



椎管狭窄患儿的姿势缺陷

POSTURAL DEFICIENCY IN CHILDREN WITH SPINAL STENOSIS

© I.E. Nikityuk, E.L. Kononova, S.V. Vissarionov

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

Received: 24.05.2018

Revised: 09.11.2018

Accepted: 10.12.2018

引言。椎管狭窄可伴有步态和身体平衡异常。同时，仍未有研究探究椎管狭窄患儿姿势控制发生的变化。

目的。研究椎管狭窄患儿姿势稳定性，并根据狭窄程度定位对姿势的不平衡进行评估。

材料与方法。本研究调查了14例10-17岁椎管狭窄患者。第一组为7例先天性胸椎畸形伴脊髓压迫至狭窄程度的椎管狭窄患者。第二组为7例3至4级L5椎体滑脱伴脊髓根受压的患者。对照组由7名同龄健康儿童组成。我们进行了稳定性测定和包括相关回归分析在内的统计学研究。

结果。稳定测定参数仅在第一组患者中出现显著偏差($p < 0.05$)。在同一组中，静息运动图参数间存在较强的相关性：面积S，长度L，振幅A以及f 60%频谱的平均功率水平。这些数值远远高于健康儿童的数值，可能表明机体垂直平衡控制系统在病理上高度同步。研究还发现了其他变化，如正常稳定测定参数下的L/S与A之间存在较强的关系，而L/A与f 60%之间存在中等关系，表明腰椎椎管狭窄组存在姿势缺陷。

两组患者姿势平衡评估的相关回归分析显示，参数L、S、A和f 60%之间存在相关性。这些数值显著高于健康水平，且在胸廓狭窄定位中最为明显。

结论。与腰骶椎管狭窄的儿童相比，胸椎管狭窄儿童维持身体垂直平衡的系统存在更明显的缺陷。为揭示潜在的姿势平衡失调，必须评估静息运动描记图的长度、面积、振幅和平均功率之间的关系。

关键词：脊髓狭窄；驼背；脊柱侧凸；椎体滑脱；稳定性测定；压力轨迹中心；姿势平衡；姿势缺陷。

Introduction. Stenosis of the spinal canal can be accompanied by abnormalities of gait and body balance. At the same time, changes occurring in the postural control in children with spinal stenosis remain unexplored.

Aim. To study postural stability in children with spinal stenosis and assess the imbalance of the body depending on the level of stenosis localization.

Material and methods. This study investigated 14 patients, aged 10–17 years, with stenosis of the spinal canal. The first group consisted of seven patients with spinal stenosis due to congenital deformity of the thoracic spine with spinal cord compression at the stenosis level. The second group consisted of seven patients with spondylolisthesis of the L₅ vertebra body of grades 3–4, accompanied with spinal cord root compression. The control group consisted of seven healthy children of the same age. We used stabilometry, and statistical study included correlation-regression analysis.

Results. A significant deviation of the stabilometric parameters was noted only in the first group of patients ($p < 0.05$). In the same group, a strong correlation was found between the parameters of statokinesiogram: area S, length L, amplitude A, and mean power level of the spectrum of f 60%, which were much higher than those of healthy children, which may indicate a pathologically high synchronization of the vertical balance control system of the body. Other changes were revealed, such as a strong relationship between L/S and A at normal stabilometric parameters and a moderate force between L/A and f 60%, indicating postural deficiency in the group of patients with stenosis at the level of the lumbosacral spine.

Correlation-regression analysis for assessing the postural balance in both groups of patients showed a correlation between parameters L, S, A, and f 60%, which were significantly higher than those in healthy children and most pronounced in the thoracic localization of stenosis.

Conclusion. The system of maintaining vertical balance of the body in children with stenosis of the spinal canal at the level of the thoracic spine has a more pronounced deficiency than that in patients with stenosis of the canal at the lumbosacral level. To reveal hidden violations of the postural balance, the relationship between length, area, amplitude, and mean power of the statokinesiogram must be evaluated.

Keywords: spinal stenosis; kyphosis; scoliosis; spondylolisthesis; stabilometry; center of pressure trajectories; postural balance; postural deficiency.

