量较小或骶骨相对垂直的研究, 这些参数也可能不会有较大差异。LSTV 改变的是腰骶部解剖结构, 对于腰椎以上的参数以及与骶尾部结构相关不大的参数影响不大, 因此, TK 和 T1-SPI 并没有明显变化。

4. LSTV 对髋关节的影响

在临床实践中, 当患者出现髋关节相关疾病的阳性体征时, 容易简单地把髋关节 X 线检查结果作为病因。然而, 一些以髋关节疼痛和不稳定为主要表现的患者以及潜在的髋臼发育不良(Acetabular Dysplasia, AD)的患者在手术治疗后症状并没有得到缓解, 髋 - 脊柱综合征可能是一个潜在的原因[20]。这一点在研究髋关节置换术对下腰痛患者的临床改善、髋关节和脊柱并发疾病过程的关系以及这些关节的力学关系中得到了证实[21]-[24]。

Flückiger 等[25]研究了犬的腰骶部移行椎的形态与髋关节发育的关系, 结果显示, 不对称的腰骶移行椎有利于骨盆在其长轴上的旋转, 导致一侧髋臼对股骨头覆盖不足, 从而导致髋关节发育不良。这也说明 LSTV 对髋关节的解剖和生物力学有一定的影响。Heaps 等[26]学者对 LSTV 和无 LSTV 患者髋关节置换术后疗效进行评分, 结果显示, 与正常对照组相比, LSTV 组患者从髋关节置换术(HA)中获益较少。Montgomery 等[27]比较了伴有和不伴有低级别 LSTV (Castellvi I 型和 II 型)的股骨头撞击综合征(FAIS)患者髋关节镜术后 2 年的临床结果, 研究显示低级别 LSTV 患者实际上在 2 年内的非关节炎髋关节评分 (NAHS)改善明显更大, 而各组间 FAIS 形态学的任何影像学指标均无差异。这与 Heaps 等研究结果不一致, 这可能与 LSTV 患者纳入类型相关, Heaps 等学者可能更具体地针对高级别 LSTV (Castellvi III 型和 IV 型), 而低级别 LSTV 患者腰椎仍然有一定程度的灵活性和活动能力。因此, 低级别和高级别 LSTV 之间的差异可能需要在未来的研究中进一步探索。而在临床工作中, 对于高级别 LSTV 的 HA 患者需要额外的预防措施, 但腰椎病理较轻的患者可能不受同样的限制。

Luo 等[28]学者测量分析了 LSTV 组(腰椎骶化组、骶椎腰化组)和正常对照组脊柱 - 骨盆 - 髋关节复合体(LPHC)的定量参数(LL, PI, PT, SS, AAA, CE, Sharp Angle, FNSA), 并通过比较这些定量参数在三组间的差异来评估髋关节和脊柱骨盆参数之间的关系。研究结果表明 LSTV 的变异可能通过 LPHC 传递对髋关节解剖发育产生相应的影响, 并可能潜在地减少髋臼矢状面覆盖。因此, 在完成髋关节手术前, 需要考虑 LSTV 对骨盆和髋关节的独特影响, 以便适当调整植入物的位置。Becker 等[29]学者回顾分析了 170 例行髋臼周围截骨术(PAO)患者的标准化站立骨盆前后片, 分为 LSTV 组和无 LSTV 组, 并测量术前和术后(47~81 个月, 平均 63 个月)患者骨盆参数(LCEA, TA, FHEI, AWI, PWI), 分析评估患者报告的结果测量(PROMs)。结果显示, 两组患者术前和术后 PROMs 均无显著差异。与仅存在单纯髋关节发育不良(DDH)患者相比, 同时存在 LSTV 和 DDH 的患者股骨头背侧覆盖面积增加, 有明显后壁征的患者可能会进行更明显的前侧倾斜, 以避免前侧覆盖不足, 这是 PAO 术后过早转换为髋关节置换术的重要预测因素。然而, 由于股骨头撞击的风险, 必须避免前路覆盖过广或髋臼后翻。LSTV 患者在 PAO 术后报告的功能结果和活动与对照组相似。因此, 即使对于伴有 LSTV 的患者, PAO 也是一种有效的治疗选择, 以改善 DDH 引起的临床症状。

