

УДК 616.831-009.12-053.2-06:612.76+615.477.1

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS41766>

Влияние ортопедической обуви на показатели межзонального распределения нагрузки на стопу при ходьбе больных детским церебральным параличом

© Л.М. Смирнова^{1, 2}, А.А. Кольцов¹, Э.И. Джомардлы¹¹ Федеральный научный центр реабилитации инвалидов им. Г.А. Альбрехта, Санкт-Петербург, Россия;² Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина), Санкт-Петербург, Россия

Обоснование. Как показывают клинические наблюдения больных спастическими формами детского церебрального паралича и опрос, наиболее часто используемым техническим средством реабилитации у таких пациентов является ортопедическая обувь. Вместе с тем практически отсутствуют клинические и инструментальные исследования ее влияния на биомеханику ходьбы.

Цель — определить влияние ортопедической обуви на межзональное распределение нагрузки по плантарной поверхности стопы при ходьбе детей с церебральным параличом с разными уровнями нарушения глобальных моторных функций (GMFCS).

Материалы и методы. Проведены биомеханические исследования 42 пациентов (возраст — от 5 до 16 лет) с детским церебральным параличом с уровнями GMFCS 1–3 при ходьбе в двух типах обуви — стандартной (то есть не влияющей на функциональность стопы) и ортопедической; также обследованы 14 человек контрольной группы в стандартной обуви (общее количество стоп — 112). Статистический анализ данных проведен с применением непараметрических методов в программе SPSS for Widows.

Результаты. Использование сложной ортопедической обуви у пациентов с уровнем GMFCS 1 привело к усугублению отклонения от нормы основных показателей взаимодействия стоп с опорой в виде уменьшения парциальной нагрузки на пятку, увеличения носочно-пяточного соотношения нагрузки, медиолатерального распределения нагрузки в области пучков. У пациентов с уровнем GMFCS 2 нормализующее влияние ортопедической обуви выявлено только по показателю медиолатерального распределения нагрузки в области пучков. У пациентов с уровнем GMFCS 3 нормализующее влияние ортопедической обуви обнаружено по большему количеству показателей распределения нагрузки на стопу.

Заключение. Исследование показало, что у детей и подростков с церебральным параличом использование сложной ортопедической обуви привело к наиболее значимой нормализации показателей межзонального распределения нагрузки под стопой у пациентов группы GMFCS 3, менее значимой — у пациентов группы GMFCS 2, к усугублению патологического отклонения показателей — у пациентов группы GMFCS 1.

Ключевые слова: медицинская реабилитация; детский церебральный паралич; GMFCS; ортопедическая обувь; биомеханика; ходьба.

Как цитировать:

Смирнова Л.М., Кольцов А.А., Джомардлы Э.И. Влияние ортопедической обуви на показатели межзонального распределения нагрузки на стопу при ходьбе больных детским церебральным параличом // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2021. Т. 9. № 1. С. 51–61. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS41766>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS41766>

Influence of orthopedic shoes on the indicators of the interzonal load distribution on the foot when walking patients with cerebral palsy

© Lyudmila M. Smirnova^{1, 2}, Andrey A. Koltsov¹, Elnur I. Dzhomardly¹¹ Federal Scientific Center for Rehabilitation of Disabled People named after G.A. Albrecht, Saint Petersburg, Russia;² Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Saint Petersburg, Russia

BACKGROUND: Clinical observations of patients with spastic forms of cerebral palsy and surveys showed the most commonly used technical rehabilitative device of this patient contingent are orthopedic shoes. However, almost no clinical and instrumental studies examine the effect of such shoes on the walking characteristics of patients with cerebral palsy (CP).

AIM: This study aims to estimate the effect of orthopedic shoes on the interzonal load distribution on the plantar foot surface in children with CP and adolescents with different levels of gross motor function disorders (GMFCS).

MATERIALS AND METHODS: Biomechanical studies were conducted in 42 patients with CP 5–16 years old with GMFCS 1–3 level while wearing standard and orthopedic shoes. In 14 healthy children controls while wearing standard shoes (a total of 112 feet). Biomechanical examinations were performed on the software and hardware complex "DiaSled-M-Scan" with matrix plantar pressure meters in the form of insoles. Statistical data analysis was performed using nonparametric methods via SPSS software for Windows.

RESULTS: The use of complex orthopedic shoes in patients with level GMFCS 1 did not improve but worsened their foot loading parameters. The shoes reduced the loading of the heel, increased the toe-heel load ratio, and mediolateral load distribution in the fascicle area. In patients with GMFCS 2, the positive effect of orthopedic shoes was limited to improving the mediolateral load distribution in the fascicle area. In patients with GMFCS 3, the positive effect of orthopedic shoes was noted in the majority of the tested parameters.

CONCLUSION: Thus, the study showed that in children and adolescents with CP using complex orthopedic shoes led to the most significant normalization of interzonal load distribution under the foot in GMFCS 3 patients, less significant — in GMFCS 2 patients, and worsened the parameters in GMFCS 1 patients.

Keywords: rehabilitation; cerebral palsy; GMFCS; orthopedic shoes; biomechanics; walking.