前言

椎管狭窄指椎管前后尺寸减小，侧隐窝变窄，导致神经结构局部受压以及/或者脊髓血供功能障碍 [1]。根据病变程度不同，椎管狭窄可能伴有步态障碍 [2] 和平衡障碍 [3]，可以通过稳定性测定 [4] 进行客观评估。

因此，有必要探讨椎管狭窄相关疾病的诊断问题和治疗方法。俄罗斯及外国文献清晰地阐述了椎管狭窄高精度诊断方法及其顺序。此外，文献还阐明了为消除椎髓冲突，通过后方及侧方入路进行的各种手术治疗方法，并且特别对该问题在腰椎和腰骶椎退行性营养不良疾病并伴有腰骶椎椎管狭窄的成人患者中进行了研究 [5, 6]。

然而，目前在发表的论文中，尚未有学者描述并评估关于椎管狭窄患儿的姿势控制系统变化。此外，评估不同椎体水平的神经结构受压引起的姿势功能障碍，至关重要。

本研究旨在探讨椎管狭窄患儿的姿势稳定性，评估狭窄定位程度对机体平衡的影响。

材料与方法

本研究对共 14 名 10 至 17 岁（平均年龄 14.8 ± 1.25 岁）经仪器确认（计算机断层扫描和核磁共振）患有椎管狭窄的患者进行检查。

根据狭窄定位程度将接受检查的患儿分为两组。第 I 组由 7 名脊髓压迫至狭窄程度的椎管狭窄患者组成。第 I 组患者的椎管狭窄是椎体发育异常导致的先天性胸椎畸形。另一方面，第 II 组由 7 名腰椎管狭窄患者组成；其患 3 至 4 级 L5 椎体滑脱，并伴有相同等级的椎管狭窄以及脊髓根受

压。所有患儿均能独立站立，神经状态无小脑或本体感受障碍。这种障碍对姿势失衡发展有显著影响 [7]。

在两组中针对垂直稳定性进行了稳定性测定研究（MBN-生物力学软硬件综合设备，莫斯科）。为便于比较，测定了 7 例同龄健康儿童稳定性测定指标作为标准值。

身体压力中心(CP)的位移参数，即 CP 通过的轨迹长度 L (mm)、面积 S (mm^2)，以及长度和静息运动描记图的比值 L/S (mm^{-1}) 通过睁眼与闭眼的标准方法记录。计算 CP 振荡幅值 A (mm) 的平均值以及正面和矢状面 60% 的频谱功率 $f_{60\%}$ (Hz) 的平均值 [8]。另外，计算长度与振幅的比值 L/A 。

根据统计力学原理对稳定性图进行分析。其中人体静止站立时 CP 的运动可以建模为成对相关随机参数 [9]。

标准值 $p < 0.05$ 被视为有统计学意义。本研究利用非参数斯皮尔曼系数 r_s 进行相关性分析，研究两个变量之间的关联度。 $r_s \geq 0.7$ 则为强关联度， $0.3 < r_s < 0.7$ 则视为中等关联度， $r_s \leq 0.3$ 则视为弱关联度 [10]。在负相关相依存在的情况下，相关系数的模组与正相依模组的解释相同。使用回归分析寻找描述体征关系的函数。

采用 SPSS 12.0 电脑程序和 Centurion 16.2 数据分析结果解读软件，对所得数据进行统计学处理。

研究结果

采用稳定性测定参数（表 1）测定胸椎管狭窄患者的姿势平衡障碍。与健康儿童相比，I 组患者的 L 及 S 均值明显较高， A 的振幅也较高。

表 1 健康儿童和椎管狭窄患者静息运动描记图定量指标特征比较。

参数	Groups of the children being examined		
	健康儿童, $n = 7$	组 I, $n = 7$ (胸椎管狭窄)	II 组 II, $n = 7$ (腰椎管狭窄)
L , mm	748.3 ± 13.83	$1396.4 \pm 79.34^*$	769.9 ± 27.37
S , mm^2	576.3 ± 54.05	$1123.1 \pm 119.06^*$	618.6 ± 108.58
L/S , mm^{-1}	1.5 ± 0.17	1.9 ± 0.69	1.5 ± 0.25
A , mm	3.1 ± 0.17	4.2 ± 0.43	3.1 ± 0.36
$f_{60\%}$, Hz	1.1 ± 0.11	1.3 ± 0.30	1.2 ± 0.03
L/A	250.1 ± 20.36	378.4 ± 84.69	265.3 ± 28.21

注 * 与健康儿童数值有显著差异, $p < 0.05$ 。

II组患者的 L 、 S 、 A 值无明显差异，表明其姿势稳定性最好。然而，考虑到现有病变，凭借这一点，无法完整描述维持身体垂直平衡的功能变化。

为此，我们进行了相关回归分析，研究健康儿童和椎管狭窄患者的静息运动描记图参数的相关性。为此，我们寻找回归方程，通过对散射图的分析和回归系数的生理特征来选择回归方程。

