

骨盆三处截骨术对发育不良型髋关节半脱位儿童的脊柱-骨盆比率的影响

THE INFLUENCE OF TRIPLE PELVIC OSTEOTOMY ON THE SPINE-PELVIS RATIOS IN CHILDREN WITH DYSPLASTIC SUBLUXATION OF THE HIP

© P.I. Bortulev¹, S.V. Vissarionov^{1, 2}, V.E. Baskov¹, D.B. Barsukov¹, I.Yu. Pozdnykin¹, M.S. Poznovich¹

¹ The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia;

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia

Received: 07.02.2019

Revised: 26.03.2019

Accepted: 06.06.2019

引言。骨盆三处截骨术是用于治疗 12 岁以上儿童的发育不良型髋关节半脱位的有效手术治疗方法。但是，现代研究并未评估进行手术治疗后发育不良型髋关节半脱位儿童的脊柱-骨盆比率、脊柱矢状面形态的指标、以及手术期间这些数值发生变化的可能性。

目标。该研究的目标是，评价对发育不良型髋关节半脱位儿童行骨盆三处截骨术这一经改良技术的有效性。

材料与方法。在 2016 和 2018 年之间，我们分析了 35 名患有发育不良型髋关节半脱位的 13 至 18 岁女性患者（44 处髋关节）的 X 光检查影像和手术治疗情况。患者被分成两组：主组包含进行了手术治疗（根据采用个性化导航模板的经改良方法，考虑了矢状面脊柱-骨盆比率的状态）的 20 名患者（25 处髋关节），对照组包含接受了手术治疗（根据普遍接受的方法）的 15 名患者（19 处髋关节）。

结果。在这两组中，90% 的患者除了发育不良型髋关节半脱位的典型临床和放射学异常之外，还有矢状面平衡（以过度的骨盆前倾和腰椎过度前凸的形式）发生了变化。术后一年，主组患者的矢状面脊柱-骨盆比率状态（以骨盆底角度下降的形式）呈现显著变化（ $p < 0.05$ ），从而达到了骶骨倾斜（SS）的倾斜角平均值和总体腰椎前凸数值的平均值。另一方面，对照组患者的这些放射学参数保持在术前数值范围内。

结论。骨盆三处截骨术这一经改良的技术为减少骨盆前倾和恢复脊柱的矢状面形态提供了条件（ $p < 0.05$ ）。使用个性化导航模板可以实现对髋臼的最准确多平面矫正。术前计划有必要包括专门的 X 射线检查，以评估矢状面脊柱-骨盆比率的状态。

关键词：儿童；髋关节半脱位；矢状面脊柱-骨盆比率；骨盆三处截骨术；3D 原型设计；导航模板。

Introduction. Triple pelvic osteotomy is an effective surgical treatment for dysplastic subluxation of the hip in children aged above 12 years. However, modern studies did not assess the indicators of spine-pelvis ratios, sagittal profile of the spine in children with dysplastic subluxation of the hip following surgical treatment, and possibility of change on these values during the operation.

Aim. This study aimed to evaluate the effectiveness of the improved technique of performing triple pelvic osteotomy on children with dysplastic subluxation of the hip.

Materials and methods. We analyzed the x-ray images and surgical treatment of 35 female patients (44 hip joints) aged 13 to 18 years with dysplastic subluxation of the hip between 2016 and 2018. The patients were divided into two groups: the main group consisted of 20 patients (25 hip joints) who underwent surgical treatment that had taken into account the state of sagittal spine-pelvis ratios according to the improved method using personalized navigation templates, and the control group consisted of 15 patients (19 hip joints) who received surgical treatment according to the generally accepted method.

Results. In addition to the typical clinical and radiological abnormalities of the dysplastic subluxation of the hip in 90% of patients in both groups, there were changes in the sagittal balance in the form of excessive pelvic anteversion and lumbar hyperlordosis. One year postoperatively, patients in the main group showed significant changes ($p < 0.05$) in the state of sagittal spine-pelvis ratios in the form of a decrease in the pelvic base angle, which led to the achievement of the average values of the angle of inclination of the sacral slope (SS) and the value of global lumbar lordosis. On the other hand, these radiological parameters in patients in the control group remained within the preoperative values.

Conclusion. The improved technique of triple pelvic osteotomy provides conditions for the reduction of pelvic anteversion and restoration of the sagittal profile of the spine ($p < 0.05$). The use of personalized navigation templates allows for the most accurate multiplane correction of the acetabulum. It is necessary to include a specialized x-ray examination in the preoperative planning to assess the state of sagittal spine-pelvis ratios.

Keywords: children; subluxation of the hip; sagittal spino-pelvic ratios; triple pelvic osteotomy; 3D-prototyping; navigation templates.

引言

髋关节发育不良通过一些明显的解剖变化显现出来, 这些解剖变化由出生前后期间的关节生理发育受损造成 [1]。在缺乏及时诊断和充分的保守治疗的情况下, 随着儿童长大, 股骨头会去中心化, 导致半脱位, 从而引起早在青少年时期出现严重的静态-动态紊乱和疼痛综合征 [2]。在发育不良型髋关节半脱位患者中, 我们观察到脊柱矢状面形态的临床和放射学变化以及脊椎-骨盆比率的扰乱。这些病理过程导致形成超出普遍接受的标准参数的直立姿势。导致这些变化的基本参数之一是过度的骨盆前倾 [3]。