5. 总结和展望

综上所述, LSTV 改变了腰骶部的生物力学结构, 并影响矢状面平衡和脊柱 - 骨盆参数。目前, LSTV 患者 S1 节段的选择仍存在争议。总体而言, 以移行椎下方平面作为基线时, 脊柱 - 骨盆参数常被高估; 而以移行椎平面为基线时, 参数则可能被低估。这种差异可能直接导致手术节段定位偏差和矫正目标失

衡, 从而影响患者术后疗效及生活质量。因此, 术前精准识别 LSTV 的存在及其分型对制定个体化手术方案至关重要。目前, 在不进行全脊柱扫描的情况下, LSTV 的漏诊率较高, 且具体分型易受主观因素干扰, 成为制约术前评估的重要瓶颈。接下来, 我们研究计划将对患有 LSTV 并且进行脊柱矫形手术的患者进行大规模随访, 分别以形态学和解剖学上的 SI 节段为基准测量其脊柱-骨盆参数, 并评估患者预后疗效, 以此来判定患者最佳矫形参数及最优 SI 节段。除此之外, 我们还可以通过影像组学提取 LSTV 不同类型患者与正常对照组影像学特征, 并结合人工智能与深度学习技术, 构建基于全脊柱影像的自动化分析模型, 以期实现对 LSTV 患者的精准识别与分型。在临床上, 可根据患者脊柱-骨盆的代偿能力, 选择最优的手术方案来提升患者长期功能预后。然而, 目前对于不同类型 LSTV 引起 LPHC 参数变化的机制, 以及针对不同分型的个性化治疗方案尚有不足, 未来探索之路道阻且长。