表2. (i) 参数 L/S 对振幅 A 相依性的相关性分析 (ii)
参数 L/A 对健康儿童和椎管狭窄患者静息运动描记图 $f 60\%$ 相依性的相关性分析。

接受检查的儿童组		斯皮尔曼相关系数 r_s	
		$L/S \sim A$ 相依性	$L/A \sim f 60\%$ 相依性
I 组 $n = 7$ (胸椎管狭窄)	OE	-0.56	0.29
	CE	-0.47	0.15
II 组, $n = 7$ (胸椎管狭窄)	OE	-0.88	0.99
	CE	-0.83	0.90
Group II, $n = 7$ (腰椎管狭窄)	OE	-0.96	0.62
	CE	-0.90	0.49

注：OE—睁眼；CE—闭眼。

相关性分析显示，在健康儿童组中，相关系数各模块的数值表明， $L/S \sim A$ 的平均相依性不超过 0.7。在相同的患儿组中， $L/A \sim f 60\%$ 的相依性较低，相关系数 < 0.3 。这说明在标准情况下，为了保证机体的垂直稳定性，不需要对参数 L 、 S 、 A 和 $f 60\%$ 进行较高程度的同步。这些参数之间的比例多为随机，毫无规律可言（图1）。

在第一组胸椎管狭窄患者中，观察到了一种完全不同的身体垂直平衡机制，其特点是 L/S 与 A 参数之间、 L/A 与 $f 60\%$ 参数之间具有很强的相关性，形成一条直线（图2, b）。

II组患者的 $L/S \sim A$ 比值也很高，但 $L/A \sim f 60\%$ 的相关性在平均值范围内（图3, b）。上述事实可能表明，在确保胸脊髓狭窄和腰骶脊髓狭窄患者身体保持垂直平衡时，可能存在不同的代偿。

当视觉传入通道关闭时，考察参数之间的联系特性在所有被检查的儿童组中未出现显著变化（见表2）。

结果讨论

近数十年来，用于研究姿势控制的数学方法表明，保持垂直姿态的过程可以表示为一种随机过程，其中随机性或规

律性可以从概率论方面考虑 [11]。评估 CP 振荡参数的比值时，形成了评估神经退行性疾病患者姿势平衡受损的随机过程概念，发生随机过程后再进行相关性分析和回归分析 [12]。在姿势稳定性偏差评估中，CP 轨迹的动态特性分析比描述性统计法敏感性更高，能够获取更多的信息 [13–15]。

在本研究中，描述性统计学分析显示仅 I 组患者（胸椎管狭窄）的姿势稳定性明显下降。与健康儿童相比，其静息运动描记图的 L 和 S 明显升高。另一方面，与对照组相比，II 组患者（腰椎管狭窄）的各项指标无明显差异。

通过相关性分析和回归分析评估两组患者的姿势控制，我们能够确定参数 L 、 S 、 A 和 $f 60\%$ 之间的关系。这些参数值显著高于健康水平，在胸椎管狭窄患者中最为明显。

更加有序的 CP 轨迹表明，对于脊髓部分受压的患儿，身体垂直平衡控制系统高度同步，证实了中枢神经系统 (CNS) 创伤性 [16]、退行性 [17]、器质性 [18] 病变患者的典型特征。有人提出将姿势控制系统在各种中枢神经系统病变患者中的有序性增加作为其缺陷的动态指标；然而，对于这一现象，尚未有明确解释 [19]。这一说法与以下观点一致：生物过程的有序参数越多，其生

