



髋关节病患儿双侧全髋关节置换术术后双下肢支撑功能恢复的生物力学研究

RESTORATION OF THE SUPPORT FUNCTION OF THE LOWER LIMBS IN CHILDREN WITH COXARTHROSIS AFTER BILATERAL TOTAL HIP ARTHROPLASTY (BIOMECHANICAL RESEARCH)

© I.E. Nikityuk, E.L. Kononova, V.E. Baskov, Kh.D. Imomov

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

Received: 08.06.2018

Revised: 17.01.2019

Accepted: 05.03.2019

背景: 小儿髋关节病所致畸形造成下肢支撑及运动功能降低, 导致行走生物力学重度障碍。III期髋关节病患者如不具备重建手术条件, 可行全髋关节置换术。

目标: 研究双侧髋关节病患儿双侧全髋关节置换术前后双下肢支撑能力的生物力学参数。

材料与方法: 12例13至17岁的双侧髋关节病患者在全髋关节置换术前后接受稳定性测定及足部造影检查。对侧关节手术间隔时间6至12个月不等。对照组包括15例同龄儿童, 无骨科疾病体征。

结果: 行全髋关节置换术前, 躯体纵向平衡支撑测试提示平衡运动系统紧张。足部造影通过显示前部旋后强直(内侧纵弓强直倾向)有助于双足支撑功能障碍诊断。双侧全髋关节置换术术后, 患者在直立状态下的稳定性得以改善, 第一跖骨头部支撑能力明显恢复, 足部负重分布恢复正常。

结论: 双侧全髋关节置换术后, 髋关节病患者双下肢支撑功能恢复稳定。

关键词: 髋关节, 髋关节病, 全髋关节置换术, 生物力学, 足, 稳定性测定, 足部造影, 小儿。

Background. Deforming arthrosis of the hip joint in children leads to serious disorders of the walking biomechanics due to a decrease in the support and motor functions of the lower limbs. In patients with stage III coxarthrosis, when the potential of reconstructive surgeries has been exhausted, a total hip arthroplasty is performed.

Objective. To study the biomechanical parameters of support ability of the lower limbs in children with bilateral coxarthrosis before and after bilateral total hip arthroplasty.

Material and methods. Stabilometric and plantographic studies were conducted in 12 patients with bilateral coxarthrosis, aged from 13 to 17 years old, before and after hip arthroplasty. The time interval between operations on the contralateral joints ranged from 6 to 12 months. The control group consisted of 15 children of the same age, with no signs of orthopedic disorders.

Results. Before carrying out hip arthroplasty in patients, the tension of the statokinetic system was revealed during the implementation of support for the vertical balance of the body. The plantography method made it possible to diagnose disorders of the support function of the feet in the form of supination rigidity of the anterior section, a tendency toward rigidity of the internal longitudinal arch. After bilateral total hip arthroplasty in patients, the stability of the vertical posture improved, the support ability of the heads of the 1st metatarsal bones was significantly restored, and the weight-bearing distribution across the foot sections was normalized.

Conclusion. After bilateral hip arthroplasty in patients with coxarthrosis, stabilization of the support function of the postoperative lower limbs was achieved.

Keywords: hip joint; coxarthrosis; hip arthroplasty; biomechanics; foot; stabilometry; plantography; children.

背景

在当代骨科中，小儿髋关节病是一种较为复杂的疾病。儿童髋关节病最为常见的病因包括小儿发育不良、先天性髋关节脱位、派尔特斯病（Perthes disease）、脊柱骨骺发育不良、股骨骺滑脱、化脓性关节炎后遗症与幼年型类风湿关节炎。治疗不及时或不充分，会引发髋关节病并造成病情恶化，终末期Ⅲ期可造成髋关节（HP）解剖结构异常，功能低下，导致重度生物力学障碍，从而造成双下肢支撑及运动功能下降[1]。在这种情况下，对于患有不可逆转性解剖及功能障碍的患儿，如无法接受修复手术或受累关节自身情况不允许，则建议采用全髋关节置换术（THR）[2]。