参考文献

- [1] 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>
- [2] Abelin-Genevois, K. (2021) Sagittal Balance of the Spine. *Orthopaedics & Traumatology: Surgery & Research*, **107**, Article ID: 102769. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2020.102769>
- [3] Fadaei Dehcheshmeh, P., Gandomi, F. and Maffulli, N. (2021) Effect of Lumbopelvic Control on Landing Mechanics and Lower Extremity Muscles' Activities in Female Professional Athletes: Implications for Injury Prevention. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, **13**, Article No. 101. <https://doi.org/10.1186/s13102-021-00331-y>
- [4] Wang, W., Pei, B., Wu, S., Lu, D., He, P., Ma, C., et al. (2022) Biomechanical Responses of Human Lumbar Spine and Pelvis According to the Roussouly Classification. *PLOS ONE*, **17**, e0266954. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0266954>
- [5] Cirillo Toter, J.I., Fleiderman Valenzuela, J.G., Garrido Arancibia, J.A., Pantoja Contreras, S.T., Beaulieu Lalanne, L. and Alvarez-Lemos, F.L. (2021) Sagittal Balance: From Theory to Clinical Practice. *EFORT Open Reviews*, **6**, 1193-1202. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.6.210062>
- [6] Krenn, V.A., Fornai, C., Webb, N.M., Woodert, M.A., Prosch, H. and Haeusler, M. (2021) The Morphological Consequences of Segmentation Anomalies in the Human Sacrum. *American Journal of Biological Anthropology*, **177**, 690-707. <https://doi.org/10.1002/ajpa.24466>
- [7] Cheung, J.P.Y. (2020) The Importance of Sagittal Balance in Adult Scoliosis Surgery. *Annals of Translational Medicine*, **8**, 35-35. <https://doi.org/10.21037/atm.2019.10.19>
- [8] Savarese, L.G., Menezes-Reis, R., Bonugli, G.P., Herrero, C.F.P.D.S., Defino, H.L.A. and Nogueira-Barbosa, M.H. (2020) Spinopelvic Sagittal Balance: What Does the Radiologist Need to Know? *Radiologia Brasileira*, **53**, 175-184. <https://doi.org/10.1590/0100-3984.2019.0048>
- [9] Bao, H., Liabaud, B., Varghese, J., Lafage, R., Diebo, B.G., Jalai, C., et al. (2017) 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>
- [10] Beyer, G., Khalifé, M., Lafage, R., Yang, J., Elysee, J., Frangella, N., et al. (2020) Pelvic Compensation in Sagittal Malalignment. *Spine*, **45**, E203-E209. <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000003228>
- [11] Zhang, W., Li, T., Xu, M., Liu, X., Wang, G., Wang, B., et al. (2020) C7 Sacral Tilt (C7ST): A Novel Spinopelvic Parameter Reveals the Relationship between Pelvic Parameters and Global Spinal Sagittal Balance and Converts Pelvic Parameters into Spinal Parameters. *European Spine Journal*, **29**, 2384-2391. <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06548-8>
- [12] Shah, A., Lemans, J.V.C., Zavatsky, J., Agarwal, A., Kruyt, M.C., Matsumoto, K., et al. (2019) Spinal Balance/Alignment—Clinical Relevance and Biomechanics. *Journal of Biomechanical Engineering*, **141**, Article 070805. <https://doi.org/10.1115/1.4043650>
- [13] Becker, L., Taheri, N., Haffer, H., Muellner, M., Hipfl, C., Ziegeler, K., et al. (2022) Lumbosacral Transitional Vertebrae Influence on Acetabular Orientation and Pelvic Tilt. *Journal of Clinical Medicine*, **11**, Article 5153. <https://doi.org/10.3390/jcm11175153>
- [14] Haffer, H., Becker, L., Putzier, M., Wiethölter, M., Ziegeler, K., Diekhoff, T., et al. (2021) Changes of Fixed Anatomical Spinopelvic Parameter in Patients with Lumbosacral Transitional Vertebrae: A Matched Pair Analysis. *Diagnostics*, **11**, Article 59. <https://doi.org/10.3390/diagnostics11010059>