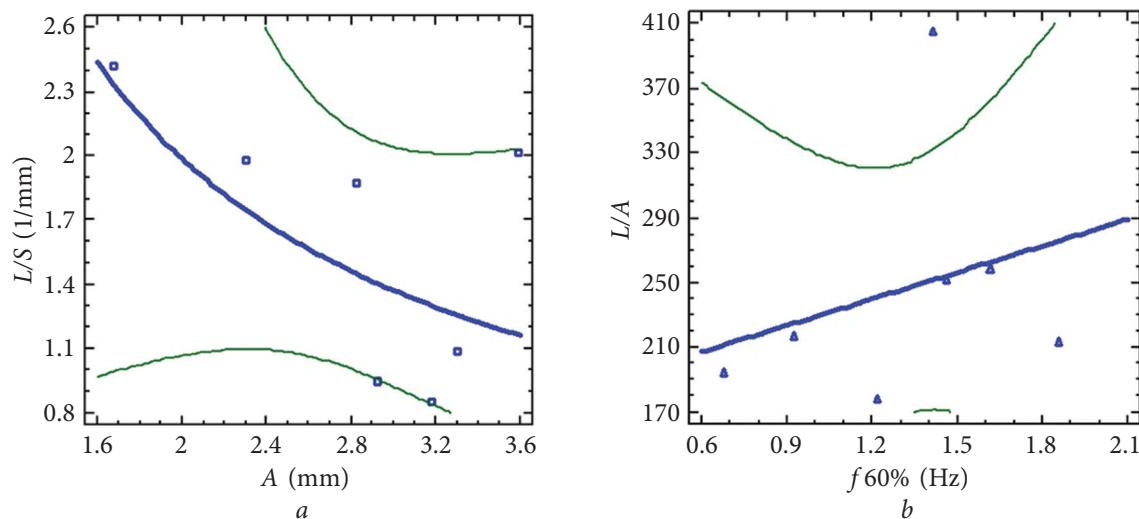


图1.回归线（蓝色粗线）及其置信区间（绿色细线）表示健康儿童睁眼时的相依性
(1) 压力中心振幅 A 的 L/S 参数; (2) 静息运动描记图平均功率频谱 $f_{60\%}$ 的 L/A 参数

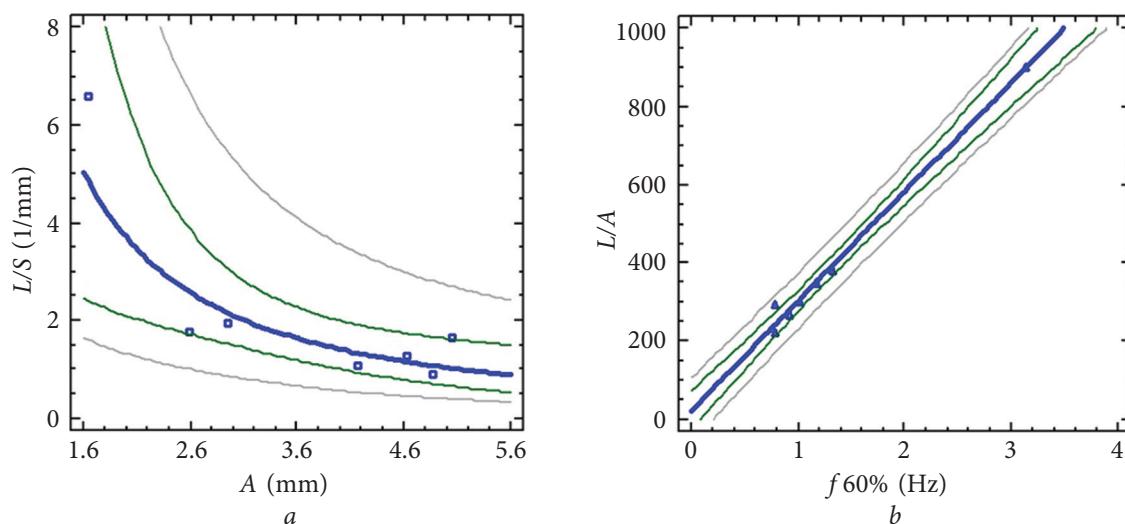


图2.回归线（蓝色粗线）及其置信区间（绿色细线）表示胸椎管狭窄患者睁眼时的相依性
(1) 压力中心振幅 A 的 L/S 参数; (2) 静息运动描记图平均功率频谱 $f_{60\%}$ 的 L/A 参数

