



# 经舌神经刺激在痉挛性双瘫儿童运动康复中的有效性

## EFFECTIVENESS EVALUATION OF TRANSLINGUAL NEUROSTIMULATION IN MOTOR REHABILITATION IN CHILDREN WITH SPASTIC DIPLEGIA

© T.C. Ignatova<sup>1</sup>, G.A. Ikoeva<sup>2, 3</sup>, V.E. Kolbin<sup>1</sup>, A.M. Sarana<sup>1, 4</sup>, S.G. Shcherbak<sup>1, 4</sup>, V.G. Volkov<sup>1, 5</sup>, L.P. Kalinina<sup>1, 5</sup>, A.P. Skoromets<sup>6</sup>, U.P. Danilov<sup>7</sup>

<sup>1</sup> City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia;

<sup>3</sup> The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia;

<sup>4</sup> Saint Petersburg University, Saint Petersburg, Russia;

<sup>5</sup> Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russia;

<sup>6</sup> Children's City Hospital No. 1, Saint Petersburg, Russia;

<sup>7</sup> Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Received: 14.02.2019

Revised: 17.05.2019

Accepted: 06.06.2019

**引言。**脑瘫是最常见的由胎儿或婴儿脑损伤引起的非进展性神经疾病之一。目前脑瘫儿童的康复涉及一系列措施，包括身体训练、专门的按摩技法、物理疗法、根据位置和姿势的治疗、采用支持性矫正器和行走固定装置、促进儿童直立和运动活动的专门骨科套装。过去数十年，计算机化刺激器和具有虚拟现实系统的机器人已被积极应用于神经康复。可是，大部分这些系统对脑瘫儿童的康复未呈现显著功效。在过去几年里，不同的无创性电刺激技术被视为颇具创新性，可独立应用或联合已有程序。此类技术之一是经舌神经刺激。

**目标。**本研究旨在评价经舌神经刺激联合物理康复对脑瘫儿童的有效性。

**材料与方**法。在本研究中，我们观察了 134 名（63 名女孩和 71 名男孩）患痉挛性双瘫的 2-17 岁儿童（平均年龄为  $7.8 \pm 0.3$  岁）。取决于康复疗法的类型，患者被分成两组：研究组（主要）和对照组。研究组包含接受了标准康复治疗联合经舌神经刺激的 94 名儿童，对照组包含了仅接受标准康复治疗而无经舌神经刺激的 40 名儿童。

**结果。**两组患者均呈现良好的活力状态；然而，所有的评级量表证明，研究组患者呈现出更大的改善。可观察到所有年龄段儿童均有改善，这些结果大部分可保持稳定 12 个月。

**结论。**经舌神经刺激不仅其有效性和安全性经过确证，还是一种新颖的神经康复方法，呈现出很有希望的良好结果。由于神经刺激，患者的大脑会变得对所应用的治疗程序（旨在恢复运动控制和培养新的运动技巧）更敏感，因此，显著增强了神经康复的有效性。本研究拓展了在脑瘫儿童的康复中使用和进一步开发经舌神经刺激的观点。

**关键词：**脑瘫；神经可塑性；运动功能；康复；经舌神经刺激。

**Introduction.** Cerebral palsy is one of the most common non-progressive neurological disorders caused by fetal or infant brain injury. Current rehabilitation for children with cerebral palsy involves a series of measures, including physical training, special massage techniques, physiotherapy, treatment by certain positions and postures, use of supporting orthoses and fixation devices for walking, and special orthopedic suits facilitating verticalization and motor activity of a child. Over the last few decades, computerized stimulators and robotics with virtual reality systems have been actively used in neurorehabilitation. However, most of these systems did not show significant efficiency in rehabilitation of children with cerebral palsy. In the last few years, different non-invasive electrostimulation techniques have been considered innovative and can be applied independently or in combination with existing procedures. One of such techniques is translingual neurostimulation.

**Aim.** This study aimed to evaluate the effectiveness of a combination of translingual neurostimulation and physical rehabilitation for children with cerebral palsy.

**Materials and methods.** In this study, we observed 134 children (63 girls and 71 boys) with spastic diplegia aged 2–17 years (mean age is 7.8 years old  $\pm$  0.3). Depending on the type of rehabilitation therapy, the patients were divided into two groups: active (main) and control. Active group consisted of 94 children who received standard restorative treatment in combination with translingual neurostimulation, whereas the control group consisted of 40 children who received only standard rehabilitation treatment without translingual neurostimulation.

**Results.** Both groups of patients showed positive dynamics; however, patients in the active group showed greater improvements as evidenced by all grading scales. Improvements were observed in children of all ages, and the results were mostly stable for 12 months.

**Conclusion.** Translingual neurostimulation is a novel approach to neurorehabilitation that shows promising results, in addition to its proven effectiveness and safety. As a result of neurostimulation, the patient's brain becomes more susceptible to the applied therapeutic procedures aimed at restoring motor control and formation of new motor skills, thereby markedly increasing the effectiveness of neurorehabilitation. This study broadens the perspectives in the use and further development of translingual neurostimulation in rehabilitation of children with cerebral palsy.

**Keywords:** cerebral palsy; neuroplasticity; motor functions; rehabilitation; translingual neurostimulation.

## 引言

脑瘫 (CP) 是最常见的非进展性神经系统疾病之一, 其发病机理可归因于胎儿或新生儿脑部发生创伤。CP 的主要表征包括肌张力变化和运动功能、身体平衡管理以及运动协调均受损, 这会导致持续的运动刻板症以及运动技能发展的延迟 [1–3]。CP 儿童的康复是神经康复方面最大的挑战之一。经验证, 神经可塑性是 CP 患者以及患有几种其他急性及慢性神经系统疾病的患者的功能再生和补偿的基础。神经可塑性是不管刺激抵消作用如何, 神经组织在各种外源性及内源性因素影响下, 改变其结构和功能性状态的能力 [4]。根据之前的研究, 神经可塑性应归因于神经元的多功能性和纵向的会聚层次。携带不同信息的众多神经冲动会聚到相同的神经细胞, 支持神经元及其他大脑元素的多功能性; 这使得神经系统的已受损功能得以恢复 [4–7]。神经康复包括医学和社会教育活动的结合, 旨在不仅仅减轻肌肉痉挛和增大运动幅度, 而且还修复受损的功能和教患既有运动刻板症的儿童一些新的日常生活运动技能。CP 儿童的康复涉及身体疗法、专门的按摩技法、物理疗法、采用夹板和其他器械将四肢固定在特定位置、使用支持性矫正器和其他

行走固定装置, 以及专门的套装, 例如 Adele、Atlas 和 Gravistat, 促进 CP 儿童的直立和身体活动。在过去数十年里, 已经开发了许多新的物理康复方法。这些方法包括各种各样的计算机化刺激器和采用虚拟现实技术的机器人复合体, [7] 例如 Lokomat、Motomed 和 Armeo 等 [8, 9]。尽管有这些技术进步, 现今针对 CP 儿童的治疗方式仍然极为不足。在一些患者中, 肌张力或拮抗肌协同作用的下降可能导致运动技能的显著提升。然而, 这些效果是可逆的, 且不会引起新运动技能的重大发展、痉挛缓解或生活质量的提高 [10]。无创电刺激等方法, 可独立使用或联合常规程序 [11–18], 已经开创了 CP 治疗的新局面。此类方法之一是经舌神经刺激 (TLNS)。该方法是由 Paul Bach-y-Rita 于 20 世纪 70 年代末期在他美国实验室开发出来的, Paul 是康复医学教授和现代神经可塑性理念的创立人之一。在他的领导下, 研制出了舌头电触觉刺激设备。该设备显著提升了人类大脑修复已丧失的功能的能力 [19]。