旨在稳定发育不良的髋关节的手术技术已有很长的发展历史, 从矫髋截骨术、骨骼遮盖术和髋臼成形术的各种不同选择方案到旋转的骨盆截骨术 [4 - 6]。采用了 Salter 博士的技术 (1957 年) 的骨盆截骨术是治疗患有发育不良型髋关节不稳定的 7 岁以下儿童的黄金标准。然而, 年龄增大时, 由于耻骨联合韧带变硬, 髋臼骨块旋转会显著减少。这种情况成为为发育不良型髋关节半脱位髋臼的转位开发替代疗法的先决条件。1977 年, D. Sutherland

和 R. Greenfield 开发和描述了骨盆二处截骨术。1991 年, D. Sutherland 和 M. Moore 发表了骨盆截骨术的临床和放射学结果: 他们排除了 Salter 手术的必须基本元素并进行了截骨术 (稍微更靠近耻骨分支的融合的中间位置), 而且切除了骨块。

除了髂骨截骨术之外, Yu. I. Pozdinkin (1983 年) 开发的骨盆二处截骨术技术还包括耻骨的髋臼周围切除, 紧接着的是旋转期间耻骨-坐骨软骨结合的“闭合性”骨折。该步骤增大了髋臼矫正的可能性。应注意的是, 该技术的临床应用受患者年龄限制, 其缺点之一是髋关节的偏侧化。

目前, 最普遍的技术包括 H. Steel 和 D. Tönnis 修正术 (含功能性 Y 型软骨) 中骨盆三处截骨术的变体技术, 以及 R. Ganz 的髋臼周围骨盆截骨术, 均在骨盆生长完成后才能进行 [7 - 9]。以上手术技术的显著缺点是, 需要使用几种骨盆截骨术的手术方法, 在干预期间改变患者在手术台上的位置, 以及术后骨盆半环的

严重畸形。尽管有其明显的优点，例如保持骨盆脊柱完好、骨盆结构的稳定性以及早期轴向负荷可能性等，R. Ganz 的髋臼周围截骨术技术（1980 年）在技术层面上极其困难。此外，手术期间，无法使髋臼空洞居于中间位置。鉴于这些缺点，俄罗斯科学家已开发出盆骨三处截骨技术，被专科医院科室骨科外科医生广泛应用 [10 - 12]。对于发育不良型髋关节不稳定儿童患者的骨盆三处截骨术长期结果的分析表明，骨盆三处截骨术是手术纠正髋臼的空间位置的最合适方法。

迄今为止，没有对发育不良型髋关节半脱位儿童的脊椎-骨盆比率和脊柱矢状面形态的指标进行术后评估研究，包括手术期间改变这些数值的可能性。因此，俄罗斯联邦卫生部儿童骨科 Turner 科学研究院髋关节病理科的医生对用于治疗发育不良型髋关节半脱位儿童的骨盆三处截骨术进行了改良（申请授予俄罗斯联邦发明专利第 2018132663 号，2018 年 9 月 12 日）。

本研究的目标是评价经改良的骨盆三处截骨术在发育不良型髋关节半脱位儿童中的有效性。

材料与方法

本研究包含 35 名患有发育不良成因的髋关节不稳定（以髋关节半脱位的形式）的 13 至 18 岁（平均年龄 15.5 ± 1.38 岁）女性患者（44 处髋关节）。她们于 2016 至 2018 年在研究院的诊所接受治疗。纳入标准是年龄 13 至 18 岁；单侧或双侧髋关节半脱位；准确的颈干角不超过 140 度；股骨近端的前倾角不超过 45 度；先天或后天性持续脊柱病变；神经障碍；全身性和遗传性疾病；患者及其父母自愿知情同意参与本研究。排除标准是髋关节脱位，包括轻微型的；

颈干角超过 140 度；股骨近端前倾角超过 45 度，需要进行股骨的截骨矫正术；先天性脊柱或特发性脊柱侧凸；或者确证的神经性全身性或遗传性疾病。所有儿童被分成两组。研究组包含 20 名患者（25 处髋关节），他们进行了采用改进的技术的骨盆三处截骨术，脊柱的矢状面平衡和脊椎-骨盆比率的状态已考虑在内。15 名（75%）患者有单侧半脱位，5 名（25%）患者有双侧半脱位。对照组包含 15 名儿童（19 处髋关节），他们接受了根据标准技法进行的手术干预（骨盆三处截骨术）；即，髋臼旋转仅根据髋关节的 X 线影像测量法结果进行计算。11 名（73.4%）患者有单侧半脱位；4 名（26.6%）患者有双侧半脱位。为了使患者陈述客观化和获得关于髋关节功能状态的最全面信息，所有患者完成了适合青少年的量表 - Harris 髋关节评分调查问卷，测角术部分作为最难的评估部分被孩子自己排除掉了。X 射线检查法包括前后位投照和 Lauenstein 位置中的髋关节 X 射线检查、计算机断层扫描（CT）、和脊柱 $C_1 - S_1$ 的侧面全景射线显影图，手术前和手术后 1 年股骨处于站立位。研究期间，评估了以下指标，例如髋臼的纵向倾斜角（Sharp 角）、Wiberg 角、颈干角、股骨近端前倾角、骨骼覆盖度（DBC）、胸椎后凸角和总体腰椎前凸角的大小（根据 Cobb）、骨盆入射角（PI）、骶骨倾斜角（SS）、骨盆倾斜角（PT）和总体矢状面平衡（SVA）。对于发育不良型髋关节不稳定儿童恒则的骨盆三处截骨术，我们选择了由儿童骨科 Turner 科学研究院开发的方法（Kamosko, MM, 2007）。CT 研究后，在术前期间，研究组的所有患者进行了 3D 建模，采用多边形医学工程规划师（Polygon Medical Engineering Planner）软件对即将到来的手术进行后续电脑规划（图 1）。为了消除髋关节半脱位问题，对照组患者在骨盆三处截骨术期间进行了髋臼位置的视觉矫正。