To cite this article:

Smirnova LM, Koltsov AA, Dzhomardly EI. Influence of orthopedic shoes on the indicators of the interzonal load distribution on the foot when walking patients with cerebral palsy. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2021;9(1):51–61. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS41766>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS41766>

矫正鞋对脑性瘫痪患者步行时足间负荷分布指标的影响

© Lyudmila M. Smirnova^{1,2}, Andrey A. Koltsov¹, Elnur I. Dzhomardly¹¹ Federal Scientific Center for Rehabilitation of Disabled People named after G.A. Albrecht, Saint Petersburg, Russia;² Saint Petersburg State Electrotechnical University "LETI" named after V.I. Ulyanov (Lenin), Saint Petersburg, Russia

论证。根据对痉挛性脑瘫患者的临床观察和一项调查,这种患者最常用的康复技术手段是矫正鞋。与此同时,关于其对步行生物力学影响的临床和器械研究几乎没有。

目的是确定矫正鞋对具有不同程度的整体运动功能障碍(GMFCS)的脑瘫儿童步行时足底面带间负荷分布的影响。

材料与方法。对42例(年龄为5-16岁)GMFCS水平为1-3的脑瘫患者进行了生物力学研究,他们穿着两种类型的鞋行走—标准(即不影响足部功能)和矫正鞋;对照组的14例也穿着标准鞋(足总数量为112只)进行了检查。在SPSS for Windows程序中使用非参数方法进行统计数据分析。

结果。GMFCS 1的患者使用复杂的矫正鞋,导致足部与支撑体相互作用的主要指标偏离常态的情况加重,表现为脚跟部分负荷的减少,增加脚尖与脚后跟的载荷比,束区中外侧荷载分布。在GMFCS 2水平的患者中,矫正鞋的归一化作用仅体现在束区内侧负荷分布方面。在GMFCS 3水平的患者中,矫正鞋对足部负荷分布的指标有更多的归一化作用。

结论。研究表明,在儿童和青少年脑瘫患者中,GMFCS 3组患者使用复杂的矫正鞋,使足下的区间负荷分布最显著的正常化,在GMFCS 2组患者中不显著,GMFCS 1组患者使用复合矫正鞋导致指标病理偏差加重。

关键词: 医疗康复; 脑瘫; GMFCS; 矫正鞋; 生物力学; 行走。

引用本文:

Smirnova LM, Koltsov AA, Dzhomardly EI. 矫正鞋对脑性瘫痪患者步行时足间负荷分布指标的影响. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2021;9(1):51-61. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS41766>

论证

小儿脑性瘫痪 (ICP) 的发生率为每1000名活产婴儿中有1.5–3.0例, 是儿童群体中导致整体运动功能障碍的最常见原因[1–3]。小儿脑性瘫痪患者运动功能的障碍、运动动作刻板印象的病理改变, 导致包括独立运动在内的自我服务机会有限, 从而导致生活质量下降[4,5]。

该疾病的主要临床表现之一是对稳态动力学功能的障碍, 特别是足与支撑的相互作用[6,7]。这种病理情况的修正是基于多学科的方法[8,9], 除了手术方法外, 还采用保守的康复方法, 包括矫形术和其他康复技术手段[10–12]。在我们的临床实践中, 经常使用复杂或标准的矫正鞋, 这是为相当数量的痉挛性脑瘫患儿提供的工具[13]。这也得到了对这些患者家长的调查结果的证实。然而, 我们认为, 这个问题在科学来源中没有得到充分的调查和覆盖。

大多数出版物描述各种踝关节矫形器 (AFO, GRAFO, leaf-spring AFO等) 是小儿脑性瘫痪患者复杂康复中最常用的[14–16], 包括鞋垫, 但不包括矫正鞋。作者仅在其中一份出版物中报道了矫正鞋在矫正痉挛型脑瘫儿童内翻足中的作用, 但同时, 作者专注于展示制造矫正鞋的技术特点[17]。

大多数来源考虑的是矫正鞋的设计特征, 而不是它们对行走特性的影响方面[18,19]。

因此, 很明显, 至少在俄罗斯, 给小儿脑性瘫痪患者开矫正鞋处方的频率很高, 而在俄罗斯和国外这方面的照度较低, 两者之间存在差异。这类鞋的主要医疗和技术要求之一是使足部足底表面负荷的区际分布规范化, 并确保其各部门在滚动过程中的合理参与。在这方面, 生物力学研究对于分析矫正鞋对患有脑性瘫痪的儿童和青少年行走时足底表面负荷分布的影响具有科学和实际意义。

目的是确定矫正鞋对具有不同整体运动功能水平 (GMFCS) 的小儿脑性瘫痪患者行走时足底面带间负荷分布的影响。

材料与方法

采用单阶段观察性实验分析对照定量病例对照研究。

为这项研究组成了以下几个小组。

患者组 (P) 包括42例, 年龄为5–16岁, 确诊为“小儿脑性瘫痪、痉挛性双瘫”或“小儿脑性瘫痪、痉挛性四瘫”, 伴有足部马蹄–平卧–外翻或平卧外翻畸形。他们在俄罗斯劳工部的联邦国家预算机构Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht接受治疗。排除标准: 不能独立行走, 甚至没有其他支持 (使用拐杖、手杖、助行器, 有其他人的支持); 不允许与患者进行生物力学检查的认知障碍; 接受肉毒杆菌治疗在检查前6个月以内; 手术治疗在病史检查前一年以内。

P组根据大肌肉运动功能分类系统 (GMFCS—Gross Motor Functions Classification System) 按整体运动功能损伤程度分为3个亚组[20]。P1组由7名GMFCS 1级患者组成, P2组由16名GMFCS 2组成, P3组由19名GMFCS 3组成。

对照组为14例, 年龄为5–16岁, 无骨骼肌系统解剖和功能障碍的临床症状。它是由普通教育机构预防性考试期间接受检查的儿童组成的。排除标准: 不能与患者进行生物力学检查的认知障碍。