这种器官置换术能够阻止双下肢生物力学障碍的进一步发展，改善其支撑功能。从这一点而言，对小儿THR术后双下肢支撑功能进行量化，至关重要，对于双侧受损的病例尤为如此。此外，受累下肢的适应能力研究也十分值得关注。双足功能诊断是一种双下肢支撑功能评估方法[3]，有助于阐明负重足底特征[4]。

本研究旨在分析双侧髋关节病患儿双侧THR前后双下肢支撑能力的生物力学参数。

材料与方法

对12例双侧髋关节病Ⅲ期患儿采用稳定性测定与足部造影检查，其中6例由髋关节发育不良所致，余6例由脊柱骨骺发育不良造成。患者年龄13至17岁不等（平均年龄为 15.1 ± 0.47 岁）。在1至3年内，在THR术前（图1, a）及术后（图1, b）实施测定与检查。对侧关节手术间隔时间6至12个月不等。

对照组包括15例无病理性骨损伤体征的同龄患儿。

为解决躯体纵向稳定性问题，本次采用了MBN-Biomechanics精密稳定性测试仪（俄国MBN公司）。本研究使用了睁闭眼标准方法[5]。躯体质量中心投影（MCP）最重要的位移参数通过MCP坐标 X 轴（mm）与 Y 轴（mm）以及MCP轨迹平均长度 L （mm）计算。

为研究双足支撑功能，我们采用了硬件与软件系统Podoskan（俄国MBN公司）。为评估双足随时间发生的功能性变化，我们通过向双足施加多种负重进行生物力学测试，即双侧负重支撑足部造影检查（每侧足部承受一半体重）与单侧负重支撑足部造影检查（每侧足部承受全部体重）。