**本研究的目的是评价 TLNS 联合现有的物理康复方法治疗 CP 儿童的有效性。**

## 材料与方法

该研究包含 134 名患痉挛性双瘫的 2-17 岁儿童（平均年龄为  $7.8 \pm 0.3$  岁），包括 63 名女孩和 71 名男孩。所有患者及其代表在参与本研究前均给予了自愿知情同意。儿童的智力没有受影响，他们能够遵从所有指令。根据康复疗法的类型，患者被分成研究组和对照组。研究组包含接受了标准康复治疗联合 TLNS 的 94 名儿童，而对照组包含了仅接受标准康复治疗而无 TLNS 的 40 名儿童。标准的康复治疗包括按摩、刺激训练、水疗、机器人器械疗法和专门的治疗体操（10 节时长 20 分钟的日常课程）。TLNS 是采用便携式神经刺激器（PoNS）进行的，包括 10 个步骤（持续 20 分钟，每天两次，时间间隔为 3 小时）。

两个组的一些患者均希望重复该疗程，时间间隔从 6 个月到 1 年不等；研究组的 37 名患者和对照组的 11 名患者进行了重复的疗程。研究组中，8 名患者完成了 3 个疗程，还有 2 名患者完成了 4 个疗程。

### 经舌神经刺激

PoNS 是用于诱导外围神经刺激的新一代设备（图 1），其效果基于对神经分布最密集的触觉部位（即舌头）的影响。由于以下口腔内的有利条件，舌头最适合电刺激：pH 恒定、恒温、高导电性、高湿度和兴奋性阈值低（与其他皮肤部位相比）。

舌头的电刺激是目前刺激中央神经系统最有效和安全的方法之一。舌头部位的特点是：每单位面积的机械感受器密度最大、最小的两点辨别阈值为  $0.5 - 1$  mm（对于机械刺激）和  $0.25 - 0.5$  mm（对于电刺激）[4, 5, 7]。两大主要的颅神经（三叉神经和面神经）将来自舌头前表面的神经冲动直接传到脑干，因此，激活了三叉

神经核（中脑的、感觉的和脊柱的）并同时通过面神经刺激邻近的孤束核。蜗神经核、延髓和颈部脊椎（ $C_1 - C_3$ ）也直接受影响。继发激活包括脑干的网状结构、蓝斑、前庭神经核复合体和小脑的腹侧部分。大脑活动的总体神经化学调节的几个系统，包括去甲肾上腺素能系统、多巴胺能系统、羟色胺能系统和乙酰胆碱能系统，也能通过电刺激进行激活，因为它们的核心位于脑干。现有神经元的强化和定期刺激会激活突触联系、轴突和突触前及后神经化学机制的整个复合体，这会刺激突触产生，即形成神经元之间的新联系 [4 - 7]。对于神经刺激，舌头置于 PoNS 电极阵列之上。然后患者进行旨在促进学习新运动技能的运动锻炼，根据患者的进步情况，这通常会变得更复杂。

### 治疗体操

治疗体操课程由三组动作组成，是根据患者的临床症状、心智发育和运动发育情况个别挑选的。

第一组动作旨在培养患者的独立就坐和保持平衡的能力。

第二组动作旨在培养在空间中保持直立体位和控制体位的技能，包括在直线运动的加速或减速期间以及旋转和偏移期间。



图 1. PoNS 设备

第三组动作旨在培养有和无支持的情况下的行走技能。

根据以下标准量表，评估该疗法在治疗前后的有效性。

1. Ashworth 量表用于评估肌肉痉挛。痉挛水平表达为等级 1（低）至 5（非常高）。分开测量上肢痉挛（ASHH）和下肢痉挛（ASHL）。
2. 功能性运动量表（FMS）用于评估运动技能培养，其水平从等级 6（轻微失调）到 1（严重不足）。符合以下条件的患者适用该评估：行动自如且能短距离走动最多 5 m（例如，在室内，FMS 5）、走动距离可到 50 m（例如，在学校，FMS 50）、以及走动距离可达 500 m（室外，FMS 500）。
3. 为了评估安全性，准备了脑电图（EEG）。使用功能性测试超过 20 分钟，评估是否存在癫痫样活动。EEG 上的癫痫样活动指示被视为参与研究的禁忌。