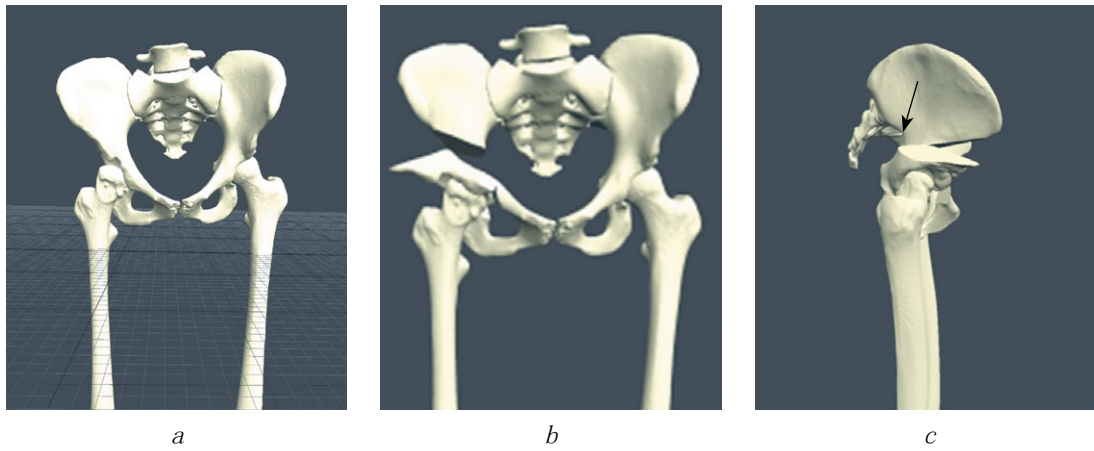


图 1. 使用 PME 规划师程序规划手术干预: *a* - 多层 CT 后获得的图像分割; *b* - 骨盆截骨术和规划髋臼位置的矫正; *c* - 规划后髋臼骨块的必要平移

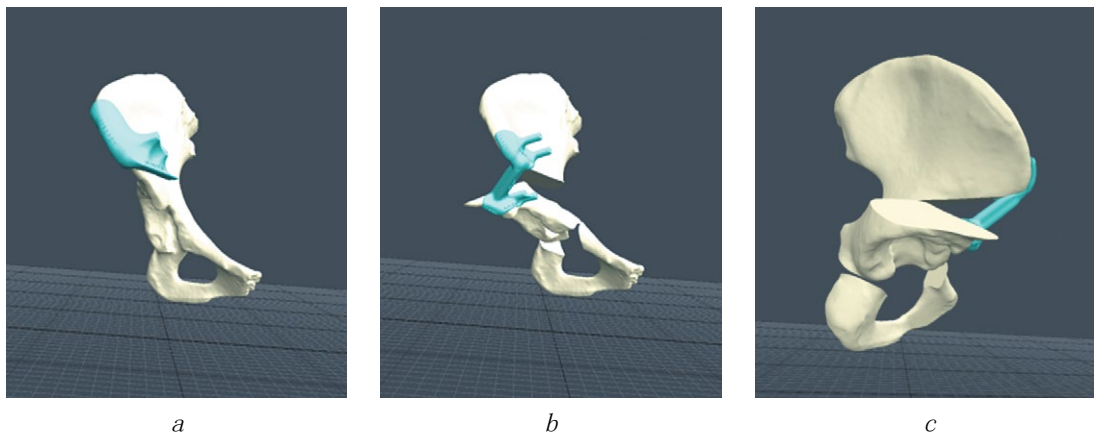


图 2. 在 PME 规划师程序中, 个性化导航模式的虚拟创建: *a* - 行髂骨体截骨术的模板; *b*、*c* - 术中固定髋臼骨块的模板 (在所有平面中的经计算的矫正位置中)

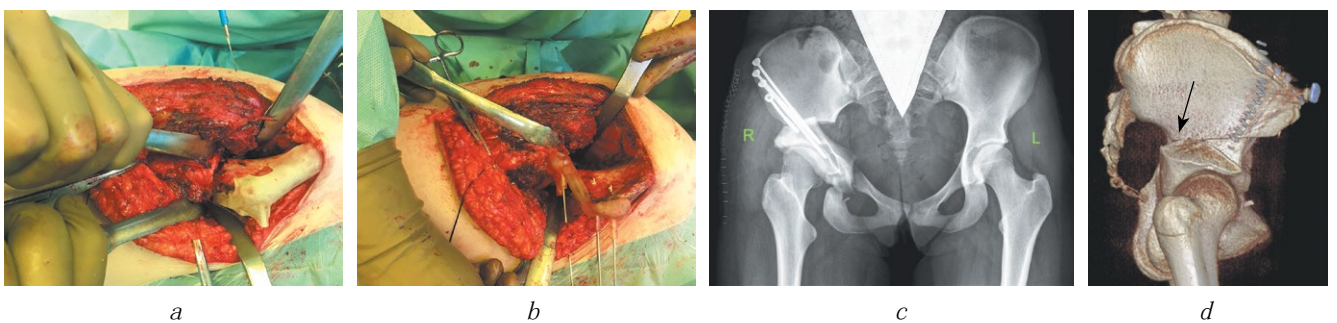


图 3. 个性化导航模板的临床应用: *a* - 术中模式, 用于使用模板计算髂骨体截骨术的确切位置; *b* - 术中照片: 使用模板固定髋臼的空间位置 (在经计算的矫正位置中); *c*、*d* - 骨盆三处截骨术的放射学和多层 CT 结果 (采用所选的技术)