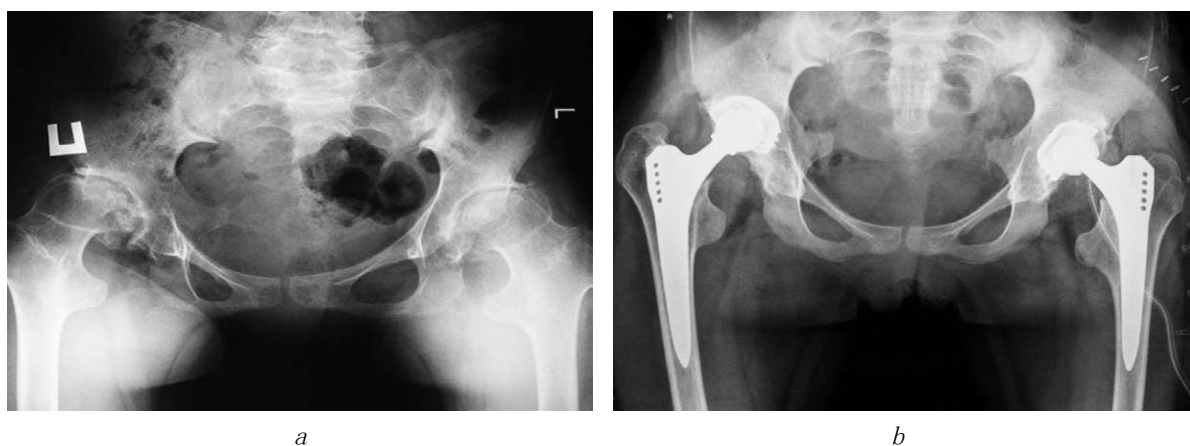


图1.一例16岁患者A的髋关节（HP）X线摄片。脊柱骨骺发育不良。双侧髋关节病Ⅲ期：*a*——髋关节置换前；*b*——双侧THR术后

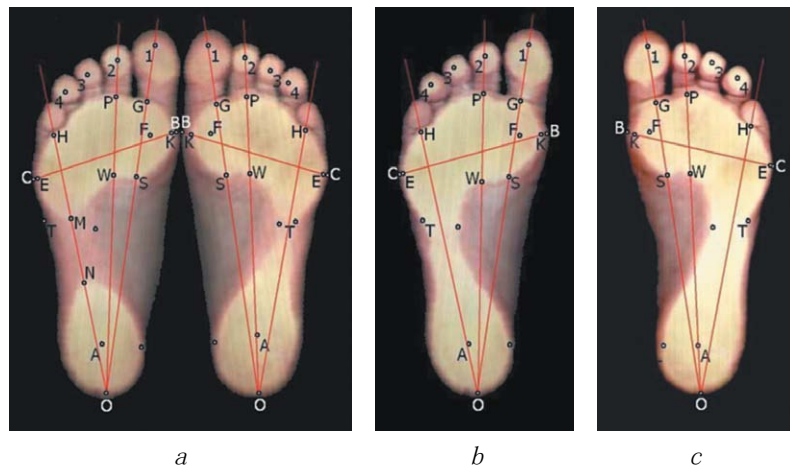


图2. 一例12岁健康儿童B的足部造影标识点：a，双侧支撑负荷足部造影摄片；b，左足单侧支撑负荷足部造影摄片；c，右足单侧支撑负荷足部造影摄片

我们采用一种独有的技术评估双足造影摄片特征与功能参数[6]：在摄片上设置标识点，沿着标识点绘出足横弓线（BC）以及负荷射线（OG）、（OP）与（OH）。在线上行走时，负荷分别对应趾 I、II、V（图2）。

足部造影指数计算如下： $t = KE/BC$ ， $m = GS/GO$ ， $s = PW/PO$ ， $l = MN/HO$ ，分别对应前部、中部、内部及侧部支撑指数，代表横弓、内侧纵弓、中部足弓及外侧纵弓的状态。

通过T检验因素对数据进行统计分析。经计算得到指标 p ，当 $p < 0.05$ 时，考虑为统计显著性。

结果与讨论

稳定性测定数据分析表明，相对于冠状面（X轴）绝对值，双侧髋关节病患者无躯体MCP统计显著性偏移。相比于健康儿童，矢状面（Y轴）可见MCP呈显著前侧偏移，闭眼测试时最为明显（表1）。

表1

双侧髋关节病患者全髋关节置换术（THR）前后的稳定性测定参数

参数	患儿检查组别			
		健康组 (n=15)	治疗前 (n=12)	治疗后 (n=12)
X, mm	O	0.26 ± 0.08	0.48 ± 1.17	0.52 ± 1.34
	C	0.23 ± 0.05	0.86 ± 0.92	0.96 ± 1.48
Y, mm	O	9.4 ± 0.96	18.6 ± 2.14*	12.8 ± 1.56
	C	6.8 ± 0.82	22.4 ± 1.93*	{15.2 ± 1.84}
L, mm	O	678 ± 24.7	944 ± 44.3*	946 ± 38.6
	C	865 ± 25.2	1086 ± 52.6*	1116 ± 46.4

注：O，睁眼测试；C，闭眼测试。*，与健康组的类似指标相比， $p < 0.05$ 时的显著变化率。{ }，与术前同一指标相比， $p < 0.05$ 时的显著变化率。

双侧髋关节病变患儿双下肢可探及对称性负重,提示各肢冠状面稳定性障碍相互代偿,以减少直立姿态与行走等功能性活动所需能量[7]。

如表1所示,患者THR前后平衡运动图上的长度 L 偏差显著增加,提示平衡运动系统张力过度。与此相反,肌肉骨骼系统静止态尚可,躯体纵向平衡机制尚可。

双侧THR术后患者矢状面可见MCP稳定。此时,同一患者的 X 轴坐标平均指数并未发生变化,故而冠状面MCP无不良改变。

综合来看,检测结果提示,双侧髋关节病变患儿接受置换术后,双下肢负荷分布平均性未加重,直立姿态稳定性未恶化。

足部造影检查结果阐述了功能性测试足底负荷特征,这些特征同样适用于双侧髋关节病患者。结果同时表明双足(前部旋后位)支撑功能存在损伤倾向。该结论有足部造影影像学表现。断层图可见单侧(图3)或双侧第一跖骨头部支撑能力下降。

THR术前足部双侧支撑测试示双侧受累下肢足前部支撑指数 t 值显著降低,显示双足横弓明显强直。拟行单侧支撑足部造影检查前,横弓弹性无改变;两倍轴向负荷下前部支撑指数平均值的微小变化也证明了这一点(表2)。