## 统计处理

本研究使用统计检验，例如针对非参数分析的 Wilcoxon 配对符号秩检验，比较相同的患者在疗程前后的成对数值，用 Mann-Whitney *U* 检验比较研究组和对照组中的未成对样本。使用统计软件包（JMP 13, Statistical Discovery, SAS）进行统计分析。

## 结果

本研究所用的检验使我们能够评估 TLMS 减轻四肢肌肉痉挛和促进运动技能的培养的有效性（与标准的治疗体操相比）。重复疗程前后的肌肉张力变化（如 Ashworth 量表所测）显示在图 2 中。

痉挛减轻的趋势完全与两组中运动性得到改善相关联。在本研究中，重点在于下肢和躯体的康复，这对保持静态（坐和立）和动态的姿势和平衡同时培养行走技能非常必要。训练计划不包括减轻手部痉挛或增强活动性的专门锻炼。

手部的初始痉挛指数值（2.7-2.8）稍微低于腿部（3.1-3.3）。但是，手部和腿部的痉挛检查显示几乎相似的结果，腿部痉挛有微小下降。

对照组手部和腿部的痉挛指数在第一疗程后呈现统计学显著的下降，在第二疗程后呈现略微下降。有趣的是，对照组手部和腿部的基线数值相同，表明痉挛指数在两次疗程之间的间断后恢复至初始水平。

相反，研究组在痉挛指数下降方面呈现稳定的趋势，在连续疗程之前和疗程之后的初始状态中均如此，这表明了神经刺激效果在降低痉挛水平方面的累积性质。

每一疗程后，手部的痉挛下降水平为 13% - 17%，腿部的为 17% - 23%。相比基线值，痉挛指数的总下降在三次连续疗程后达到 40%-60% 或更多。尽管对照组的手部（下降 3%-11%）和腿部（下降 12%-17%）痉挛指数均有显著下降，但研究组的结果明显更好；该组患者的痉挛指数没有在两次疗程之间的间隔时间内恢复至初始水平。

图 3 展示了研究组和对照组基于 FMS 量表的运动技能评估结果（在三个康复治疗疗程中每一疗程之后）。

传统治疗体操的第一疗程导致显著提高：FMS 5（+30%）和 FMS 50（+17%）量表结果，而 FMS 500 量表结果无显著提高。重复传统疗程并未产生显著提高。