考虑到文献信息和我们自己对健康儿童及髋关节病变患者的矢状面脊椎-骨盆比率 的观察经验 [3, 13 - 15], 我们认为我们 已改进了骨盆三处截骨技术。主要任务不

仅是实现髋关节的稳定性, 而且要改善矢 状面脊椎-骨盆比率。该手术的独特之处不 是髂骨的角切除, 而是从顶部到底部的横向 髋臼周围截骨术, 从髂前上棘下方开始和

旋转髌臼转位之后进行后髌臼骨块的位移（请查看图 1）。

髌臼组成的位移是根据 PI 指标计算的，这是唯一的永久性解剖指标，只有因损伤或手术才会发生变化 [16]。髌臼骨块被后移了 0.5 至 1.5 cm 之间。原型个性化导航模式技术（在 PICASO 3D 设计器 PRO 250 打印机上进行的熔融沉积建模）是为了确保手术干预期间的最大准确性，以及限制骨盆组成的矫正不足或矫正过度的可能性，防止出现股骨髌臼撞击症。在手术干预期间使用这些模式，让我们可以精确地按照之前计算的矫正参数行髌骨体截骨术和固定骨块（图 2、3）。

采用 Surgimap 版本 2.2.15 评估所获得的数据。使用 IBM SPSS（版本 23）进行统计学分析。使用非参数 Mann-Whitney *U* 检查确定差异显著性水平，可靠性至少为 $p < 0.05$ 。使用皮尔逊准则（Pearson criterion）进行相关性分析。

结果

进入诊所治疗时，两组的患者均诉说有受影响的髌关节部位疼痛以及步态障碍。研究组和对照组患者的 Harris 髌关节评分均值分别是 62.4 ± 4.1 和 64 ± 5.4 。下肢的相对缩短长度为 1.3 ± 0.5 cm（对于单侧病变）。此外，所有患者均注意到其身体活动方面的限制。主要是青少年才会有这些限制特征（无法参与活跃的运动，例如有氧运动或跳舞）。这些限制是明显的心理情绪不适的原因。在研究组患者中，主动髌关节运动的幅度的平均值如下：弯曲 $110^\circ \pm 5^\circ$ 、外展 $34^\circ \pm 6^\circ$ 、伸展 $10^\circ \pm 5^\circ$ 、内旋 $60^\circ \pm 10^\circ$ 、以及外旋 $50^\circ \pm 10^\circ$ 。按照弯曲（ $105^\circ \pm 9^\circ$ ）、外展（ $38^\circ \pm 4^\circ$ ）、伸展（ $15^\circ \pm 7^\circ$ ）、内旋（ $5^\circ \pm 12^\circ$ ）

以及外旋（ $50^\circ \pm 8^\circ$ ），对照组患者呈现相似的数据。

在研究组中 17 名（85%）患者和对照组中 12 名（80%）患者观察到脊柱矢状面形态的变化，表现为腰椎的前凸过度。

两组的术前放射学检查结果（Sharp 角和 Wiberg 角、颅骨位移、颈干角、股骨近端前倾角、胸椎后凸角、总体腰椎前凸角（GLL）和矢状面脊椎-骨盆比率 [PI, PT, SS, SVA] 的均值）呈列于表 1。

所获得的数据没有显著差异（ $p > 0.05$ ），可以进行进一步的比较。表 1 显示，两组均有具有关节的骨盆和股骨组成特征的数值，是发育不良病状的典型 [17]。两个组的 32 名（91%）患者中，骨盆过度前倾表现为 SS 指数升高和 PT 指数下降。脊柱生理曲线的状态变化（以脊柱前凸过度的形式）仅在腰椎部位显现。在两个组的仅 3 名（9%）患者中，矢状面脊椎-骨盆比率的指数保持在平均值范围内。体现总体矢状面平衡状态特征的 SVA 指标在两组中均为负数。在两个组的患者中，相关性分析显示只有 GLL 和 SS 数值之间存在很强的相关性（ $r = 0.68$, $p < 0.05$ ）。PI 和 SS 之间的相关性较弱（ $r = 0.38$, $p < 0.05$ ）。

手术治疗的结果是在 1 年后评估的。从早期术后期开始，两组的患者均接受专门的康复治疗 [18]。检查时，研究组的 2 名（10%）患者和对照组的 1 名患者（10%）诉述进行手术的关节部位不适和步态障碍，这仅在大量强体力活动后出现。两个组的其余患者无诉述。研究组和对照组患者的 Harris 髌关节评分均值分别是 91 ± 4.8 和 90 ± 3.6 。测角术数据呈列在表 2。

表 2 显示，手术治疗后 1 年，在两组患者中，髌关节测角术的指数均几乎达到

表 1

研究组和对照组发育不良型髋关节半脱位儿童中，髋臼的空间定位、股骨近端、髋关节稳定性、脊柱矢状面形态和脊椎-骨盆比率的术前指标

Indicators	研究组 ($M \pm SD$)	对照组 ($M \pm SD$)
Sharp 角 (度)	56.9 ± 4.0	57.6 ± 5 (51 - 63)
Wiberg 角 (度)	- 4.2 ± 2.8	- 5.0 ± 3.7
DBC, %	55.8 ± 6.3	53.0 ± 7.8
颅骨位移 (cm)	0.8 ± 0.3	0.7 ± 0.4
CDA (度)	133.8 ± 3.9	134.8 ± 3.5
AA (度)	38.5 ± 6.7	37.3 ± 6.5
PI (度)	52.5 ± 11.1	52.1 ± 10.5
PT (度)	9.1 ± 9.5	11.1 ± 9.1
SS (度)	43.3 ± 4.5	42.7 ± 3.7
TK (度)	33.6 ± 11.0	35.1 ± 11.6
GLL (度)	58.4 ± 6.5	57.3 ± 4.0
SVA (度)	- 6.4 ± 18.8	- 5.7 ± 16