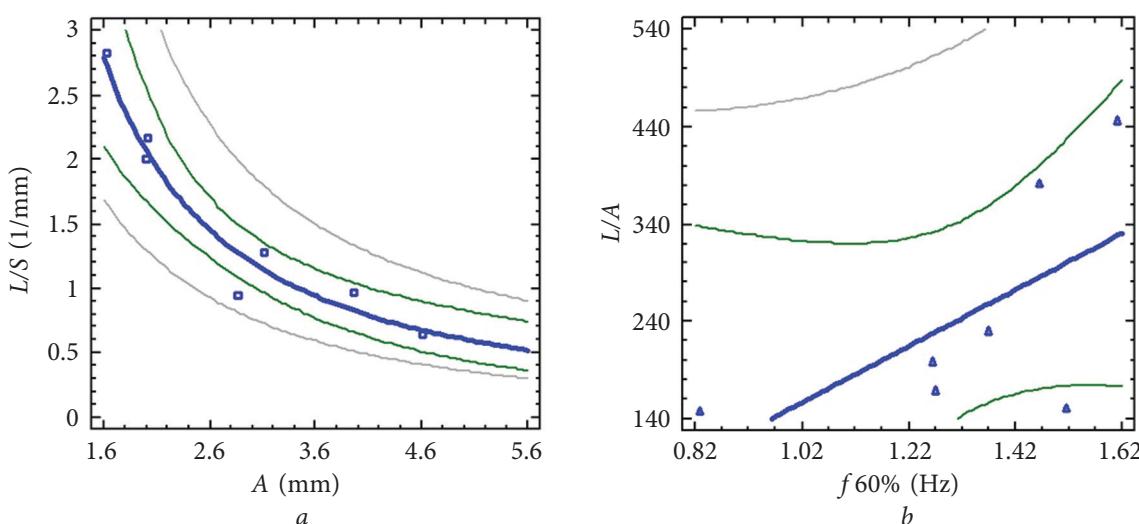


图3.回归线（蓝色粗线）及其置信区间（绿色细线）表示腰椎管狭窄患者睁眼时的相依性
(1) 压力中心振幅 A 的 L/S 参数; (2) 静息运动描记图平均功率频谱 $f_{60\%}$ 的 L/A 参数

理控制效果越差 [20]。综上所述,这些研究结果解释了胸椎管狭窄症患者姿势缺陷的严重程度。在胸椎管狭窄症患者中,除了脊柱疾患外,还存在脊柱后凸畸形。因此,儿童腰骶椎管狭窄症患者在站立位时,可能无法保持直立姿势。在行走过程中,这种情况会因神经根缺血表现而加重。

结论

研究结果表明,胸腰椎管狭窄患者存在姿势缺陷,其中胸椎管狭窄患者的姿势缺陷最为明显。平衡运动系统工作时的张力可能由脊髓传导功能节段性障碍和先天性脊柱畸形患者维持身体垂直平衡的不同生物力学策略引起。第Ⅱ组患者的研究结果显示,腰骶管狭窄患者也表现出类似姿势缺陷。然而,由于脊柱未发生明显解剖学改变,其临床表现的严重程度并不明显。

总而言之,通过相关性分析及回归分析进一步研究椎管狭窄患者的身体垂直平衡,可以阐明姿势控制系统在维持身体平衡方面的内在机制。我们的研究结果在定量评估该类患者平衡运动系统对治疗方法的适应能力方面展现出了潜力。