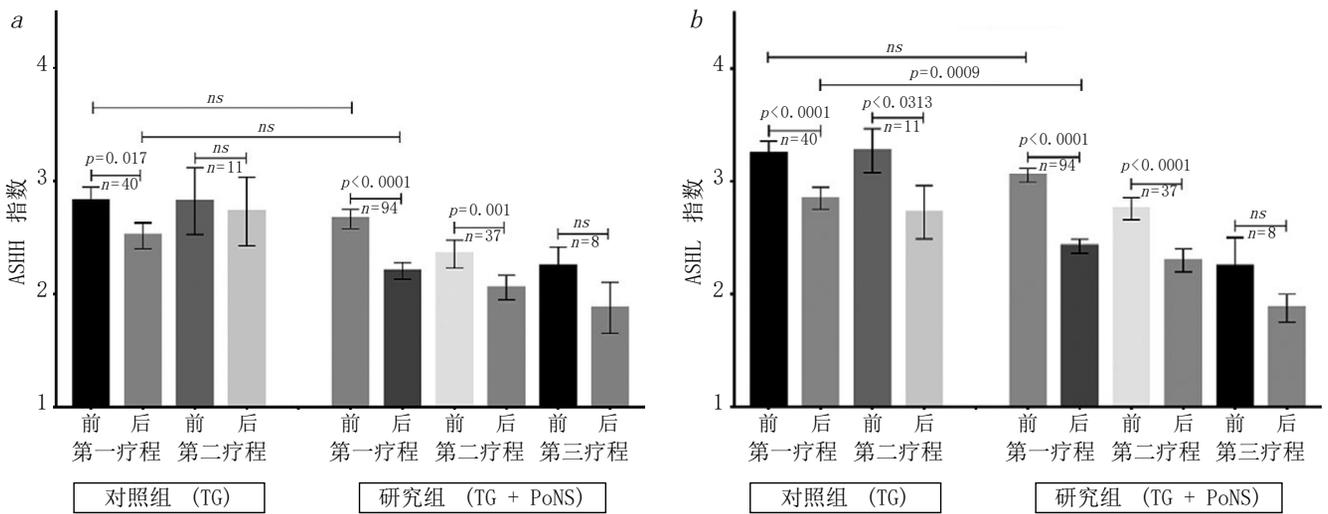


图 2. Ashworth 量表的结果。a, 手部痉挛; b, 腿部痉挛。TG, 治疗体操; PoNS, 便携式神经刺激器; ns, 无统计学显著差异

Ashworth 量表结果的数值

表 1

组别	手部痉挛指数 (ASHH)				腿部痉挛指数 (ASHL)			
	前	后	%	<i>p</i>	前	后	%	<i>p</i>
对照组								
第一疗程	2.8 ± 0.1	2.5 ± 0.1	- 11	***	3.3 ± 0.1	2.9 ± 0.1	- 12	***
第二疗程	2.8 ± 0.3	2.7 ± 0.3	- 3	ns	3.3 ± 0.2	2.7 ± 0.2	- 17	ns
研究组								
第一疗程	2.7 ± 0.1	2.2 ± 0.1	- 17	***	3.1 ± 0.1	2.4 ± 0.1	- 23	***
第二疗程	2.4 ± 0.1	2.1 ± 0.1	- 13	***	2.8 ± 0.1	2.3 ± 0.1	- 18	***
第三疗程	2.3 ± 0.2	1.9 ± 0.2	- 17	**	2.3 ± 0.3	1.9 ± 0.1	- 17	ns

备注: ns, 无统计学显著差异; \*\* *p* < 0.01; \*\*\* *p* < 0.001.

第一疗程之后, 研究组的运动技能质量呈现统计学显著的提高: 实现 FMS 5 (+59%)、FMS 50 (+51%) 和 FMS 500 (+31%) 量表结果。

第二疗程疗效也显著, 使得运动技能显著提高: 实现 FMS 5 (+29%)、FMS 50 (+30%) 和 FMS 500 (+31%) 量表结果。第三疗程之后, 研究组呈现运动技能的连续提高: 实现 FMS 5 (+40%)、FMS 50 (+25%) 和 FMS 500 (+18%) 量表结果。尽管最后两个结果由于参与者人数少和结果的变化性而没有统计学显著性, 但采用神经刺激时, 运动技能提高的总体良好趋势获得很清晰的追踪 (图 3)。