缩写词: DBC: 骨骼覆盖度; CDA: 颈干角; AA: 股骨近端前倾角; PI: 骨盆入射角; PT: 骨盆倾斜角; SS: 骶骨倾斜角; TK: 胸椎后凸角; GLL: 总体腰椎前凸角; SVA: 总体矢状面平衡。

表 2

手术治疗后，两组患者髋关节的运动幅度

运动	研究组患者的运动幅度 ($M \pm SD$)	对照组患者的运动幅度 ($M \pm SD$)
弯曲 (度)	116.0 ± 4.7	115.0 ± 5.1
外展 (度)	38.0 ± 3.5	36.0 ± 2.9
内旋 (度)	30.0 ± 3.7	30.0 ± 3.1
外旋 (度)	45.0 ± 4.2	45.0 ± 3.8

了生理学数值。根据目测评估结果，在研究组患者中，脊柱生理弯曲度的状态倾向于正常化，而对照组仍保持腰椎过度前凸。在对 18 名 (90%) 患者采用改良技术进行骨盆三处截骨术过程中，后髋臼位移了 1 - 1.5 cm，导致 PI 减少 10° - 15°。在与脊椎-骨盆比率均值没有明显偏差的 2 名 (10%) 患者中，后髋臼位移不超过 0.5 cm，防止在旋转期间发生前髋臼位移。

表 3 呈列了两组患者术后 1 年的放射学检查结果 (Sharp 角和 Wiberg 角、

颅骨位移数值、颈干角、股骨近端前倾角、胸椎后凸角、GLL 以及矢状面脊椎-骨盆比率的指数 [PI, PT, SS, SVA] 的均值)。

根据表 3 的数据，可得出结论，骨盆三处截骨术后 1 年，放射学指标 (刻画髋臼的空间位置) 的均值和整体指标 (描述骨盆和股骨关节组成的方向和比率) 的均值有所变化，但是，两组均在正常数值范围内 [17]。同时，相比对照组，研究组的骨盆比率明显变化

表 3

两组患者手术治疗后 1 年，髋臼的空间定位、股骨近端、髋关节稳定性、
脊柱矢状面形态和脊椎-骨盆比率的指标

指标	研究组 ($M \pm SD$)	对照组 ($M \pm SD$)
Sharp 角 (度)	35.1 ± 4.7	32.1 ± 8.1
Wiberg 角 (度)	32.0 ± 4.1	37.0 ± 9.2
DBC, %	95.0 ± 4.2	100.0 ± 5.1
颅骨位移 (cm)	0.2 ± 0.13	0.3 ± 0.15
CDA (度)	133.8 ± 3.9	134.8 ± 3.5
AA (度)	38.5 ± 6.7	37.3 ± 6.5
PI (度)	40.1 ± 10*	55.3 ± 9.3
PT (度)	5.1 ± 8.3*	12.1 ± 9.6
SS (度)	35.0 ± 4.5*	43.2 ± 4.1
TK (度)	31 ± 6	35.7 ± 10.7
GLL (度)	45.3 ± 6.0*	59.8 ± 3.6
SVA (度)	5.7 ± 14.1*	-6.2 ± 16.7

缩写词: DBC: 骨骼覆盖度; CDA: 颈干角; AA: 股骨近端前倾角; PI: 骨盆入射角; PT: 骨盆倾斜角; SS: 骶骨倾斜角; TK: 胸椎后凸角; GLL: 总体腰椎前凸角; SVA: 总体矢状面平衡。*研究组和对照组之间的差异显著性 ($p < 0.05$)。

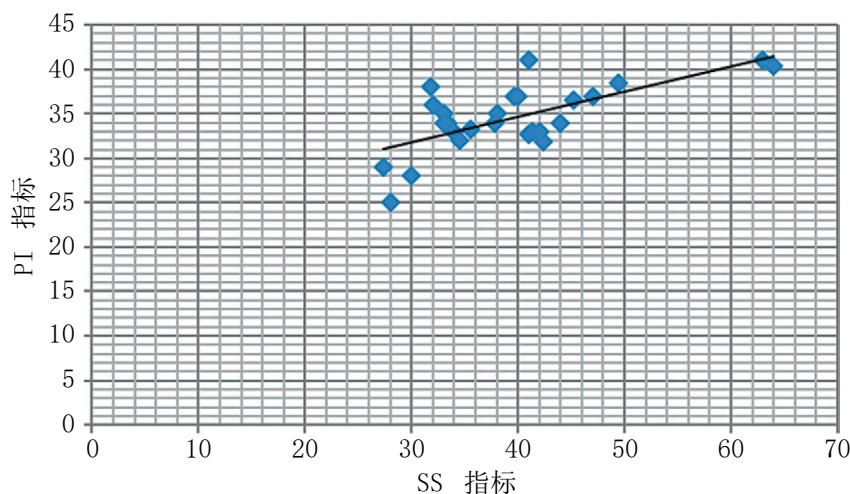


图 4. 治疗后，研究组中 PI (骨盆入射角) 和 SS (骶骨倾斜角) 数值之间的强相关性 ($r = 0.67$; $p < 0.05$)

($p < 0.05$) 为 PI 下降，导致骨盆前倾减少，因此，腰椎过度前凸。在大部分病例中，研究组呈现 SVA 指标有所改善。此外，相关性分析显示 PI 和 SS 指数之间有较强的关联 ($r = 0.67$, $p < 0.05$)，这指示髋关节运动链 - 腰骶脊柱系统的恢复 (图 4)。