受累双下肢亦可见双足内侧纵弓强直倾向。不论中部支撑指数 m 的生理水平在双侧支撑足部造影如何,其在单侧支撑足部造影中无显著增加。结果表明患者支撑指标 m 明显低于健康组的类似指标值。

应当注意的是,在THR术前,双侧支撑足部造影检查示 s 值与 l 值正常,提示双侧髋关节病患者相应足弓的功能具有一致性。这一

事实表明,术后患者的肌肉骨骼系统依然具有适应性,将来可考虑利用这一特点进行康复治疗。

足部造影检查证实,髋关节病患者接受双侧THR术后,双足支撑功能明显改善,表现为双足第一跖骨头部支撑能力明显恢复(图4)。

足部负荷分布更加均匀,接近正常范围。与此同时,双足足弓功能明显改善,即前部 t 与中部 m 支撑指数的确完全恢复正常(见表2)。双足支撑指标 s 值与 l 值一直处于正常范围。足部造影表现术后恢复正常的原因可能在于髋关节生物力学功能通过外科手术得以恢复,解决了股骨颈过度前倾的问题[8],恢复头部居中结构与髋关节稳定性[9]。髋关节是站立和行走过程中形成双下肢“生物力学反应”的主要关节,因此,双足负荷分布变化不仅能够决定下肢的支撑功能,还能决定髋关节的支撑功能[10]。

此外,足部与骨盆存在的生物动力连接[11, 12]起到髋关节状况标记物的作用,因而双侧THR术后双足负荷分布更加均匀,足弓恢复正常,可提示双足功能一致性改善。

结论

双侧髋关节病III期患者在双侧THR术后功能活动恢复正常,明确提示维持躯体纵向平衡与足部生物力学稳定的良好倾向,可能表明术后双下肢支撑功能改善。

其他信息

经费来源。本研究在俄罗斯联邦卫生部国家级课题(资助编号A A A A-A 18-118122690158-2)框架下开展。

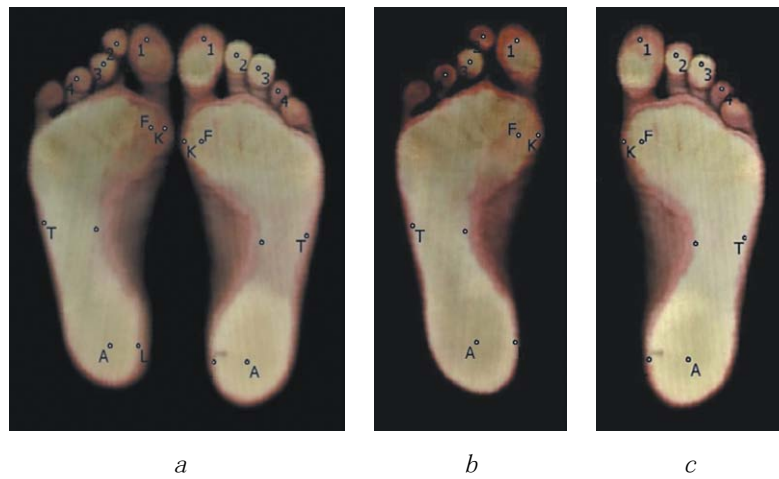


图3. 一例16岁患者A的足部造影摄片。脊柱骨骺发育不良。双侧髋关节病III期（THR术前）：a，双侧支撑负荷；b，左足单侧支撑负荷；c，右足单侧支撑负荷。显示左足第一跖骨头部支撑功能缺损