所有生物力学检查均在工作场所进行, 包括软件和硬件复合体 (SHC) “DiaServ-M-Scan” (俄罗斯Diaservice有限公司和VIT有限公司的联合生产)[21]。在足–鞋床系统中采用了气压平面描记法 (足底表面载荷分布分析)。鞋垫形式的矩阵传感器被放到患者的鞋子。当受试者以正常速度沿直线轨迹在平面上行走时, 数据被记录下来。

检查分为两个阶段—在同一天对每位患者进行标准鞋 (指标“s”) 和复杂骨矫正鞋 (指标“o”) 检查。标准鞋的设计要求: 鞋底灵活, 鞋面柔软, 无拱形布局, 1cm跟高, 足量的内部空间。

复杂矫正鞋由患者家属或监护人在患者入院前购买, 且符合以下要求: 根据尺寸或铸件单独制作; 包含作为强制性元素双面或圆形硬胫; 患者使用时间至少1年, 不超过6个月; 没有内部空间的不足, 也没有导致疼痛、鸡眼和磨损的形成; 没有明显的变形迹象。

作为生物力学研究的结果, 形成了一个数据库, 包括196项观察结果: 对照组的14例每只脚

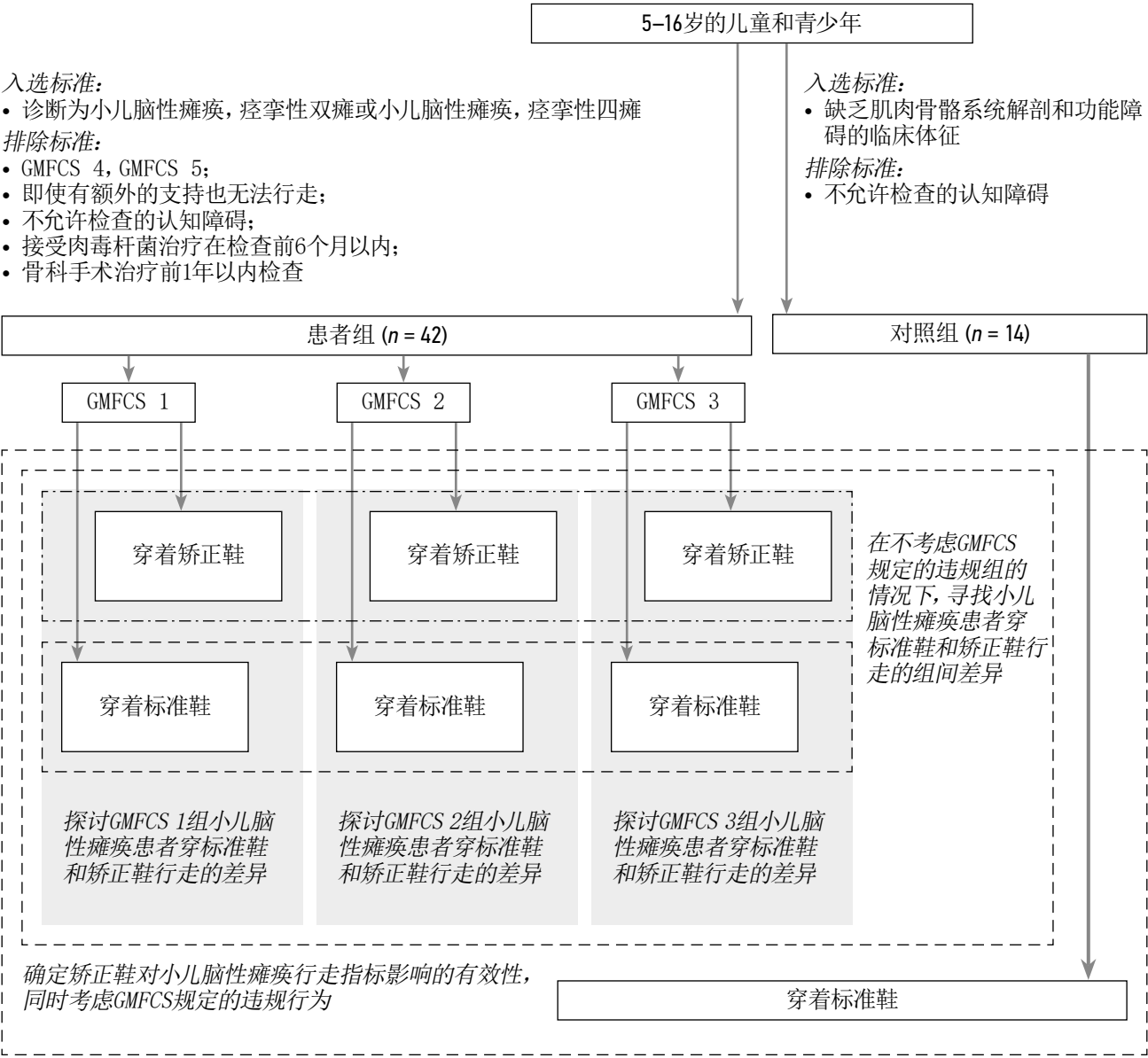


图1 完成研究的设计。ICP—小儿脑性瘫痪

穿一种鞋(标准);根据GMFCS, 42例伴有1-3级整体运动功能障碍的小儿脑性瘫痪患者, 每只脚需要两种鞋(标准鞋和矫正鞋)。

统计分析使用SPSS for Windows程序。采用描述性统计、Lilliefors和Shapiro-Wilk校正 ($p = 0.05$ 显著性水平) 的Kolmogorov-Smirnov检验、非参数Mann-Whitney标准和Wilcoxon对检验。