讨论

脊柱和髋关节的先天和后天性疾病可致矢状面脊椎-骨盆比率的变化 [19, 20]。迄今为止，当规划脊柱畸形矫正时，脊椎科医师常常计算脊椎-骨盆比率，以实现术后稳定的生理矢状面形态 [16, 21]。

许多作者表明，骨盆指数的变化引起腰椎的矢状面形态变化，转而，导致前或后支撑性复合体在早期出现退变过程 [20, 22, 23]。

患者的全面术前检查数据显示两组患者中受影响的髋关节的畸形情况。此类畸形情况是发育不良型髋关节脱位的特征。这些变化体现在疾病（疼痛综合征、跛行和髋关节运动受限）的临床图像中，以及体现在放射学检查数据中（以病理空间定位和骨盆与股骨关节组成之间的比率扰乱的形式）。此外，两组均显示腰椎前凸过度和矢状面脊椎-骨盆比率扰乱（总体矢状面负平衡和过度骨盆前倾）。文献分析显示，只有一篇发表文章描述了髋关节发育不良成人的矢状面脊椎-骨盆比率的状态。这些研究是由评估患该病的儿童的脊椎-骨盆比率的一群日本科学家进行的，研究结果与我们两个组的术前数据几乎一模一样 [24]。因此，我们断定，在骨盆-脊柱系统中有典型的比率模式，以过度骨盆前倾和腰椎前凸过度的形式显示。

在具有发育不良型髋关节不稳定性的儿童中，缺乏关于矢状面脊椎-骨盆比率的状态的文献信息，排除了对我们的数据进行比较分析的可能性。同时，应注意到，髋关节稳定性恢复后，只有对照组仍保持有过度骨盆前倾（SS 增加）和腰椎前凸过度，这是与研究组结果的主要不同。根据文献，这些疾病均是早期出现后支撑性复合体的退变性营养不良变化或脊椎滑脱的直接前提条件 [25, 26]。因此，针对骨盆三处截骨术的改进性手术技术显著改善了矢状面脊椎-骨盆比率和根治了腰椎前凸过度。考虑了关于健康儿童和患者的矢状面脊椎-骨盆比率的状态的文献 [13, 14] 以及唯一的解剖指数（即 PI 指数）的重要性，我们的结论是，经改良的骨盆截骨技术可直接降低 PI 值。

积极地开发 3D 建模和原型设计技术，让我们可以扩展个性化导航模式的使用。绝大多数作者报告称手术干预的准确性显著提高，改善了患各种不同骨科疾病的儿童的治疗结果 [27, 28]。文献包含了关于使用导航模式（当进行髋臼周围骨盆截骨术（尸体研究）时和在骨盆后柱骨折的手术治疗过程中）的传闻信息 [29, 30]。进行经改良的骨盆三处截骨术时，个性化导航模式使得对髋臼位置进行精确多平面矫正成为可能。该矫正可由放射学检查数据确认。除了实现充分矫正发育不良型髋臼位置和髋关节的稳定性之外，骨盆三处截骨术使矢状面脊椎-骨盆比率发生了显著变化 ($p < 0.05$)，在研究组患者（接受了采用改良方法的手术治疗）中，以解剖学上的 PI 指数以及 SS 指数的数值下降的形式显示。该方法创造了可减少过度骨盆前倾的条件。鉴于在研究组的所有患者中，骶骨倾斜角与腰椎的放射学指数有强相关性，这些患者的指标接近了针对该年龄的平均统计正常值 [31]。由于手术干预，根据 P. Roussoly 的分类（2003 年），矢状面脊椎-骨盆比率的 X 射线值开始与 II-III 类直立姿势相对应。这些数值被视为构成了协调一致的形态概况，并为预防此类患者早期形成腰椎软骨病提供了条件。

结论

这一改进技术采用个性化导航模式重新定向骨盆三处截骨术，可以实现高度准确的多平面髋臼矫正，这不仅确保了髋臼组成的重构和髋关节的稳定性，而且确保了脊柱矢状面形态的恢复 ($p < 0.05$)，形成协调的直立姿势。我们的研究结果表明，在术前规划中，需要对发育不良型髋关节脱位儿童进行专门的 X 射线深入检查，以评估矢状面骨盆平衡的状态。

其他信息

资金来源。 本研究的开展在俄罗斯联邦卫生部国家任务框架第 AAAA-A18-118122690158-2 号范围内。

利益冲突。 作者声明，不存在与发布本文相关的任何明显或潜在利益冲突。

伦理审查。 本研究经俄罗斯卫生部儿童骨科 Turner 科学研究院的伦理委员会讨论和批准（方案号 2017/6，日期为 2017 年 11 月 28 日）。患者及其代理人知情同意参与本研究 and 公布其个人数据。