表2

健康儿童与双侧髋关节病患儿THR术前后足部造影特征的对比性评估

儿童类别	足部造影指数 ($\times 10^{-2}$)							
	双侧支撑足部造影检查 ($M \pm m$)				单侧支撑足部造影检查 ($M \pm m$)			
	<i>t</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>l</i>	<i>t</i>	<i>m</i>	<i>s</i>	<i>l</i>
健康组 (<i>n</i> = 30)	93.6 ± 0.5	21.8 ± 0.32	24.0 ± 0.38	13.3 ± 2.45	96.2 ± 0.34*	25.2 ± 0.3*	26.3 ± 0.39*	1.7 ± 1.19*
治疗前 (<i>n</i> = 24)	{85.5 ± 2.30}	19.6 ± 1.17	22.3 ± 0.81	12.8 ± 2.90	{86.5 ± 2.46}	{21.3 ± 1.25}	25.2 ± 0.88	4.5 ± 1.17*
治疗后 (<i>n</i> = 24)	[93.2 ± 0.45]	22.2 ± 0.44	23.2 ± 0.32	14.5 ± 2.30	[95.4 ± 0.65]	[24.3 ± 0.35]	25.4 ± 0.43	2.0 ± 0.26*

注：*，与双侧支撑的类似指标相比， $p < 0.05$ 时的单侧支撑足部造影显著变化率；{ }，与健康组相似指标不同的指标，且 $p < 0.05$ ；[]，与治疗前指标不同的指标，且 $p < 0.05$ 。

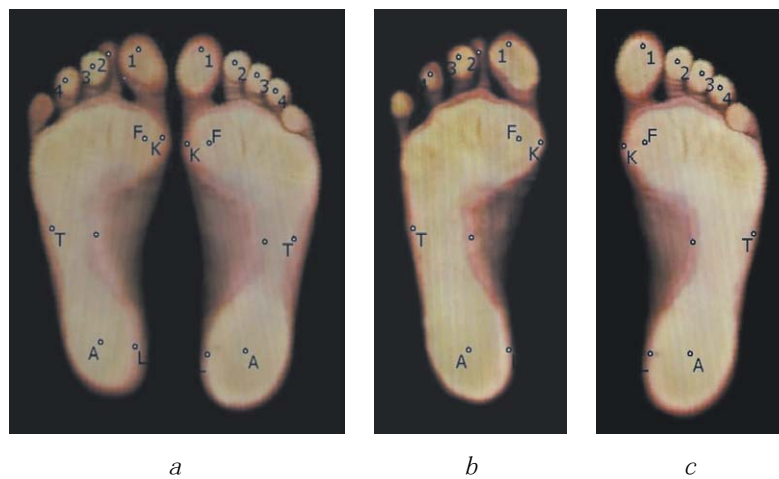


图4. 一例16岁患者A的足部造影摄片。脊柱骨骺发育不良。双侧髋关节病III期（全髋关节置换术（THR）术后）：a，双侧支撑负荷；b，左足单侧支撑负荷；c，右足单侧支撑负荷

利益冲突。作者声明，不存在与本文发表有关的明显及潜在利益冲突。

伦理审查。本研究依照俄罗斯卫生部修订后的世界医学协会（World Medical Association）《赫尔辛基宣言》（Helsinki Declaration）伦理标准，通过特纳儿童矫形科学研究所（Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics）伦理委员会批准。患者（代理人）签署了知情同意书，同意处理并发表患者个人信息。

作者贡献

*I. E. Nikityuk*负责本研究设计过程、材料收集与统计整理、相关主题学术出版物回顾以及文本撰写工作。

*E. L. Kononova*负责材料收集与分析、相关主题出版物回顾、文本撰写与文稿分阶段编辑及最终编辑。

*V. E. Baskov*负责材料收集与分析、文本撰写与文稿分阶段编辑。

*H. D. Imomov*负责材料收集与分析以及文本撰写工作。

致谢。本研究作者团队感谢特纳儿童矫形科学研究所国际项目与对外沟通部门负责人Alena Nikolaevna Melchenko对本文总结部分俄译英工作提供的帮助。