本研究的设计如图1所示。

结果

在分析脚下压力分布时, 采用了与“DiaServ-M-Scan”软件和硬件复合体中所接受的相同的足跖面面积划分(图2)。

所研究的气压平差变量是足部部分间负荷分布的指标:

- 1) f_脚后跟部分—踵部部分荷载;
- 2) f_足弓下部分—足弓部分负荷;
- 3) f_束带—足部束带负荷;
- 4) f_脚趾部分—脚趾部分荷载;
- 5) C脚趾部分/脚后跟部分—脚趾和脚后跟部分荷载比;
- 6) C足前后部分—足前部(波束与脚趾部分)与后部(跟部与足弓下部分)荷载比;
- 7) C脚后跟外侧部分—脚后跟外侧部分荷载比;
- 8) C足弓下外侧部分—足弓下外侧部分荷载比;
- 9) C波束外侧部分—足部波束外侧部分荷载比;

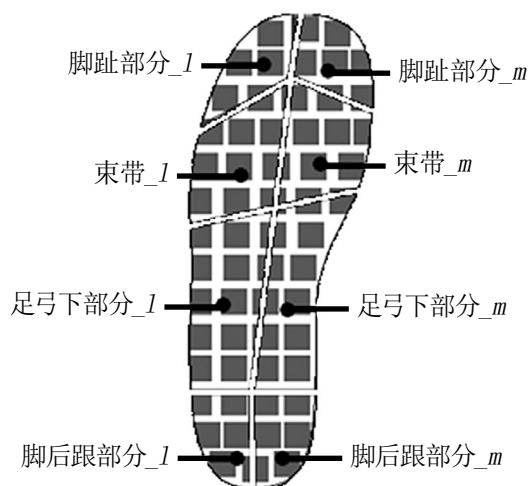


图2 矩阵测量传感器的部分：脚趾部分，束带，足弓下部分，脚后跟部分，m—内侧区，l—外侧区

10) C脚趾外侧部分—脚趾外侧部分的荷载比；

11) C外侧—足部负重的中外侧比率。

特定传感器区域（足部部分）上的负载计算为与之相关的所有传感器上的压力之和（或传感器多个部分，如果它们属于几个区域的话）。足部区域的部分负荷被确定为整个足部负荷的一部分。脚趾-后跟荷载比（C脚趾部分/脚后跟部分）的计算方法是将脚趾部分的载荷除以脚跟部分的载荷。足部内外侧负荷比是指该部分内外侧负荷与内侧负荷之比。

表1 与广义小儿脑性瘫痪患者组的标准相比，矫正鞋行走显著差异的变量的统计特征

变量	组类型	Q ₁	Me	Q ₂
C脚后跟外侧部分	P组标准鞋	0.64	0.85	1.10
	P组矫正鞋	0.67	0.92	1.20
C足弓下外侧部分	P组标准鞋	0.52	0.72	1.11
	P组矫正鞋	0.57	0.90	1.30
C波束外侧部分	P组标准鞋	0.84	1.14	1.38
	P组矫正鞋	0.76	0.95	1.31

注：P组标准鞋—穿着矫正鞋行走；P组标准鞋—穿着标准鞋行走。

表2 不同程度全身运动功能障碍的小儿脑性瘫痪患者穿矫正鞋行走与标准鞋行走差异的统计学意义水平（Wilcoxon配对试验）

比较组	研究变量组间差异的统计学显著性水平										
	f_脚后跟部分	f_足弓下部分	f_束带	f_脚趾部分	C脚趾部分/脚后跟部分	C足前后部分	C脚后跟外侧部分	C足弓下外侧部分	C波束外侧部分	C脚趾外侧部分	C外侧
P1组s与P1组o	0.011	0.056	0.925	0.300	0.019	0.730	0.279	0.124	0.025	0.198	0.637
P2组s与P2组o	0.047	0.125	0.722	0.130	0.147	0.695	0.079	0.015	0.001	0.286	0.537
P3组s与P3组o	0.046	0.718	0.187	0.053	0.006	0.071	0.242	0.006	0.002	0.535	0.777

注：统计上有显著差异的变量用粗体突出显示。P1—GMFCS 1的亚组；P2—GMFCS 2；P3—GMFCS 3；o—矫正鞋；s—标准鞋。

使用带有Lilliefors和Shapiro-Wilk矫正的Kolmogorov-Smirnov检验来确定患者行走研究中所获得的观测数据中变量特征分布的类型，并分析了直方图和分位数图的形式。对于研究的11个变量中的大多数，其分布不符合正态分布。这适用于穿着标准鞋和矫正鞋行走时的观察结果。为此，后续数据分析采用非参数统计方法。

非参数Wilcoxon配对试验用于发现患者穿着标准鞋和矫正鞋行走的组间差异。确定变量 p 差异的统计显著性水平如下：f_脚后跟部分—0.306；f_足弓下部分—0.092；f_束带—0.789；f_脚趾部分—0.934；C脚趾部分/脚后跟部分—0.871；C足前后部分—0.507；C脚后跟外侧部分—0.020；C足弓下外侧部分—0.000；C波束外侧部分—0.000；C脚趾外侧部分—0.124；C外侧—0.681。从这个列表可以看出，在11个变量中，小儿脑性瘫痪患者穿着标准鞋和矫正鞋行走时，足负荷的区域间分布只有3个存在显著差异。这些都与荷载相对于足部纵轴的分布有关：中外侧荷载比在脚后跟部分（C脚后跟外侧部分）、足弓部分（C足弓下外侧部分）、束带（C波束外侧部分）。