作者贡献

P. I. Bortulev 制定研究设计，撰写文章的所有段落内容，采集分析数据，分析文献来源并为患者提供手术治疗。

S. V. Vissarionov 制定研究方法，确定目标，逐步编辑文章的文字内容。

V. E. Basque 逐步编辑文章，并为患者提供手术治疗。

D. B. Barsukov 采集数据，并为患者提供手术治疗。

I. Yu. Pozdnikin 采集数据，并为患者提供手术治疗。

M. S. Poznovich 制作 3D 建模和原型设计。

References

1. Сертакова А.В., Морозова О.Л., Рубашкин С.А., и др. Перспективы молекулярной диагностики дисплазии тазобедренных суставов у детей // Вестник Российской академии медицинских наук. – 2017. – Т. 72. – № 3. – С. 195–202. [Sertakova AV, Morozova OL, Rubashkin SA, et al. Challenges of molecular-based diagnosis developmental dysplasia of the hip in childhood. *Vestn Ross Akad Med Nauk.* 2017;72(3):195-202. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.15690/vramn806>.
2. Баиндурашвили А.Г., Камоско М.М., Краснов А.И., и др. Дисплазия тазобедренных суставов (врожденный вывих, подвывих бедра) — диагностика и лечение у детей младшего возраста: Пособие для врачей. – СПб., 2011. – 36 с. [Baindurashvili AG, Kamosko MM, Krasnov AI, et al. *Displaziya tazobedrennykh sustavov (vrozhdennyuy vyvikh, podvyvikh bedra) — diagnostika i lechenie u detey mladshego vozrasta. Posobie dlya vrachey.* Saint Petersburg; 2011. 36 p. (In Russ.)]
3. Бортулёв П.И., Виссарионов С.В., Басков В.Е., и др. Клинико-рентгенологические показатели позвоночно-тазовых соотношений у детей с диспластическим подвывихом бедра // Травматология и ортопедия России. – 2018. – Т. 24. – № 3. – С. 74–82. [Bortulev PI, Vissarionov SV, Baskov VE, et al. *Clinical and roentgenological criteria of spine-pelvis ratios in children with dysplastic femur subluxation. *Travmatologiya i ortopediya Rossii.** 2018;24(3):74-82. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-3-74-82>.
4. Pauwels F. Biomechanics of the normal and diseased hip: theoretical foundation, technique and results of treatment. Berlin: Springer; 1976.
5. Pemberton PA. Osteotomy of the ilium with rotation of the acetabular roof for congenital dislocation of the hip. *J Bone Jt Surg.* 1958;40(3):724-725.
6. Salter RB, Hansson G, Thompson GH. Innominate osteotomy in the management of residual congenital subluxation of the hip in young adults. *Clin Orthop Relat Res.* 1984(182):53-68.
7. Konya MN, Tuhanioglu U, Aslan A, et al. [A comparison of short-term clinical and radiological results of Tonnis and Steel pelvic osteotomies in patients with acetabular dysplasia]. *Eklemler Hastalik Cerrahisi.* 2013;24(2):96-101. <https://doi.org/10.5606/ehc.2013.22>.
8. Farsetti P, Caterini R, De Maio F, et al. Tonnis triple pelvic osteotomy for the management of late residual acetabular dysplasia: mid-term to long-term follow-up study of 54 patients. *J Pediatr Orthop B.* 2019;28(3):202-206. <https://doi.org/10.1097/BPB.0000000000000575>.
9. Li Y, Xu H, Slongo T, et al. Bernese-type triple pelvic osteotomy through a single incision in children over five years: a retrospective study of twenty eight cases. *Int Orthop.* 2018;42(12):2961-2968. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-3946-3>.

10. Соколовский А.М. Хирургическая профилактика и лечение диспластического коксартроза: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Минск, 1984. [Sokolovskiy AM. Khirurgicheskaya profilaktika i lechenie displasticheskogo koksartroza. [dissertation] Minsk; 1984. (In Russ.)]
11. Соколовский О.А. Результаты тройной остеотомии таза при дисплазии тазобедренного сустава у подростков // Вестник Витебского государственного медицинского университета. – 2012. – Т. 11. – № 4. – С. 74–49. [Sokolovskiy O.A. Rezul'taty troynoy osteotomii taza pri displazii tazobedrennogo sustava u podrostkov. *Vestnik VGMU*. 2012;11(4):74-49. (In Russ.)]
12. Поздникин Ю.И., Камоско М.М. Пути улучшения исходов лечения дисплазии тазобедренного сустава у детей // Актуальные вопросы детской травматологии и ортопедии. – СПб., 2005. – С. 239–247. [Pozdnikin YI, Kamosko MM. Puti uluchsheniya iskhodov lecheniya displazii tazobedrennogo sustava u detey. In: Aktual'nye voprosy detskoj travmatologii i ortopedii. Saint Petersburg; 2005. P. 239-247. (In Russ.)]
13. Hesarikia H, Rahimnia A, Emami Meybodi MK. Differences between male and female sagittal spinopelvic parameters and alignment in asymptomatic pediatric and young adults. *Minerva Ortopedica e traumatologica*. 2018;69(2):44-48.
14. Hasegawa K, Okamoto M, Hatsushikano S, et al. Normative values of spino-pelvic sagittal alignment, balance, age, and health-related quality of life in a cohort of healthy adult subjects. *Eur Spine J*. 2016;25(11):3675-3686. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4702-2>.
15. Mac-Thiong JM, Labelle H, Berthodnaud E, et al. Sagittal spinopelvic balance in normal children and adolescents. *Eur Spine J*. 2007;16(2):227-234. <https://doi.org/10.1007/s00586-005-0013-8>.
16. Крутько А.В. Сагиттальный баланс. Гармония в формулах. – Новосибирск, 2016. [Krut'ko AV. Sagittal'nyu balans. Garmoniya v formulakh. Novosibirsk; 2016. (In Russ.)]
17. Камоско М.М., Баиндурашвили А.Г. Диспластический коксартроз у детей и подростков (клиника, патогенез, хирургическое лечение). – СПб., 2010. [Kamosko MM, Baindurashvili AG. Displasticheskiy koksartroz u detey i podrostkov (klinika, patogenez, khirurgicheskoe lechenie). Saint Petersburg; 2010. (In Russ.)]
18. Бортулёва О.В., Басков В.Е., Бортулёв П.И., и др. Реабилитация подростков после хирургического лечения диспластического коксартроза // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2018. – Т. 6. – № 1. – С. 45–50. [Bortuleva OV, Baskov VE, Bortulev PI, et al. Rehabilitation of adolescents after surgical treatment of dysplastic coxarthrosis. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery*. 2018;6(1):45-50. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PTORS6145-50>.
19. Продан А.И., Радченко В.А., Хвисьюк А.Н., Куценко В.А. Закономерности формирования вертикальной осанки и параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса у пациентов с хронической люмбалгией и люмбоишиалгией // Хирургия позвоночника. – 2006. – № 4. – С. 61–69. [Prodan AI, Radchenko VA, Khvisyuk AN, Kutsenko VA. Mechanism of vertical posture formation and parameters of sagittal spinopelvic balance in patients with chronic low back pain and sciatica. *Spine surgery*. 2006;(4):61-69. (In Russ.)]
20. Мироевский Ф.В. Особенности позвоночно-тазовых взаимоотношений у больных с коксовертебральным синдромом (клинико-рентгенологическое исследование): Автореф. дис. ... канд. мед. наук. – СПб., 2015. [Miroevskiy FV. Osobennosti pozvonochno-tazovykh vzaimootnosheniy u bol'nykh s kokso-vertebral'nyim sindromom (kliniko-rentgenologicheskoe issledovanie). [dissertation] Saint Petersburg; 2015. (In Russ.)]
21. Le Huec JC, Roussouly P. Sagittal spino-pelvic balance is a crucial analysis for normal and degenerative spine. *Eur Spine J*. 2011;20 Suppl 5:556-557. <https://doi.org/10.1007/s00586-011-1943-y>.
22. Продан А.И., Хвисьюк А.Н. Корреляция параметров сагиттального позвоночно-тазового баланса и дегенеративных изменений нижнепоясничных позвоночных сегментов // Хирургия позвоночника. – 2007. – № 1. – С. 44–51. [Prodan AI, Khvisyuk AN. Correlation between sagittal spinopelvic balance parameters and degenerative changes of the lower lumbar spinal segments. *Spine surgery*. 2007;(1):44-51. (In Russ.)]
23. Аверкиев В.А., Кудяшев А.Л., Артюх В.А., и др. Особенности сагиттальных позвоночно-тазовых взаимоотношений у пациентов с коксовертебральным синдромом // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 4. – С. 49–54. [Averkiev VA, Kudyashev AL, Artyukh VA, et al. Features of spino-pelvic realtions in patients with hip-spine syndrome. *Spine surgery*. 2012;(4):49-54. (In Russ.)]
24. Fukushima K, Miyagi M, Inoue G, et al. Relationship between spinal sagittal alignment and acetabular coverage: a patient-matched control study. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138(11):1495-1499. <https://doi.org/10.1007/s00402-018-2992-z>.
25. Murray KJ, Le Grande MR, Ortega de Mues A, Azari MF. Characterisation of the correlation between standing lordosis and degenerative joint disease in the