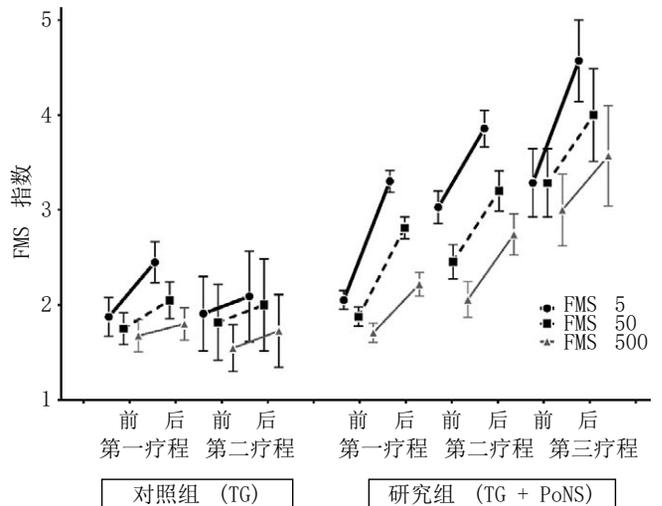


图 3. 根据以下运动技能量表的运动活动变化结果: FMS 5, 50, 500. TG, 治疗体操; PoNS, 便携式神经刺激器

## 讨论

与使用非自然外部物理效应作用于大脑皮层的特定区域的其他方法相比, TLNS 从根本上不同于其他无创方法, 因为其涉及大脑的激活(主要通过神经冲动流激活, 神经冲动天然产生于舌头上皮组织并沿着天然路径分散遍及中央神经系统)。TLNS 结合专门的运动锻炼, 影响所有运动活动的组成, 包括中央的(皮层的)、皮层下的(基底神经节、小脑和脑干)和脊椎中心。在多层级神经刺激的帮助下, 不仅可以控制肌肉, 还可以控制复杂的运动功能, 例如行走时的平衡和动作协调, 神经刺激结合物理康复有助于患者快速掌握和培养新的运动技能。两个疗程之间, TLNS 的良好效果可持续长达一年。这让我们可以一贯地提高每一新疗程的研究效果。换句话说, 神经刺激使康复具有累积特性。传统上认为, CP 儿童在 5 岁时培养运动技能的潜力达到一半, 在 7 岁时潜力最大。一般来说, 在该年龄取得的结果会保持停滞不前或可能随着年龄增大而变差。在我们的研究中, 许多儿童年龄在 7 岁以下; 因此, 有机会扩展该技术在 CP 儿童康复中的应用, 以及有机会提高该疗法在年龄较大儿童中的有效性。

本研究显示, TLNS 可增强物理康复的效果, 最有可能通过激活特定大脑区域的方法, 提高现有神经网络的效率, 并刺激突触产生。使用该刺激时没有检测到显著的副作用; 也没有记录到抽搐状态或准备发生抽搐的状态。从对照组获得的结果表明, 单用治疗体操就能实现统计学显著提高, CP 儿童的病况可改善到一定的程度(图 2、3)。然而, 观察到的改善情况通常在第二疗程开始之前就消失了。如在这些检验中的观察, TLNS 可显著提高标准的治疗体操的结果, 并增强总体

的康复有效性。第一疗程后, 研究组显示痉挛减轻。此外, 相比对照组儿童, 研究组儿童的运动技能培养情况显著更佳。提高运动技能是神经康复的主要目标。该方法旨在培养患者的新运动技能并让他们进行练习, 直至他们变得习惯成自然, 这反过来又会显著提高他们的生活质量、社交水平及其整体能力。该方法也提供了康复疗法规划方面的新观点, 因为它产生了累积效果并允许始终如一地执行康复计划。所有这些检验获得的具有统计意义的良好变化使得该方法与其他神经刺激方法区分开来, 其他刺激方法主要减轻痉挛但不会发展运动或行走技能或者改变生活质量。在我们的研究中, 我们观察到痉挛的减轻(根据 Ashworth 量表, 图 2)和运动技能的提高(图 3)。此外, 几个连续疗程之后的变化程度表明, CP 儿童的状态有可能发生改变(不符合严重性水平)。

## 结论

TLNS 是创新的无创型中央神经系统神经刺激方法, 是神经康复领域中非常有前景的技术。该方法经证明有效且安全。痉挛性双瘫 CP 儿童使用定期 20 分钟舌刺激结合现代物理康复方法持续治疗 2 周。进行治疗之后, 他们的大脑培养运动技能的天生能力得到了激活。由于进行刺激, 大脑变得对治疗程序(旨在恢复运动控制和培养新的运动技巧)更敏感; 这显著增强了神经康复的有效性。