- [15] Zhou, P.L., Moon, J.Y., Tishelman, J.C., Errico, T.J., Protopsaltis, T.S., Passias, P.G., *et al.* (2018) Interpretation of Spinal Radiographic Parameters in Patients with Transitional Lumbosacral Vertebrae. *Spine Deformity*, **6**, 587-592. <https://doi.org/10.1016/j.jspd.2018.01.004>
- [16] Zhou, S., Du, L., Luo, Y., Tang, Z., Wang, Q., Zhao, J., *et al.* (2023) Effect of Lumbosacral Transitional Vertebrae on Sagittal Balance of Lumbo-Pelvic Complexity Assessed by Quantitative Whole-Body CT Imaging. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **13**, 8531-8544. <https://doi.org/10.21037/qims-23-799>
- [17] Müller, J.A., Krenn, V.A., Böni, T. and Häusler, M. (2023) The Influence of Lumbosacral Transitional Vertebrae on Lumbar Lordosis and the Angle of Pelvic Incidence. *Journal of Anatomy*, **244**, 594-600. <https://doi.org/10.1111/joa.13985>
- [18] Kyrölä, K., Kautiainen, H., Ylinen, J., Lehtola, R., Kiviranta, I. and Häkkinen, A. (2019) Spinopelvic Parameters and Sagittal Alignment of Symptomatic Degenerative Adult Spinal Disorder Patients with 6 Lumbar Vertebrae. *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication*, **32**, E43-E49. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000000715>
- [19] Abola, M.V., Teplensky, J.R., Cooperman, D.R., Bauer, J.M. and Liu, R.W. (2019) Pelvic Incidence in Spines with 4 and 6 Lumbar Vertebrae. *Global Spine Journal*, **9**, 708-712. <https://doi.org/10.1177/2192568219833029>
- [20] Sun, J., Chhabra, A., Thakur, U., Vazquez, L., Xi, Y. and Wells, J. (2021) The Association of Lumbosacral Transitional Vertebral Anomalies with Acetabular Dysplasia in Adult Patients with Hip-Spine Syndrome: A Cross-Sectional Evaluation of a Prospective Hip Registry Cohort. *The Bone & Joint Journal*, **103**, 1351-1357. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.103b8.bjj-2020-2481.r1>
- [21] McCrum, C.L. (2021) Editorial Commentary: Lumbosacral Anatomy and Mechanics Influence Femoroacetabular Impingement Syndrome and Surgical Outcomes: The Hip Bone Is Connected to the Back Bone. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, **37**, 156-158. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2020.10.030>
- [22] Prather, H. and van Dillen, L. (2019) Links between the Hip and the Lumbar Spine (Hip Spine Syndrome) as They Relate to Clinical Decision Making for Patients with Lumbopelvic Pain. *PM&R*, **11**, S64-S72. <https://doi.org/10.1002/pmrj.12187>
- [23] Diebo, B.G., Day, L.M., Lafage, R., Passias, P.G., Paulino, C.B., Naziri, Q., *et al.* (2019) Radiographic Categorization of the Hip-Spine Syndrome in the Setting of Hip Osteoarthritis and Sagittal Spinal Malalignment. *Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons*, **27**, 659-666. <https://doi.org/10.5435/jaaos-d-18-00295>
- [24] Rodkey, D.L., Lundy, A.E., Tracey, R.W. and Helgeson, M.D. (2020) Hip-Spine Syndrome: Which Surgery First? *Clinical Spine Surgery: A Spine Publication*, **35**, 1-3. <https://doi.org/10.1097/bsd.0000000000001028>
- [25] Steffen, F., Hässig, M., Morgan, J. and Flückiger, M. (2017) Asymmetrical Lumbosacral Transitional Vertebrae in Dogs May Promote Asymmetrical Hip Joint Development. *Veterinary and Comparative Orthopaedics and Traumatology*, **30**, 137-142. <https://doi.org/10.3415/vcot-16-05-0072>
- [26] Heaps, B.M., Feingold, J.D., Swartwout, E., Turcan, S., Greditzer, H.G., Kelly, B.T., *et al.* (2020) Lumbosacral Transitional Vertebrae Predict Inferior Patient-Reported Outcomes after Hip Arthroscopy. *The American Journal of Sports Medicine*, **48**, 3272-3279. <https://doi.org/10.1177/0363546520961160>
- [27] Montgomery, S.R., Li, Z.I., Shankar, D.S., Samim, M.M. and Youm, T. (2023) Patients with Low-Grade Lumbosacral Transitional Vertebrae Demonstrate No Difference in Achievement of Clinical Thresholds after Hip Arthroscopy for Femoroacetabular Impingement Syndrome. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery*, **39**, 1848-1854. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2023.01.099>
- [28] Luo, Y., Tang, Z., Zhou, S., Zhu, T., Xu, Z. and Yang, H. (2024) Effect of Lumbosacral Transitional Vertebra on Developmental Alterations of the Hip: A Quantitative Investigation of the Lumbo-Pelvic-Hip Complex via Whole-Body Computed Tomography. *Quantitative Imaging in Medicine and Surgery*, **14**, 4635-4647. <https://doi.org/10.21037/qims-23-1816>
- [29] Becker, L., Hipfl, C., Schömig, F., Perka, C., Hardt, S., Pumberger, M., *et al.* (2023) The Influence of Lumbo-Sacral Transitional Vertebrae in Developmental Dysplasia of the Hip: A Matched Pair Analysis. *Scientific Reports*, **13**, Article No. 10027. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-37208-8>