- lower lumbar spine in women and men: a radiographic study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):330. <https://doi.org/10.1186/s12891-017-1696-9>.
26. Sorensen CJ, Norton BJ, Callaghan JP, et al. Is lumbar lordosis related to low back pain development during prolonged standing? *Man Ther.* 2015;20(4):553-557. <https://doi.org/10.1016/j.math.2015.01.001>.
27. Басков В.Е., Баиндурашвили А.Г., Филиппова А.В., и др. Планирование корригирующей остеотомии бедренной кости с использованием 3D-моделирования. Часть II // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2017. – Т. 5. – № 3. – С. 74–79. [Baskov VE, Baindurashvili AG, Filippova AV, et al. Planning corrective osteotomy of the femoral bone using three-dimensional modeling. Part II. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2017;5(3):74-79. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PTORS5374-79>.
28. Zheng P, Xu P, Yao Q, et al. 3D-printed navigation template in proximal femoral osteotomy for older children with developmental dysplasia of the hip. *Sci Rep.* 2017;7:44993. <https://doi.org/10.1038/srep44993>.
29. Zhou Y, Kang X, Li C, et al. Application of a 3-dimensional printed navigation template in Bernese peri-acetabular osteotomies: A cadaveric study. *Medicine (Baltimore).* 2016;95(50):e5557. <https://doi.org/10.1097/MD.0000000000005557>.
30. Chen H, Wang G, Li R, et al. A novel navigation template for fixation of acetabular posterior column fractures with antegrade lag screws: design and application. *Int Orthop.* 2016;40(4):827-834. <https://doi.org/10.1007/s00264-015-2813-8>.
31. Shefi S, Soudack M, Konen E, Been E. Development of the lumbar lordotic curvature in children from age 2 to 20 years. *Spine (Phila Pa 1976).* 2013;38(10):E602-608. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31828b666b>.

Information about the authors

Pavel I. Bortulev — MD, Research Associate of the Department of Hip Pathology. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-4931-2817>. E-mail: pavel.bortulev@yandex.ru.

Sergei V. Vissarionov — MD, PhD, D.Sc., Professor, Deputy Director for Science, Head of the Department of Spinal Pathology and Neurosurgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics; Professor of the Chair of Pediatric Traumatology and Orthopedics. North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>. E-mail: vissarionovs@gmail.com.

Vladimir E. Baskov — MD, PhD, Head of the Department of Hip Pathology. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-0647-412X>. E-mail: dr.baskov@mail.ru.

Dmitriy B. Barsukov — MD, PhD, Senior Research Associate of the Department of Hip Pathology. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-9084-5634>. E-mail: dbbarsukov@gmail.com.

Ivan Y. Pozdnykin — MD, PhD, Research Associate of the Department of Hip Pathology. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-7026-1586>. E-mail: pozdnykin@gmail.com.

Mahmud S. Poznovich — MD, Research Associate of the Genetic Laboratory of the Center for Rare and Hereditary Diseases in Children and Neurosurgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-2534-9252>. E-mail: poznovich@bk.ru.