其他信息

经费来源。本研究由 Turner 小儿骨科科学研究所资助。

利益冲突。作者声明,不存在与本文发表相关的明显及潜在利益冲突。

伦理审查。所有患者的家长自愿签署知情同意书,同意参与研究并发表患者个人数据。

作者贡献

I.E. Nikityuk 和 E.L. Kononov 参与数据采集、数据分析、论文主题相关文献回顾、文本撰写等工作。

S.V. Vissarionov 负责文本分期编辑及定稿。

References

- Гринберг М.С. Нейрохирургия. – М.: МЕДпресс-информ, 2010. [Greenberg MS. Neyrokhirurgiya. Moscow: MEDpress-inform; 2001. (In Russ.)]
- Nagai K, Aoyama T, Yamada M, et al. Quantification of changes in gait characteristics associated with intermittent claudication in patients with lumbar spinal stenosis. *J Spinal Disord Tech.* 2014;27(4):E136-142. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182a2656b.
- Sasaki K, Senda M, Katayama Y, et al. Characteristics of Postural Sway during Quiet Standing before and after the Occurrence of Neurogenic Intermittent Claudication in Female Patients with Degenerative Lumbar Spinal Canal Stenosis. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(6):675-678. doi: 10.1589/jpts.25.675.
- Truszcynska A, Truszcynski O, Rapala K, et al. Postural stability disorders in rural patients with lumbar spinal stenosis. *Ann Agric Environ Med.* 2014;21(1):179-182.
- Kreiner D, William O, Jeffrey S, et al. Evidence-Based Clinical Guidelines for Multidisciplinary Spine Care. Burr Ridge: North American Spine Society; 2011.
- Otani K, Kikuchi S, Yabuki S, et al. Lumbar spinal stenosis has a negative impact on quality of life compared with other comorbidities: an epidemiological cross-sectional study of 1862 community-dwelling individuals. *Scientific World Journal.* 2013;2013:590-652. doi: 10.1155/2013/590652.
- Кононова Е.Л., Ананьева Н.И., Балунов О.А. Нарушения статики при поражении структур мозжечка / I Международный симпозиум «Клиническая постурология, поза и прикус»; июнь 5–8, 2004; Санкт-Петербург. – СПб., 2004. [Kononova EL, Anan'eva NI, Balunov OA. Narusheniya statiki pri porazhenii struktur mozzhechka. In: Proceedings of the 1st International symposium “Klinicheskaya posturologiya, poza i prikus”; 2004 Jun 5-8; Saint Petersburg; 2004. (In Russ.)]
- Скворцов Д.В. Диагностика двигательной патологии инструментальными методами: анализ походки, стабилометрия. – М., 2007. [Skvortsov DV. Diagnostika dvigateľnoy patologii instrumental'nymi metodami: analiz pokhodki, stabilometriya. Moscow; 2007. (In Russ.)]
- Collins JJ, De Luca CJ. Open-loop and closed-loop control of posture: a random-walk analysis of center-of-pressure trajectories. *Exp Brain Res.* 1993;95(2):308-318. doi: 10.1007/BF00229788.
- Зайцев В.М., Лифляндский В.Г., Маринкин В.И. Прикладная медицинская статистика. – СПб.: Фолиант, 2003. [Zaytsev VM, Lifyandskiy VG, Marinkin VI. Prikladnaya meditsinskaya statistika. Saint Petersburg: Foliant; 2003. (In Russ.)]
- Riley MA, Balasubramaniam R, Turvey MT. Recurrence quantification analysis of postural fluctuations. *Gait Posture.* 1999;9(1):65-78. doi: 10.1016/S0966-6362(98)00044-7.
- Blaszczyk JW, Klonowski W. Postural stability and fractal dynamics. *Acta Neurobiol Exp (Wars).* 2001;61(2):105-112.
- Roerdink M, De Haart M, Daffertshofer A, et al. Dynamical structure of center-of-pressure trajectories in patients recovering from stroke. *Exp Brain Res.* 2006;174(2):256-269. doi: 10.1007/s00221-006-0441-7.
- Blaszczyk JW. Sway ratio — a new measure for quantifying postural stability. *Acta Neurobiol Exp (Wars).* 2008;68(1):51-57.
- Raymakers JA, Samson MM, Verhaar HJ. The assessment of body sway and the choice of the stability parameter(s). *Gait Posture.* 2005;21(1):48-58. doi: 10.1016/j.gaitpost.2003.11.006.
- Cavanaugh JT, Guskiewicz KM, Stergiou N. A nonlinear dynamic approach for evaluating postural control: new

- directions for the management of sport-related cerebral concussion. *Sports Med.* 2005;35(11):935-950. doi: 10.2165/00007256-200535110-00002.
17. Schmit JM, Riley MA, Dalvi A, et al. Deterministic center of pressure patterns characterize postural instability in Parkinson's disease. *Exp Brain Res.* 2006;168(3):357-367. doi: 10.1007/s00221-005-0094-y.
18. Никитюк И.Е., Икоева Г.А., Кивоенко 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, Ikoeva GA, Kivoenko OI. The vertical balance management system is more synchronized in children with cerebral palsy than in healthy children. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2017;5(3):50-57. (In Russ.)]. doi: 10.17816/PTORS5350-57
19. Donker SF, Ledebt A, Roerdink M, et al. Children with cerebral palsy exhibit greater and more regular postural sway than typically developing children. *Exp Brain Res.* 2008;184(3):363-370. doi: 10.1007/s00221-007-1105-y.
20. Goldberger AL. Fractal Variability Versus Pathologic Periodicity: Complexity Loss and Stereotypy in Disease. *Perspect Biol Med.* 1997;40(4):543-561. doi: 10.1353/pbm.1997.0063.

Information about the authors

Igor E. Nikityuk — MD, PhD, Leading Research Associate of the Laboratory of Physiological and Biomechanical Research. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. 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. E-mail: Yelisaveta@yandex.ru.

Sergei V. Vissarionov — MD, PhD, Professor, Deputy Director for Research and Academic Affairs, Head of the Department of Spinal Pathology and Neurosurgery. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>. E-mail: vissarionovs@gmail.com.