References

1. Metcalfe D, Peterson N, Wilkinson JM, Perry DC. Temporal trends and survivorship of total hip arthroplasty in very young patients. *Bone Joint J.* 2018;100-B(10):1320-1329. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.100B10.BJJ-2017-1441.R2>.
2. Зоря В.И., Смирнов А.В. Предоперационное планирование эндопротезирования тазобедренного сустава при дегенеративно-дистрофических заболеваниях в терминальных стадиях у подростков // Казанский медицинский журнал. – 2016. – Т. 97. – № 4. – С. 645–651. [Zorya VI, Smirnov AV. Preoperative planning of hip joint arthroplasty in terminal stage degenerative diseases in adolescents. *Kazan Med Zh.* 2016;97(4):645-651. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17750/KMJ2015-645>.
3. Cousins SD, Morrison SC, Drechsler WI. The reliability of plantar pressure assessment during bare-foot level walking in children aged 7-11 years. *J Foot Ankle Res.* 2012;5(1):8. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-5-8>.
4. Xu C, Wen XX, Huang LY, et al. Normal foot loading parameters and repeatability of the Footscan(R) platform system. *J Foot Ankle Res.* 2017;10:30. <https://doi.org/10.1186/s13047-017-0209-2>.
5. Никитюк И.Е., Икоева Г.А., Кивоев О.И. Система управления вертикальным балансом у детей с церебральным параличом более синхронизирована по сравнению со здоровыми детьми // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2017. – Т. 5. – № 3. – С. 50–57. [Nikityuk IE, Ikojeva GA, Kivojevo OI. The vertical balance management system is more synchronized in children with cerebral paralysis than in healthy children. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2017;5(3):50-57. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PTORS5349-57>.
6. Никитюк И.Е., Гаркавенко Ю.Е., Кононова Е.Л. Особенности опорной функции нижних конечностей у детей с последствиями поражения проксимального отдела бедра острым гематогенным остеомиелитом // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2018. – Т. 6. – № 1. – С. 14–22. [Nikityuk IE, Garkavenko YE, Kononova EL. Special aspects of the support function of lower limbs in children with the consequences of unilateral lesion of the proximal femur with acute hematogenous osteomyelitis. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2018;6(1):14-22. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PTORS6114-22>.
7. Paulus DC, Settlege DM. Bilateral symmetry of ground reaction force with a motor-controlled resistance exercise system using a mechanical advantage barbell for spaceflight. *Biomed Sci Instrum.* 2011;48:340-344.
8. Слизовский Г.В., Кужеливский И.И. Способ хирургического лечения диспластического коксартроза у детей // *Мать и Дитя в Кузбассе.* – 2013. – № 3. – С. 28–32. [Slizovskiy GV, Kuzhelivskiy II. Surgical treatment method of children dysplastic coxarthrosis. *Mat' i Ditya v Kuzbasse.* 2013;(3):28-32. (In Russ.)]
9. Анисимова Е.А., Юсупов К.С., Анисимов Д.И. Морфология костных структур тазобедренного сустава в норме и при диспластическом коксартрозе (обзор) // Саратовский научно-медицинский журнал. – 2014. – Т. 10. – № 3. – С. 373–377. [Anisimova EA, Yusupov KS, Anisimov DI. Morfologiya kostnykh struktur tazobedrennogo sustava v norme i pri

- displasticheskoy koksartroze (obzor). *Saratov journal of medical scientific research*. 2014;10(3):373-377. (In Russ.)]
10. Norkin CC, Levangie PK. *Joint Structure and Function*. Philadelphia: FA Davis Company; 2011. 588 p.
 11. Kim TH, Lee CW, Kim SG, An BW. The effect of a pelvis-concentrated exercise program on male college students' body alignment and foot base pressure. *J Phys Ther Sci*. 2015;27(4):1165-1167. <https://doi.org/10.1589/jpts.27.1165>.
 12. Ohkawa T, Atomi T, Hasegawa K, Atomi Y. The free moment is associated with torsion between the pelvis and the foot during gait. *Gait Posture*. 2017;58:415-420. <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2017.09.002>.

Information about the authors

Igor E. Nikityuk — MD, PhD, Leading Researcher of the Laboratory of Physiological and Biomechanical Research. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-5546-2729>. E-mail: femtotech@mail.ru.

Elizaveta L. Kononova — MD, PhD, Head of the Laboratory of Physiological and Biomechanical Research. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-7624-013X>. E-mail: Yelisaveta@yandex.ru.

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/0000-0003-0647-4128>. E-mail: dr.baskov@mail.ru.

Khisrav D. Imomov — MD, PhD Student, Orthopedic and Trauma Surgeon of the Department of Hip Pathology. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-5025-7689>. E-mail: Kh.Imomov90@mail.ru.