我们确证和评价了 TLNS 在 CP 儿童中的有效性及其对中央神经系统的多方面影响, 可同时改善身体、功能和行为特征, 例如运动协调、平衡、运动功能和痉挛等。

本研究提供了关于在 CP 儿童中开发和应用本方法的广阔前景。

## 其他信息

**资助。** 本研究未获资助或赞助。

**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。

**伦理批准。** 本研究由圣彼得堡市立医院伦理委员会批准（编号 40，伦理委员会方案编号 105，日期为 2017 年 12 月 7 日）。所有患者（或其法定代理人）同意参与本研究以及处理和公布其个人数据。

### 作者贡献

*T. A. Ignatov* 和 *G. A. Ikoeva* 制定本研究的理念和设计，分析文献，收集和处理的资料，并撰写文章。

*Yu. P. Danilov* 和 *A. P. Skoromets* 制定本研究的设计和编辑原稿。

*A. M. Sarana* 和 *S. G. Shcherbak* 编辑原稿。

*L. P. Kalinina* 和 *V. G. Volkov* 进行数据的统计分析。

## References

1. Monbaliu E, Himmelmann K, Lin J-P, et al. Clinical presentation and management of dyskinetic cerebral palsy. *Lancet Neurol.* 2017;16(9):741-749. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(17\)30252-1](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(17)30252-1).
2. Novak I, Morgan C, Adde L, et al. Early, accurate diagnosis and early intervention in cerebral palsy: advances in diagnosis and treatment. *JAMA Pediatr.* 2017;171(9):897-907. <https://doi.org/10.1001/jamapediatrics.2017.1689>.
3. 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. 49–57. [Nikityuk IE, Ikoeva GA, Kivoenko 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):49-57. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PTORS5350-57>.
4. Белова А.Н. Нейрореабилитация: руководство для врачей. – М.: Антидор, 2000. – 566 с. [Belova AN. *Neuroreabilitatsiya: rukovodstvo dlya vrachey.* Moscow: Antidor; 2000. 566 p. (In Russ.)]
5. Bach-y-Rita P. Theoretical basis for brain plasticity after a TBI. *Brain Inj.* 2003;17(8):643-651. <https://doi.org/10.1080/0269905031000107133>.
6. Danilov YP, Kaczmarek KA, Skinner K, et al. Cranial nerve noninvasive neuromodulation: new approach to neurorehabilitation. In: *Brain neurotrauma: molecular, neuropsychological, and rehabilitation aspects.* Ed. by F.H. Kobeissy. Boca Raton; 2015.
7. Danilov YP, Tyler ME, Kaczmarek KA. Vestibular sensory substitution using tongue electro tactile display. In: *Human haptic perception: basics and applications.* Ed. by M. Grunwald. Basel: Birkhauser Verlag; 2008. P. 467-480. [https://doi.org/10.1007/978-3-7643-7612-3\\_39](https://doi.org/10.1007/978-3-7643-7612-3_39).
8. Peri E, Turconi AC, Biffi E, et al. Effects of dose and duration of robot-assisted gait training on walking ability of children affected by cerebral palsy. *Technol Health Care.* 2017;25(4):671-681. <https://doi.org/10.3233/THC-160668>.
9. Picelli A, La Marchina E, Vangelista A, et al. Effects of robot-assisted training for the unaffected arm in patients with hemiparetic cerebral palsy: a proof-of-concept pilot study. *Behav Neurol.* 2017;2017:8349242. <https://doi.org/10.1155/2017/8349242>.
10. Chen Y, Fanchiang HD, Howard A. Effectiveness of virtual reality in children with cerebral palsy: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Phys Ther.* 2018;98(1):63-77. <https://doi.org/10.1093/ptj/pzx107>.
11. Moll I, Vles JSH, Soudant D, et al. Functional electrical stimulation of the ankle dorsiflexors during walking in spastic cerebral palsy: a systematic review. *Dev Med Child Neurol.* 2017;59(12):1230-1236. <https://doi.org/10.1111/dmcn.13501>.
12. Звозиль А.В., Моренко Е.С., Виссарионов С.В., и др. Функциональная и спинальная стимуляция в комплексной реабилитации пациентов с ДЦП // Успехи современного естествознания. – 2015. – № 2. – С. 40–46. [Zvozil AV, Morenko ES, Vissarionov SV, et al. Functional and spinal stimulation in the complex rehabilitation of patients with cerebral palsy. *Advances in current natural sciences.* 2015;(2):40-46. (In Russ.)]
13. Solopova IA, Sukhotina IA, Zhvansky DS, et al. Effects of spinal cord stimulation on motor functions in children with cerebral palsy. *Neurosci Lett.* 2017;639:192-198. <https://doi.org/10.1016/j.neulet.2017.01.003>.
14. Elia AE, Bagella CF, Ferre F, et al. Deep brain stimulation for dystonia due to cerebral palsy: A review. *Eur J Paediatr Neurol.* 2018;22(2):308-315. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2017.12.002>.