尽管在三个变量的研究组之间存在差异，但这些结果并不被认为是充分的，因为对这些变量的中位数和百分位数的分析表明，观察值有显著的差异（表1）。例如，当K足弓下外侧部分变量穿着矫正鞋（P组矫正鞋）行走时，中位数（0.90）几乎是第一个四分位数 Q_1 （0.57）水平上的三分之一，几乎是 Q_2 （1.30）水平上的两倍。

由于数据的显著分布，决定对三个亚组的不同程度的整体运动功能损伤患者分别进行统计分析。分析结果如表2所示。

分析显示，在f_脚后跟部分变量和C波束外侧部分变量中，每一亚组患者穿标准鞋行走与

表 3 不同程度的全身运动功能损伤，小儿脑性瘫痪患者穿矫正鞋行走与穿标准鞋行走的差异具有统计学意义的变量中位数

接受检查的患者		Me (中值) 的变量			
		f_脚后跟部分	C脚趾部分/ 脚后跟部分	C足弓下外侧 部分	C波束外侧 部分
C—穿着标准鞋的对照组		28.0	0.55	无显著性 差异 (见表2)	0.96
1.1—GMFCS 1的患者	1.1s—标准鞋	24.7	0.66		0.89
	1.1o—矫正鞋	20.6	0.82		0.77
C—穿着标准鞋的对照组		28.0	无显著性 差异 (见表2)	0.69	0.96
1.2—GMFCS 2的患者	1.2s—标准鞋	18.2		0.77	1.20
	1.2o—矫正鞋	15.9		0.92	0.98
C—穿着标准鞋的对照组		28.0	0.55	0.69	0.96
1.3—GMFCS 3的患者	1.3s—标准鞋	16.2	1.25	0.88	1.19
	1.3o—矫正鞋	17.2	0.99	0.96	1.03

穿矫正鞋行走相比，均有统计学意义上的差异。此外，在子组P1中，C脚趾部分/脚后跟部分变量存在差异，P2亚组中C足弓下外侧部分变量存在差异，P3亚组中这两个变量存在差异。表3显示了这些变量的中位数，且仅针对矫正鞋与标准鞋的GMFCS水平存在统计学显著差异的情况。为了确定矫正鞋对小儿脑性瘫痪患者行走影响的性质，表3给出了这四个变量的中位数，不仅针对不同疾病水平的患者组，也适用于没有解剖和功能症状的肌肉骨骼系统紊乱的对照组。

这些趋势在分位数图中更清楚地显示出来(图3)。

讨论

这项研究获得了广泛的数据，在联合所有接受检查的小儿脑性瘫痪患者的小组中描述足与支撑的相互作用并不意外，由于整体运动功能损伤程度不同的患者，其肌肉骨骼系统畸形的严重程度也不同，从而导致不同的行走方式。此外，GMFCS级别为3的患者与其他患者不同，他们使用了额外的支持手段(拐杖、助行器)来影响的行走方式[20]。与此同时，我们对这一数据进行了定量评估，以证明在不考虑GMFCS水平的情况下，对小儿脑性瘫痪患者足与支撑的相互作用的研究存在不足。不遵守这一规定可能会导致错误，因为事实是在足部与支架相互作用的参数中，也有这样的规定，对于有一组GMFCS的患者是减少偏离标准，而对于不同GMFCS的患者，会导致偏离标准的偏差增加，从而使一般小儿脑性瘫痪患者组与对照组的该参数偏差趋于平缓。基于这些原因，为了评估矫正鞋对小儿脑性瘫痪患者足与支撑

的相互作用的影响，应该使用统计分析的结果，并根据GMFCS考虑到整体运动功能的违反程度。

在所有水平的整体运动功能损伤中，穿矫正鞋与穿标准鞋行走时，脚跟的部分负荷有统计学上的显著差异(表2)。运动功能损伤一级和二级组，足跟负荷下降，与之相反，第三级组，足跟负荷略有增加(表3，图3)。

对于GMFCS 1患者，脚跟部分负荷减少(见表3)，当穿着矫正鞋行走时，脚趾与脚后跟部分(C脚趾部分/脚后跟部分)负荷比增加。这表明，与穿标准鞋走路相比，脚趾从脚跟到脚趾的重新分布更多，而在正常走路时更是如此。与标准鞋相比，波束内侧-外侧部分负荷比也有更大的病理性下降，即该部分的横向负荷转移。同时，在标准鞋和矫正鞋行走时，足弓部分内外侧负重比无统计学差异，这间接表明了足的活动能力和/或轻度的足平面外翻畸形。我们可以假设，在轻度运动障碍患者中，内侧纵弓的放置可以在没有明显阻力的情况下抬高距骨头，形成内侧纵弓的弧形，从而将部分负荷分布在足部的重要表面积上。

同时，在GMFCS 2组和GMFCS 3组中，由于畸形更加明显和僵硬，足中部的主要负重部分几乎落在距骨头部和距舟关节部分[22]。在这种情况下，当使用内侧纵向足弓的布局时，脚靠在其上，负载局部于内侧纵向足弓的区域，该区域的内侧负荷比指标增加，与标准鞋的标准差异更大。

根据GMFCS，不同组的矫正鞋对足跟区域负荷的影响存在差异，这可以解释为不同的矫正

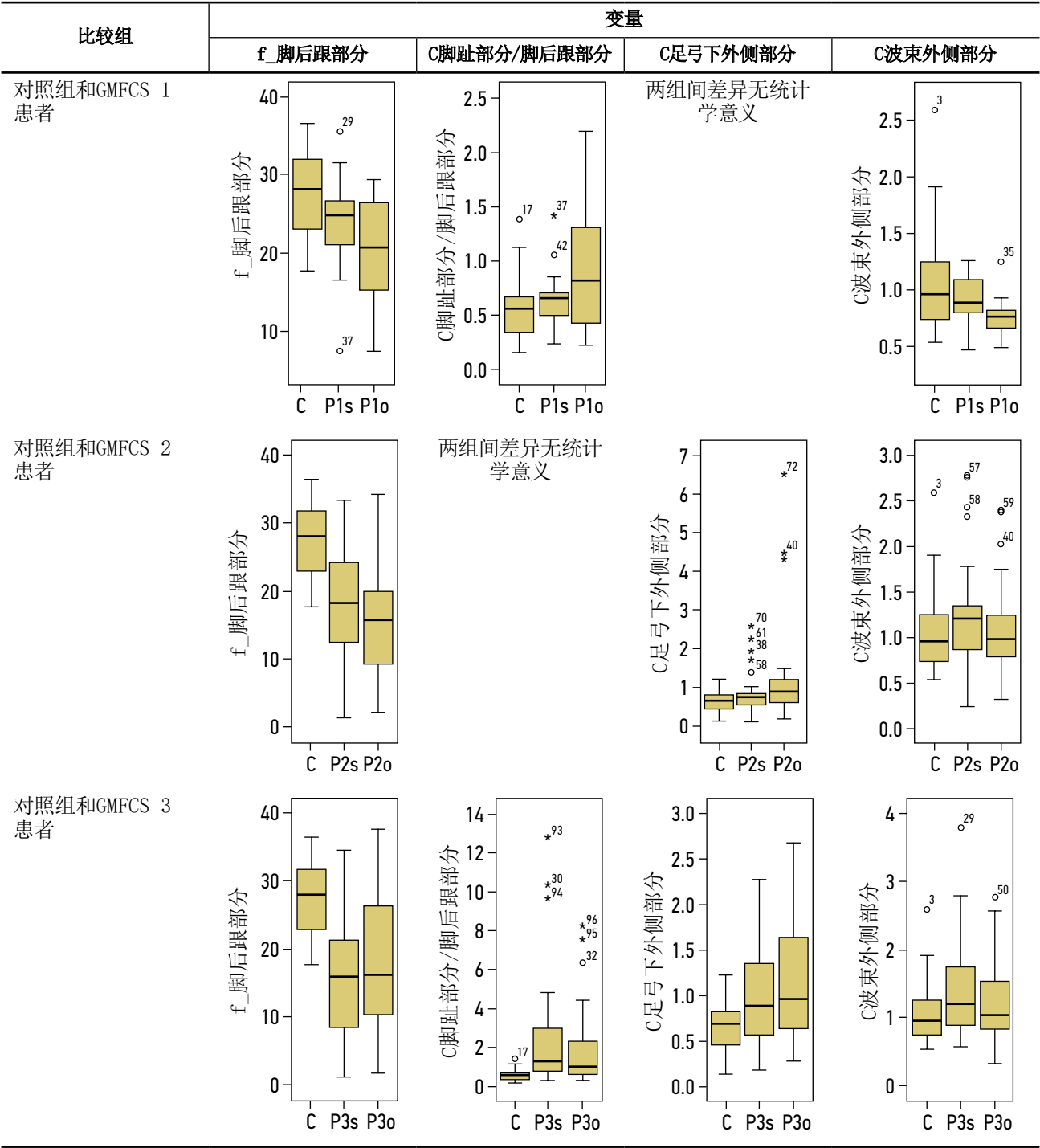


图 3 不同程度全身运动功能损伤组的分位数变量图显示穿矫正鞋行走与标准鞋行走有统计学显著性差异：C—对照组（穿着标准鞋），P1—GMFCS 1的亚组；P2—GMFCS 2的亚组；P3—GMFCS 3的亚组；s—标准鞋；o—矫正鞋

鞋对足弓矫正的影响不同。这一结论的依据是临床观察，两例患者矫正足畸形的马蹄成分的可能性存在差异：1—没有初步矫正拇外翻偏斜和距舟关节不一致；2—随着拇外翻的矫正，足后偏曲和足中部的稳定。在第一个病例中，由于后肌群的杠杆降低[23]，矫正马蹄的可能性较高，在第二个病例中，这种可能性较低，因为

外翻的矫正增加了跟腱的张力和马蹄部分的紧张程度[23,24]。根据V.S. Mosca的说法，这项临床试验使能够识别被拇外翻部分所掩盖的真正的马蹄畸形[24]。
基于以上，我们可以假设在矫正鞋矫形时，足部马蹄-平卧-外翻畸形矫形对翻身生物力学的影响存在类似的机制。

在Shoparov关节,特别是距舟关节(“平坦”形成的主要因素)灵活性增加的情况下,以及轻度严重的足畸形,矫正鞋(采用内侧纵弓布局,结构刚性,内部空间小)的使用导致距舟关节关系的被动恢复,内侧纵弓的形成和消除足外翻偏斜。穿着矫正鞋行走时,这导致了马蹄成分的增加(我们在GMFCS 1患者组中记录为脚后跟负荷的减少),脚趾后跟负荷比增加,束带负荷过度偏侧(C波束外侧部分的减少)与穿着标准鞋以及对照组儿童相比。在这种情况下,由于外部因素,足部的灵活性允许完全矫正甚至过度矫正内侧纵弓,这样就会自然地将束带的负荷向外侧转移,但同时也会减少脚跟的负荷。

GMFCS 2组和GMFCS 3组患者的足部畸形更明显、更僵硬,因此,在矫正鞋中,它们根本不能恢复或部分被动地恢复足中部和后部关节的关系,因此,马的组成部分发生了改变。因此,在这些组中,使用标准和矫正鞋的患者与GMFCS患者相比,脚跟负荷的差异不显著¹。

在GMFCS 3组患者中,当穿着矫正鞋行走时,足部负荷分布略有正常化,表现为足跟负荷增加,趾跟负荷比降低。在波束部分也有一个中外侧荷载比的归一化(降低)。

在标准鞋中,束带负重中间化与下肢关节的病理设置有关^[25],特别是足平面外翻畸形的出现。这种畸形在GMFCS 1患者中不常见,而在GMFCS 2和GMFCS 3组患者中更为明显。因此,这类患者的特征是,首先,在束带发生病理改变的中外侧负荷比,其次,由于使用了带有刚性特殊(校正)元件的矫正鞋,这一指标得到了规范化。

结论

在具有全局运动功能障碍GMFCS 1-3水平的小儿脑性瘫痪患者中,矫正鞋对足与支撑体相互作用的影响性质存在统计学显著差异。

在具有一级整体运动功能(GMFCS 1)的患者中,使用复杂的矫正鞋导致足部与支撑体相互

作用的破坏加剧,主要指标如下:部分负荷在脚跟,其分布在束带的内侧和脚趾-脚跟的比例。

在二级整体运动功能(GMFCS 2)患者中,矫正鞋对足与支撑体相互作用的正常化作用仅通过束带中外侧负荷分布的指标来揭示,而在三级整体运动功能(GMFCS 3)一脚上负载分布的更多指标,包括脚的纵向和横向(束带)。

GMFCS 3组患者使用复杂的矫正鞋后,足部区域间负荷分布指标标准化程度最高,导致GMFCS 2组患者的归一化不明显,GMFCS 1组患者的各项指标的病理偏离加重。

本研究是一项试点研究,其结果表明进行更大规模研究的可行性,考虑到脚与支撑相互作用的其他指标,以确定小儿脑性瘫痪患者穿矫正鞋的适应症。

附加信息

资金来源。预算资金。

利益冲突。作者声明,没有明显的和潜在的利益冲突相关的发表这篇文章。

伦理审查。该研究获得了俄罗斯联邦国家预算劳动机构Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht的伦理委员会批准(2019年9月24日第1号议定书),并按照《赫尔辛基宣言》规定的道德标准进行。患者及其代表已同意参与研究并公布研究结果。

作者贡献L.M. Smirnova—负责咨询协助进行仪器生物力学调查,数字材料的统计处理,写作文章的基本文本,逐步和最终编辑的文章。A.A. Kolcov—负责研究的概念和设计,文章的阶段和最终的编辑。E.I. Jomardly—负责文献分析,临床检查和生物力学检查,形成统计表格,收集整理资料,撰写文章的基本文本,阶段和最终编辑文章。

所有作者都对文章的研究和准备做出了重大贡献,在发表前阅读并批准了最终版本。

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Armand S., Decoulon G., Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy // EFORT Open Rev. 2016. Vol. 1. P. 448–460. doi: 10.1302/2058-5241.1.000052
2. Valentina J., Davidson S.A., Bear N. et al. A prospective study investigating gross motor function of children with cerebral palsy and

- GMFCS level II after long-term botulinum toxin type A use // BMC Pediatrics. 2020. Vol. 20. No. 1. P. 7. doi: 10.1186/s12887-019-1906-8
3. Collado-Garrido L., Paras-Bravo P., Calvo-Martin P., Santibanez-Marguello M. Impact of resistance therapy on motor function in children with cerebral palsy: A systematic review and meta-

analysis // *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2019. Vol. 16. No. 22. P. e4513. doi: 10.3390/ijerph16224513

4. Saleh M., Almasri N.A., Malkawi S.H., Abu-Dahab S. Associations between impairments and activity limitations components of the international classification of functioning and the gross motor function and subtypes of children with cerebral palsy // *J. Phys. Ther. Sci*. 2019. Vol. 31. No. 4. P. 299–395. doi: 10.1589/jpts.31.299

5. Lee B.H. Relationship between gross motor function and the function, activity and participation components of the international classification of functioning in children with spastic cerebral palsy // *J. Phys. Ther. Sci*. 2017. Vol. 29. No. 10. P. 1732–1736. doi: 10.1589/jpts.29.1732

6. Son I., Lee D., Hong S., Lee K., Lee G. Comparison of gait ability of a child with cerebral palsy according to the difference of dorsiflexion angle of hinged ankle-foot orthosis: A case report // *Am. J. Case Rep*. 2019. Vol. 20. P. 1454–1459. doi: 10.12659/AJCR.916814

7. Kim H.Y., Cha Y.H., Byun J.Y., Chun Y.S., Choy W.S. Changes in gait parameters after femoral derotational osteotomy in cerebral palsy patients with medial femoral torsion // *Journal of Pediatric Orthopaedics B*. 2018;27:194–199. doi: 10.1097/BPB.0000000000000467

8. Patel D.R., Neelakantan M., Pandher K., Merrick J. Cerebral palsy in children: a clinical overview // *Transl. Pediatr*. 2020. Vol. 9. Suppl. 1. P. S125–S135. doi: 10.21037/tp.2020.01.01

9. Rasmussen H.M., Pederson N.W., Overgaard S. et al. Gait analysis for individually tailored interdisciplinary intervention in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial // *Dev. Med. Child Neurol*. 2019. Vol. 61. No. 10. P. 1189–1195. doi: 10.1111/dmcn.14178

10. Young J., Jackson S. Improved motor function in a pre-ambulatory child with spastic bilateral cerebral palsy, using a custom rigid ankle-foot orthosis-footwear combination: A case report // *Prosthet. Orthot. Int*. 2019. Vol. 43. No. 4. P. 453–458. doi: 10.1177/0309364619852239

11. Reis A.J., Schwartz M.H. Ground reaction and solid ankle-foot orthoses are equivalent for the correction of crouch gait in children with cerebral palsy // *Dev. Med. Child Neurol*. 2019. Vol. 61. No. 2. P. 219–225. doi: 10.1111/dmcn.13999

12. Schwarze M., Block J., Kunz T. et al. The added value of orthotic management in the context of multi-level surgery in children with cerebral palsy // *Gait Posture*. 2019. Vol. 68. P. 525–530. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.01.006

13. Джомардлы Э.И., Кольцов А.А. Анализ использования технических средств реабилитации у пациентов со спастическими формами детского церебрального паралича в зависимости от уровня глобальных моторных функций пациента // *Гений ортопедии*. 2020. Vol. 26. No. 1. P. 57–64. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-57-64

14. Meyns P., Kerkum Y.L., Brehm M.A. et al. Ankle foot orthoses in cerebral palsy: Effects of ankle stiffness on trunk kinematics, gait stability and energy cost of walking // *Eur. J. Paediatr. Neurol*. 2020. Vol. 26. P. 68–74. doi: 10.1016/j.ejpn.2020.02.009

15. Wright E., DiBello S.A. Principles of ankle-foot orthosis prescription in ambulatory bilateral cerebral palsy // *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am*. 2020. Vol. 31. No. 1. P. 69–89. doi: 10.1016/j.pmr.2019.09.007

16. Aboutorabi A., Arazpour M., Ahmadi Bani M. et al. Efficacy of ankle foot orthoses types on walking in children with cerebral palsy: A systematic review // *Ann. Phys. Rehabil. Med*. 2017. Vol. 60. No. 6. P. 393–402. doi: 10.1016/j.rehab.2017.05.004

17. Murri A., Zechner G. Corrective dynamic shoe fitting of the functional clubfoot in patients with infantile cerebral palsy // *Z. Orthop. Ihre. Grenzgeb*. 1994. Vol. 132. No. 3. P. 214–220. (In German)

18. Bekk N.V., Belova L.A., Lapina T.S. Feature customization of orthopedic shoes for children with cerebral palsy // *ISJ Theoretical and Applied Science*. 2018. Vol. 12. No. 68. P. 117–121. doi: 10.15863/TAS.2018.12.68.21

19. Узакова Л.П., Мухаммедова М.О. Технологическое решение конструирования ортопедической обуви, учитывая биомеханику нижних конечностей // *World science: Problems and Innovation*. Пенза: Наука и Просвещение, 2018. С. 47–51.

20. Palisano R., Rosenbaum P., Walter S. et al. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy // *Dev. Med. Child Neurol*. 1997. Vol. 39. No. 4. P. 214–223. doi: 10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x

21. Смирнова Л.М. Программно-аппаратный комплекс для оценки анатомо-функциональных нарушений и эффективности ортезирования при патологии стопы // *Медицинская техника*. 2009. Vol. 6. P. 22–26. doi: 10.1007/s10527-010-9137-1

22. Sees J.P., Miller F. Overview of foot deformity management in children with cerebral palsy // *J. Child Orthop*. 2013. Vol. 7. P. 373–377. doi: 10.1007/s11832-013-0509-4

23. Silfverskoild N. Reduction of the uncrossed two-joints muscles of the leg to one-joint muscles in spastic condition // *Acta Chir. Scand*. 1924. Vol. 56. P. 315–328.

24. Mosca V.S. Flexible flatfoot in children and adolescents // *J. Child Orthop*. 2010. Vol. 4. No. 2. P. 107–121. doi: 10.1007/s11832-010-0239-9

25. Falisse A., Pitto L., Kainz H. et al. Physics-based stimulations to predict the differential effects of motor control and musculoskeletal deficits on gait dysfunction in children cerebral palsy: A retrospective case study // *Front. Hum. Neurosci*. 2020. Vol. 14. P. 40. doi: 10.3389/fnhum.2020.00040

REFERENCES

1. Armand S., Decoulon G., Bonnefoy-Mazure A. Gait analysis in children with cerebral palsy. *EFORT Open Rev*. 2016;1:448–460. doi: 10.1302/2058-5241.1.000052

2. Valentina J., Davidson SA, Bear N, et al. A prospective study investigating gross motor function of children with cerebral palsy and GMFCS level II after long-term botulinum toxin type A use. *BMC Pediatrics*. 2020;20(1):7. doi: 10.1186/s12887-019-1906-8

3. Collado-Garrido L, Paras-Bravo P, Calvo-Martin P, Santibanez-Marguello M. