

脊柱骨盆矢状面平衡参数应用于成人脊柱畸形中的研究进展

张英健¹ 陈晨¹ 王国强¹ 安忠诚² 董黎强^{2△}

[关键词] 矢状面参数;矢状位平衡;成人脊柱畸形;代偿机制

[中图分类号] R681.5 [文献标志码] A [文章编号] 1005-0205(2020)12-0083-06

正常脊柱的静态矢状位平衡是在生理状态下通过肌肉力量以最小的能量消耗维持脊柱矢状对齐^[1]。最近的研究重点已经从理论概念转化为临床相关的指导方针,确立了脊柱骨盆矢状面平衡在治疗成人脊柱畸形中的作用。成人脊柱畸形是一种复杂的疾病,由不同的类型组成,通常涉及整个脊柱。准确评估成人脊柱畸形(ASD)需要对脊柱和骨盆进行全面的影像学检查,包括颈椎、胸椎、腰椎、以及下肢和骨盆。ASD 手术必须考虑到整体矢状面平衡,以充分纠正畸形,从而缓解疼痛并改善功能。常规影像学检查,例如磁共振成像(MRI)或计算机断层扫描(CT),由于患者平躺,对于平衡分析作用不大。因此,有必要制作全长的站立位 X 线片^[2]。X 线影像采集系统(EOS 成像系统)等最新设备使外科医生能够更好地了解脊柱矢状位对齐,分析代偿错位的机制并制定手术方案及疗效评价标准^[3]。与传统的影像学检查相比,EOS 系统辐射剂量相对较低(比常规 X 射线少 50%~80%),并且可以获得骨骼的三维重建,评估负重条件下的直立姿势和负荷^[4]。本研究就近年来脊柱骨盆矢状面参数的测量、矢状面失平衡代偿机制及对手术的影响等方面进行综述,为 ASD 的评估和治疗提供借鉴。

1 脊柱骨盆参数

1.1 骨盆参数

常用骨盆参数包括:骨盆入射角(PI)、骨盆倾斜角(PT)和骶骨倾斜角(SS),其中 $PI = PT + SS$ ^[5]。PI 由骶髂关节的骨骼结构和形态决定,是一个形态学参数,在儿童期和青春期逐渐增加,成年后一般不随着体位、活动、年龄或畸形而改变^[6]。成人平均骨盆入射角为 $50^{\circ} \sim 55^{\circ}$ ^[7],但个体值范围为 $30^{\circ} \sim 80^{\circ}$ ^[8]。但这是针对高加索人群得出的结论,国人的 PI 值相对较

小^[9]。较大的骨盆入射角意味着腰椎的起始角度更大,需要更大的腰椎前凸来维持脊柱与骨盆对齐。最近通过对正常无症状人群站立状态下的脊柱骨盆进行 3D 分析得出的新的公式: $PT = 0.44PI - 11^{\circ}$ ^[10]。不同于 PI,PT 是一个动态参数,随着骨盆绕髋轴中点的旋转而变化。为了保持直立平衡,增加 PT 需要大量的能量消耗,PT 增加可能会降低相关生活质量^[11]。理想情况下,PT 应小于 PI 的 50%,SS 应大于 PI 的 50%,骨盆后倾的代偿机制才会有更大的代偿潜力^[12]。

1.2 脊柱参数

常用的局部参数包括:胸椎后凸角(TK),胸腰椎后凸角(TLK),腰椎前凸角(LL),颈椎前凸角(CL),颈椎矢状垂直轴(cSVA),脊柱倾角(SCA)。

常用的整体参数包括:矢状垂直轴(SVA),T₁ 骨盆角(TPA),腰椎骨盆角(LPA)。

TK(T₁~T₁₂)的理论值是 LL 的 0.15~0.75 倍^[10],但由于肱骨头的重叠导致正常 X 线照片质量较差,许多研究只测量了 T₄ 和 T₁₂ 之间的胸椎后凸角。Le Huec 等^[10]使用 EOS 成像技术测量了无症状人群中 T₁~T₄ 后凸角,这一部分胸椎后凸角为 $8^{\circ} \sim 10^{\circ}$ 。TPA 与 ASD 患者的健康相关生活质量紧密相关,同时关系到骨盆后倾和躯干前倾的问题^[13]。Roussouly 等^[14]分析发现 L₄~S₁ 部分下腰椎前凸角(LL)占整个 LL 的 2/3($L_4S_1 = 0.66 \times L_1S_1$)。在一项针对无症状志愿者的研究中,60~80 岁年龄组患者的 LL 明显减小^[15],而大多数矢状面垂直轴的改变都与年龄相关。Iyer 等^[16]对 115 例无症状志愿者的影像学分析发现,总体平均 SVA 为 (-6.9 ± 34.8) mm,并且年龄与 SVA 的增长高度相关,其中 21~30 岁个体的 SVA 平均值为 -27.1 mm,70 岁以上的平均值为 28.2 mm。cSVA 与颈部残疾指数评分(NDI)和 SF-36 量表评分相关,当 cSVA 超过 40 mm 时相关性显著提高^[17]。但 cSVA 是否足以描述疾病严重程度是

¹ 浙江中医药大学第二临床医学院(杭州,310053)² 浙江中医药大学附属第二医院骨伤科

△通信作者 E-mail:dlq58@126.com

值得商榷的。例如,颈椎后凸可能是生理站立对齐的正常特征,有研究统计了 106 例无症状志愿者的颈椎参数,其中 34% 存在颈椎后凸畸形^[18]。同时颈椎畸形也会影响整体平衡,研究显示 53% 的颈椎畸形患者存在胸腰椎畸形^[19]。

2 骨盆和脊柱参数之间的关系

有多项研究尝试找到 LL 与 PI 之间的函数关系,通过这些公式,可以在术前根据 PI 计算出 LL 的正常值,也可以用作脊柱骨盆矢状面平衡的参考。Schwab 等^[11]提出: $PI = LL \pm 9^\circ$, 由于受试者人数较少,其准确性较差,容易导致日常操作中出现错误。Le Huec 等^[10]将大型数据库与 EOS 成像技术相结合,研究 268 例来自不同种族的健康成年人,提出了 LL, PI, SS 及 PT 的相关公式: $LL(L_1 - S_1) = 0.54PI + 27.6$; $PT = 0.44PI - 11.4$; $SS = 0.54PI + 11.90$ 。最近,有研究者提出关于韩国老年人群的理想预测公式: $PI - LL = 0.38PI - 27.61$, $PI - LLL = 0.77PI - 28.69$, 理想 $LL = 0.62PI + 27.61$, 理想 $LLL = 0.225PI + 28.63$ ^[20]。基于对 PT, PI-LL 及 SVA 的回归分析显示,术后 Oswestry 功能障碍指数(ODI)量表和 SF-36 生存质量与年龄相关,年轻患者可能需要比老年人更严格的矢状对齐目标^[21]。老年患者能够耐受更大程度的矢状位不齐。75 岁或以上的患者可以耐受的 PI-LL 差值为 8.3(ODI 为 20),而对于相同的 ODI, 35~44 岁的患者则是一 2.7^[22]。

3 脊柱畸形患者矢状面平衡的变化

人在重力环境下站立和移动,脊椎会受到约束。由于下肢、骨盆和脊椎之间存在紧密的联系,人体通过骨盆的扩大和垂直化来获得直立姿势,从而导致矢状面中脊柱的特征曲率。先天性椎体畸形或强直性脊柱炎可能会阻碍脊柱正常的发育,而脊柱肿瘤、感染或变性会随着时间的推移导致进行性失平衡^[23]。医源性平背综合征是由于手术融合导致脊柱后凸或前凸减小,随着椎旁肌肉劳损和椎间盘退化,保持矢状面平衡需要增加骨盆后倾和髋关节伸展,最终导致矢状不平衡和症状恶化^[24]。由于减压手术等原因,脊柱伸肌和韧带损伤也会导致矢状面恶化。退行性矢状面失衡的患者往往年龄较大,既往有下腰椎手术史,常伴有低位融合^[25]。生理性脊柱衰老源于椎间盘高度的退行性改变,从而导致腰椎前凸角减小,进而破坏脊柱骨盆平衡。腰椎前凸角的减小是矢状面失平衡的主要原因之一。腰椎前凸角减小会导致 PI-LL 和 SVA 增加,这些变化使得人体重力线向外偏移。Kim 等^[26]的一项研究表明,腰椎前凸角减小属于脊柱退变,而不是正常老化。74% 的椎间盘退变是由遗传因素引起的,随着年龄的增长,腰椎的退变主要有椎间盘功能不全(弹性

丧失,活动过度等)、关节小关节增生、骨骼重塑和伸肌萎缩等。这些变化导致的腰椎萎缩症或后凸畸形,可能是矢状位失衡的原因^[27]。

4 矢状面平衡的代偿机制

出现矢状位失衡后,人体会通过几种不同代偿机制将身体重新保持骨盆上方并保持直立姿势。代偿机制早期通常只涉及胸腰椎和骨盆,然后向远端进展到髋部和下肢^[28]。PI, PI-LL 大小及脊柱骨盆类型等都会影响失平衡的代偿机制。早期代偿机制主要是胸腰椎躯干前移伴节段性过伸^[29]。然而,胸椎的代偿机制可获得的矫正十分有限,因为胸椎后凸畸形的代偿需要强大的肌肉张力,而老年患者可能缺乏足够的肌肉张力^[30],但这种说法仍需进一步的研究来验证。骨盆的代偿机制更加强大,包括骨盆后倾和骨盆移位。骨盆后倾是指骨盆绕股骨头旋转,而骨盆移位是指骨盆相对于胫骨前侧皮质的位置。腰椎前凸角减小与骨盆后倾及膝关节屈曲密切相关^[28]。骨盆的移位是为了进一步加强髋部伸展和骨盆后倾^[31]。然而,骨盆后倾的增加正是疼痛和残疾的根源^[32]。患者所能达到的最大骨盆倾斜度受到盆腔形态的限制:PI 较小的患者通常可通过盆腔倾斜获得的代偿较少。骨盆的代偿机制因 PI 的不同也存在着差异,PI 较大者的代偿以骨盆后倾为主,而 PI 较小者的代偿以骶骨水平化为主,退变性脊柱侧凸的手术矫形方案及 LL 重建应考虑到 PI 的大小^[33]。PI-LL 匹配值也会影响骨盆的代偿机制,PI-LL 匹配值较小的患者往往会通过增加髋关节伸展来实现骨盆后倾,而 PI-LL 匹配值较大的患者更多地依赖于增加股骨倾斜度代偿,并且膝关节和踝关节的作用变得更加明显^[34]。此外,有研究显示当 $PI - LL \geq 20^\circ$ 时股骨头后移是潜在的代偿机制^[35]。Roussouly 等^[36]将正常脊柱骨盆分为 4 型:1 型, $SS < 35^\circ$, $PI < 50^\circ$, 腰椎较短且存在胸腰椎后凸畸形;2 型, $SS < 35^\circ$, $PI < 50^\circ$, 腰椎较长但外形平坦,接近直线;3 型, $35^\circ \leq SS \leq 45^\circ$, $PI > 50^\circ$, LL 平衡良好;4 型, $SS > 45^\circ$, $PI > 50^\circ$, LL 长度和曲度较大。Sebaaly 等^[37]在此基础上将退行性脊柱骨盆分为 4 类:“经典”Roussouly 型、骨盆前倾型($PT \leq 5^\circ$)、骨盆后倾型($PT \geq 25^\circ$)和腰椎后凸型,并描述了在退行性情况下脊柱可能的演变方式,从而帮助外科医生规划腰椎外形,以恢复患者理想的腰椎曲度。

代偿机制还可能受年龄、种族和身体质量指数(BMI)等因素影响^[38]。Diebo 等^[30]将 161 例 ASD 患者分为两组:大于 65 岁组和 41~65 岁组,发现对于类似程度的畸形,老年患者优先通过下肢和骨盆代偿,而年轻患者则表现出胸椎后凸畸形。韩国患者和日本患者的类似比较显示,韩国患者更容易胸椎后凸畸形,而

日本患者更容易骨盆后倾畸形,肥胖患者由于肥胖限制了骨盆后倾补偿的能力,优先采用下肢代偿^[38]。另外,由于矢状面平衡代偿是一种动态平衡,行走后会出现矢状面代偿失调的情况,可能是由于骨盆和脊柱伸肌的疲劳所致,这时应该在患者步行 10 min 后重新评估矢状面参数^[39]。

5 ASD 术后疗效与脊柱骨盆参数相关性

脊柱骨盆相关参数与 ASD 术后生活质量及 ODI 评分密切相关。现有的研究表明,脊柱骨盆参数的标准值及相关拟合关系可以作为术中参考,更好地提高患者术后生活质量。

Ling 等^[40]研究发现术后颈矢状面参数在以下范围能够获得良好的临床效果: C_7 或 T_1 倾斜角 $\leq 40^\circ$ (平均值为 20°); $cSVA \geq 40$ mm (平均值 20 mm); $SCA = 83^\circ \pm 9^\circ$ 。Protopsaltis 等^[41]发现,如果 T_1 斜率与颈椎前凸角差值 $T_1S-CL > 17^\circ$,可能存在胸腰椎畸形合并原发性颈椎畸形,但需要进一步研究将 $TS-CL$ 作为脊柱畸形的一个整体参数,分析患者术后生活质量的改善。另外, C_2 斜率与 $TS-CL$ 密切相关 ($R = 0.98, P < 0.001$), C_2 斜率与 $TS-CL$ 的值基本相同,术后 1 年 C_2 斜率越大,患者生活质量越差^[42]。

Schwab 等^[32]评估了 ASD 患者脊柱骨盆参数与生活质量评分之间的相关性,根据对 942 例 ASD 患者的研究发现,PT, PI-LL 及 SVA 可以反应患者的残疾程度,严重残疾 ($ODI > 40$) 的阈值包括: $PT \geq 22^\circ$, $SVA \geq 47$ mm, $PI-LL \geq 11^\circ$ 。Schwab 建议术后的 $SVA < 40$ mm, $PI-LL < 10^\circ$, $PT < 20^\circ$, 以达到理想的矢状位对齐。但在术后恢复良好 ($ODI < 22$) 患者的线性回归模型显示: $PI-LL = 0.41PI - 11.12^\circ$ ($r = 0.45, P = 0.0059$), 根据该公式,最佳的 PI-LL 值不是固定的 (即 $PI-LL < 10^\circ$), 而是反映特定个体 PI 的变化值^[43]。另外,有研究显示 ASD 校正的目标应随年龄和 PI 而变化,高 PI 患者不需要进行严格的调整即可达到特定年龄的健康状况^[44]。Rose 等^[45]提出以 $TK + LL + PI \leq 45^\circ$ 为矫正目标。Eskilsson 等^[46]对比研究发现 $TK + LL + PI \leq 45^\circ$ 的患者的 ODI 评分 ($33:44$) 和 EQ-5D 评分 ($0.64:0.40$) 显著低于总和 $> 45^\circ$ 的患者。Banno 等研究发现, $TPA \leq 20^\circ$ 的患者具有更好的矢状对齐,并且术后的 ODI 评分优于对照组^[13]。另外,当 LPA 增加时,患者生活质量、PI-LL 和 TPA 均逐渐增加 ($P < 0.001$), 中度残疾 ($ODI = 40$) 对应的 $LPA = 10.1^\circ$, 轻度残疾 ($ODI = 20$) 对应的 $LPA = 7.2^\circ$ ^[47]。所以, LPA 可以作为术中参考,以 $LPA < 7.2^\circ$ 为矫正目标。

然而,这些是基于西方人群的标准值,尚不清楚它们是否适合国人。此外,当使用不同的手术方法或融

合范围时,相应标准将是不同的。因此,应根据手术方法和融合范围,使用中国人的标准值进行估算。孙卓然等^[48]对 171 例志愿者进行影像学研究,发现在西方人群中 $LL = PI + 9^\circ$ 结果并不适用于国人 LL 的估计,并提出了正常国人的拟合关系 $LL = 0.632PI + 20.611^\circ$ 。我国中老年人群 LL 的理想预测值为 $LL = 0.6PI + 0.4TK + 10^\circ$, TK, SVA 与青年人群有显著性差异^[49]。唐冲等^[50]推荐我国汉族老年人群 LL 的线性拟合关系为 $LL = 0.55PI + 24^\circ$ 。

6 ASD 术式选择与脊柱骨盆参数相关性

脊柱骨盆平衡参数可以作为制定手术方案的标准。考虑到 ASD 手术并发症发生率达 80%, 再次手术率为 50%^[51]。尽管非手术治疗方案缺乏强有力的证据支持,在手术治疗前最大化保守治疗仍是必要的。矢状位平衡是一种动态平衡,与长节段融合且无代偿能力的精确矢状位对齐相比,追求良好的矢状位平衡是更好的选择^[52]。在选择手术方式时,必须在手术前估计手术对骨盆与躯干矫正的量,以达到脊柱骨盆的整体平衡。Mummaneni 等^[53]总结提出 MISDEF2 算法将脊柱骨盆参数作为确定最佳手术方法的关键变量,具有很高的可重复性和一致性。

单个后路经椎弓根次全椎体截骨术 (PSO) 可以矫正 $20^\circ \sim 40^\circ$ 的 LL 和 10~12 cm 的 SVA^[54]。有研究显示,尽管使用 PSO 可以实现积极的矫正目标,但最终随访时仍有 20% 的患者出现了脊柱矢状位失衡^[54]。发生术后矢状位失代偿的危险因素包括: 年龄 > 55 岁, 术前 $SVA > 15$ cm, 术后 $SVA > 8$ cm, LL 增加 $< 40^\circ$, $TK < 25^\circ$ 及 $TK + PI + LL < 45^\circ$ ^[45]。与传统的 PSO 相比, 合式-张开式联合楔形截骨术可以提供更大幅度的矫正,适用于在进行 1 级截骨术后需要大于 35° 矫正以及椎体楔形畸形的患者^[55]。微创手术 (MIS) 技术是最近研究的热点, MIS 可以减少并发症的发生,但对于严重或固定后的矢状和冠状面畸形,可能不如开放手术有效^[56]。最新的研究表明,接受 MIS 的 ASD 患者术后常常出现矢状位失衡^[57]。在对 104 例接受微创手术患者的回顾性研究中发现,患者术后 ODI 没有明显改善,这与 PI-LL 不匹配和 SVA 未能纠正有关^[58]。在另一项常规手术与多重环形微创手术 (cMIS) 对比研究中,两组术后 Oswestry 功能障碍评分、背部和腿部疼痛评分均得到明显改善,但常规手术组的 SVA, PT 及 PI-LL 匹配值改善更加明显,而前柱松解重建技术 (ACR) 增加了前纵韧带松解以插入高位椎间盘 (通常为 20° 或 30°)。Mundis 等^[59]研究发现,接受 ACR 的患者术后 PI, LL 和 TK 与接受 PSO 的患者没有明显差异,1 年后影像学结果的变化也大致相似。

7 总结与展望

近年来对矢状面平衡方面的研究取得了实质性的进展,特别是 EOS 设备使外科医生能够更好地了解脊柱矢状位对齐,分析脊柱骨盆相关参数与 ASD 之间的关系及矢状面平衡的代偿机制。有证据表明颈椎参数对 ASD 患者的术后整体平衡有一定影响,但仍需要进一步研究将颈椎参数作为脊柱畸形的整体参数。脊柱与骨盆密切相关,手术计划应考虑脊柱和骨盆的整体平衡,从而改善患者的疼痛和残疾,避免残留术后畸形。以正常的拟合关系为基础,将患者生活质量指标与影像学参数相关联。目前尚缺乏适用于国人的 PI-LL 匹配值范围的明确标准,其他相关脊柱骨盆参数之间具体量化关系仍尚未明确,需进未来一步研究探讨。未来 MIS 技术可能会在 ASD 的治疗中发挥更大的作用,继续完善例如前柱松解重建技术和微型开放后柱截骨术等新兴技术结合脊柱骨盆相关参数实现更加合理的治疗目标。

参考文献

- [1] BLONDEL B, JOUVE J L, PANUEL M, et al. Pelvic incidence reliability in spine sagittal balance[J]. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*, 2008, 94(4): 321-326.
- [2] SCHWAB F, LAFAGE V, BOYCE R, et al. Gravity line analysis in adult volunteers: age-related correlation with spinal parameters, pelvic parameters, and foot position[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2006, 31(25): E959-E967.
- [3] 李巍, 朱景雨. 基于 eos 系统的全身矢状面平衡评估的临床应用[J]. *中国医学物理学杂志*, 2018, 35(7): 801-806.
- [4] MELHEM E, ASSI A, EL RACHKIDI R, et al. Eos (r) biplanar X-ray imaging: Concept, developments, benefits, and limitations[J]. *J Child Orthop*, 2016, 10(1): 1-14.
- [5] LEGAYE J, DUVAL-BEAUPERE G, HECQUET J, et al. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves[J]. *Eur Spine J*, 1998, 7(2): 99-103.
- [6] HANSON D S, BRIDWELL K H, RHEE J M, et al. Correlation of pelvic incidence with low-and high-grade isthmic spondylolisthesis[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2002, 27(18): 2026-2029.
- [7] SCHWAB F, PATEL A, UNGAR B, et al. Adult spinal deformity-postoperative standing imbalance: how much can you tolerate? an overview of key parameters in assessing alignment and planning corrective surgery[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(25): 2224-2231.
- [8] SMITH J S, KLINEBERG E, SCHWAB F, et al. Change in classification grade by the srs-schwab adult spinal deformity classification predicts impact on health-related quality of life measures: prospective analysis of operative and nonoperative treatment[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(19): 1663-1671.
- [9] 李危石, 孙卓然, 陈仲强. 正常脊柱-骨盆矢状位参数的影像学研究[J]. *中华骨科杂志*, 2013, 33(5): 447-453.
- [10] LE HUEC J C, HASEGAWA K. Normative values for the spine shape parameters using 3d standing analysis from a database of 268 asymptomatic caucasian and Japanese subjects[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(11): 3630-3637.
- [11] SCHWAB F, LAFAGE V, PATEL A, et al. Sagittal plane considerations and the pelvis in the adult patient[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(17): 1828-1833.
- [12] MAC-THIONG J M, ROUSSOULY P, BERTHONNAUD E, et al. Sagittal parameters of global spinal balance: normative values from a prospective cohort of seven hundred nine caucasian asymptomatic adults[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2010, 35(22): E1193-E1198.
- [13] BANNO T, HASEGAWA T, YAMATO Y, et al. T₁ pelvic angle is a useful parameter for postoperative evaluation in adult spinal deformity patients[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2016, 41(21): 1641-1648.
- [14] ROUSSOULY P, PINHEIRO-FRANCO J L. Sagittal parameters of the spine: biomechanical approach[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 578-585.
- [15] YEH K T, LEE R P, CHEN I H, et al. Are there age- and sex-related differences in spinal sagittal alignment and balance among taiwanese asymptomatic adults? [J]. *Clin Orthop Relat Res*, 2018, 476(5): 1010-1017.
- [16] IYER S, LENKE L G, NEMANI V M, et al. Variations in sagittal alignment parameters based on age: a prospective study of asymptomatic volunteers using full-body radiographs[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2016, 41(23): 1826-1836.
- [17] TANG J A, SCHEER J K, SMITH J S, et al. The impact of standing regional cervical sagittal alignment on outcomes in posterior cervical fusion surgery[J]. *Neurosurgery*, 2015, 76(Suppl 1): S14-S21.
- [18] LE HUEC J C, DEMEZON H, AUNOBLE S. Sagittal parameters of global cervical balance using eos imaging: normative values from a prospective cohort of asymptomatic volunteers[J]. *Eur Spine J*, 2015, 24(1): 63-71.
- [19] SMITH J S, LAFAGE V, SCHWAB F J, et al. Prevalence and type of cervical deformity among 470 adults with thoracolumbar deformity[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2014, 39(17): E1001-E1009.
- [20] HYUN S J, HAN S, KIM Y B, et al. Predictive formula of ideal lumbar lordosis and lower lumbar lordosis determined by individual pelvic incidence in asymptomatic elderly population[J]. *Eur Spine J*, 2019, 28(9): 1906-1913.
- [21] PASSIAS P G, JALAI C M, DIEBO B G, et al. Full-body radiographic analysis of postoperative deviations from age-adjusted alignment goals in adult spinal deformity correction and related compensatory recruitment[J]. *Int J Spine Surg*, 2019, 13(2): 205-214.

- [22] LAFAGE R, SCHWAB F, CHALLIER V, et al. Defining spino-pelvic alignment thresholds; should operative goals in adult spinal deformity surgery account for age? [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2016, 41(1): 62-68.
- [23] THOMASEN E. Vertebral osteotomy for correction of kyphosis in ankylosing spondylitis[J]. *Clin Orthop Relat Res*, 1985, 194: 142-152.
- [24] BOODY B S, ROSENTHAL B D, JENKINS T J, et al. I-atrogenic flatback and flatback syndrome: evaluation, management, and prevention[J]. *Clin Spine Surg*, 2017, 30(4): 142-149.
- [25] BRIDWELL K H. Causes of sagittal spinal imbalance and assessment of the extent of needed correction[J]. *Instr Course Lect*, 2006, 55: 567-575.
- [26] KIM Y B, KIM Y J, AHN Y J, et al. A comparative analysis of sagittal spinopelvic alignment between young and old men without localized disc degeneration[J]. *Eur Spine J*, 2014, 23(7): 1400-1406.
- [27] BATTIE M C, VIDEMAN T, PARENT E. Lumbar disc degeneration: epidemiology and genetic influences [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2004, 29(23): 2679-2690.
- [28] OBEID I, HAUGER O, AUNOBLE S, et al. Global analysis of sagittal spinal alignment in major deformities; correlation between lack of lumbar lordosis and flexion of the knee[J]. *Eur Spine J*, 2011, 20(Suppl 5): 681-685.
- [29] BARREY C, ROUSSOULY P, PERRIN G, et al. Sagittal balance disorders in severe degenerative spine; can we identify the compensatory mechanisms? [J]. *Eur Spine J*, 2011, 20 (Suppl 5): 626-633.
- [30] DIEBO B G, FERRERO E, LAFAGE R, et al. Recruitment of compensatory mechanisms in sagittal spinal malalignment is age and regional deformity dependent; a full-standing axis analysis of key radiographical parameters [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2015, 40(9): 642-649.
- [31] LAFAGE R, LIABAUD B, DIEBO B G, et al. Defining the role of the lower limbs in compensating for sagittal malalignment[J]. *Spine (Phila Pa 1976)*, 2017, 42 (22): E1282-E1288.
- [32] SCHWAB F J, BLONDEL B, BESS S, et al. Radiographical spinopelvic parameters and disability in the setting of adult spinal deformity: a prospective multicenter analysis [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2013, 38(13): E803-E812.
- [33] 王辉, 孙亚澎, 丁文元, 等. 骨盆入射角与退变性脊柱侧凸患者脊柱-骨盆矢状位平衡调节的关系[J]. *中华解剖与临床杂志*, 2015(4): 281-286.
- [34] CHENG X, ZHANG K, SUN X, et al. Analysis of compensatory mechanisms in the pelvis and lower extremities in patients with pelvic incidence and lumbar lordosis mismatch[J]. *Gait Posture*, 2017, 56: 14-18.
- [35] CHENG X, ZHANG K, SUN X, et al. Femoral head reposition as a potential compensatory mechanism in patients with a severe mismatch between pelvic incidence and lumbar lordosis[J]. *Skeletal Radiol*, 2017, 46 (12): 1679-1685.
- [36] ROUSSOULY P, GOLLOGLY S, BERTHONNAUD E, et al. Classification of the normal variation in the sagittal alignment of the human lumbar spine and pelvis in the standing position[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2005, 30(3): 346-353.
- [37] SEBAALY A, GROBOST P, MALLAM L, et al. Description of the sagittal alignment of the degenerative human spine[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(2): 489-496.
- [38] JALAI C M, DIEBO B G, CRUZ D L, et al. The impact of obesity on compensatory mechanisms in response to progressive sagittal malalignment[J]. *Spine J*, 2017, 17(5): 681-688.
- [39] BAE J, THEOLOGIS A A, JANG J S, et al. Impact of fatigue on maintenance of upright posture; dynamic assessment of sagittal spinal deformity parameters after walking 10 minutes[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2017, 42(10): 733-739.
- [40] LING F P, CHEVILLOTTE T, LEGLISE A, et al. Which parameters are relevant in sagittal balance analysis of the cervical spine? a literature review[J]. *Eur Spine J*, 2018, 27(Suppl 1): 8-15.
- [41] PROTOPSALTIS T, TERRAN J, SOROCEANU A, et al. T₁ slope minus cervical lordosis (TS-CL), the cervical answer to PI-LL, defines cervical sagittal deformity in patients undergoing thoracolumbar osteotomy[J]. *Int J Spine Surg*, 2018, 12(3): 362-370.
- [42] PROTOPSALTIS T S, RAMCHANDRAN S, TISHELMAN J C, et al. The importance of C2 slope, a singular marker of cervical deformity, correlates with patient-reported outcomes[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2020, 45(3): 184-192.
- [43] INAMI S, MORIDAIIRA H, TAKEUCHI D, et al. Optimum pelvic incidence minus lumbar lordosis value can be determined by individual pelvic incidence[J]. *Eur Spine J*, 2016, 25(11): 3638-3643.
- [44] PROTOPSALTIS T S, SOROCEANU A, TISHELMAN J C, et al. Should sagittal spinal alignment targets for adult spinal deformity correction depend on pelvic incidence and age? [J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2020, 45(4): 250-257.
- [45] ROSE P S, BRIDWELL K H, LENKE L G, et al. Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy[J]. *Spine(Phila Pa 1976)*, 2009, 34(8): 785-791.
- [46] ESKILSSON K, SHARMA D, JOHANSSON C, et al. The impact of spinopelvic morphology on the short-term outcome of pedicle subtraction osteotomy in 104 patients [J]. *J Neurosurg Spine*, 2017, 27(1): 74-80.

[47] PROTOPSALTIS T S, LAFAGE R, SMITH J S, et al. The lumbar pelvic angle, the lumbar component of the T₁ pelvic angle, correlates with hrqol, PI—LL mismatch, and it predicts global alignment[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2018, 43(10):681-687.

[48] 孙卓然, 李危石, 陈仲强, 等. 正常国人脊柱-骨盆矢状位序列拟合关系研究[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2015, 25(1): 1-5.

[49] 马清伟, 李危石, 孙卓然, 等. 中老年人群脊柱-骨盆矢状位参数及其序列拟合关系[J]. 中国脊柱脊髓杂志, 2016, 26(2):146-150.

[50] 唐冲, 刘正, 吴四军. 汉族老年人群脊柱-骨盆 x 线片矢状位参数特点及序列拟合关系分析[J]. 中华临床医师杂志: 电子版, 2019, 13(8):583-588.

[51] EDWARDS C C, 2ND, BRIDWELL K H, PATEL A, et al. Long adult deformity fusions to l5 and the sacrum: a matched cohort analysis[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2004, 29(18):1996-2005.

[52] KIM Y C, LENKE L G, LEE S J, et al. The cranial sagittal vertical axis (crs_{sva}) is a better radiographic measure to predict clinical outcomes in adult spinal deformity surgery than the C₇ SVA: a monocentric study[J]. Eur Spine J, 2017, 26(8):2167-2175.

[53] MUMMANENI P V, PARK P, SHAFFREY C I, et al. The MISDEF2 algorithm: an updated algorithm for patient selection in minimally invasive deformity surgery[J]. J Neurosurg Spine, 2019, 32(2):221-228.

[54] CHOI H Y, HYUN S J, KIM K J, et al. Surgical and radiographic outcomes after pedicle subtraction osteotomy according to surgeon's experience[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2017, 42(13):E795-E801.

[55] PARK J H, HYUN S J, KIM K J, et al. Comparative study between pedicle subtraction osteotomy (PSO) and closing-opening wedge osteotomy (fish-mouth PSO) for sagittal plane deformity correction[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2017, 42(15):E899-E905.

[56] KANTER A S, TEMPEL Z J, OZPINAR A, et al. A review of minimally invasive procedures for the treatment of adult spinal deformity[J]. Spine (Phila Pa 1976), 2016, 41 (Suppl 8):S59-S65.

[57] PARK P, FU K M, MUMMANENI P V, et al. The impact of age on surgical goals for spinopelvic alignment in minimally invasive surgery for adult spinal deformity[J]. J Neurosurg Spine, 2018, 29(5):560-564.

[58] THAN K D, PARK P, FU K M, et al. Clinical and radiographic parameters associated with best versus worst clinical outcomes in minimally invasive spinal deformity surgery[J]. J Neurosurg Spine, 2016, 25(1):21-25.

[59] MUNDIS G M, TURNER J D, KABIRIAN N, et al. Anterior column realignment has similar results to pedicle subtraction osteotomy in treating adults with sagittal plane deformity[J]. World Neurosurg, 2017, 105:249-256.

(收稿日期:2020-06-10)

广告目录

| | |
|-------------------|-------------------|
| 1. 广东省医药进出口公司珠海公司 | 2. 陕西盘龙药业集团股份有限公司 |
| 同息通 封三 | 盘龙七片 封四 |