15. Air EL, Ostrem JL, Sanger TD, Starr PA. Deep brain stimulation in children: experience and technical pearls. *J Neurosurg Pediatr.* 2011;8(6):566-574. <https://doi.org/10.3171/2011.8.PEDS11153>.
16. Koy A, Timmermann L. Deep brain stimulation in cerebral palsy: Challenges and opportunities. *Eur J Paediatr Neurol.* 2017;21(1):118-121. <https://doi.org/10.1016/j.ejpn.2016.05.015>.
17. Gillick BT, Gordon AM, Feyma T, et al. Non-Invasive brain stimulation in children with unilateral cerebral palsy: a protocol and risk mitigation guide. *Front Pediatr.* 2018;6:56. <https://doi.org/10.3389/fped.2018.00056>.
18. Krishnan C, Santos L, Peterson MD, Ehinger M. Safety of noninvasive brain stimulation in children and adolescents. *Brain Stimul.* 2015;8(1):76-87. <https://doi.org/10.1016/j.brs.2014.10.012>.
19. Игнатова Т.С., Скоромец А.П., Колбин В.Е., и др. Транслингвальная нейростимуляция головного мозга в лечении детей с церебральным параличом // Вестник восстановительной медицины. – 2016. – № 6. – С. 10–16. [Ignatova TS, Scoromets AR, Kolbin VE, et al. Translingual brain neurostimulation in treatment of the pediatric cerebral palsy. *Vestnik vosstanovitel'noy meditsiny.* 2016;(6):10-16. (In Russ.)]

### Information about the authors

**Tatiana S. Ignatova** — MD, Neurologist of the City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-4340-6014>; eLibrary SPIN: 5172-9399. E-mail: [ignatova\\_tatiana@inbox.ru](mailto:ignatova_tatiana@inbox.ru).

**Galina A. Ikoeva** — MD, PhD, Head of the Department of Motor Rehabilitation and Leading Researcher of the Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia; Associate Professor of the Department of Pediatric Neurology and Neurosurgery, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russia. <http://orcid.org/0000-0001-9186-5568>; eLibrary SPIN:6523-9900. E-mail: [ikoeva@inbox.ru](mailto:ikoeva@inbox.ru).

**Victor E. Kolbin** — Instructor-Methodologist of the City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-0689-5047>. E-mail: [k.v27@yandex.ru](mailto:k.v27@yandex.ru).

**Andrey M. Sarana** — MD, PhD, D.Sc., Deputy Head Physician for the rehabilitation of the City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia; the Chief freelance specialist in Medical Rehabilitation of Saint Petersburg. <https://orcid.org/0000-0003-3198-8990>; eLibrary SPIN: 7922-2751. E-mail: [asarana@mail.ru](mailto:asarana@mail.ru).

**Sergey G. Shcherbak** — MD, PhD, D.Sc., Professor, City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-5047-2792>; eLibrary SPIN: 1537-9822.

**Anna P. Skoromets** — MD, PhD, D.Sc., Professor, Children's City Hospital No. 1, Saint Petersburg. E-mail: [annaskoromets@gmail.com](mailto:annaskoromets@gmail.com).

**Yuriy P. Danilov** — PhD, Pavlov Institute of Physiology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-3123-4016>; eLibrary SPIN: 9536-1661. E-mail: [danilov@wisc.edu](mailto:danilov@wisc.edu).

**Vladislav G. Volkov** — Statistician, City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. E-mail: [volkovimp@yandex.ru](mailto:volkovimp@yandex.ru).

**Linda P. Kalinina** — Statistician, City Hospital No. 40, Saint Petersburg, Russia. E-mail: [miss.otonashi@mail.ru](mailto:miss.otonashi@mail.ru).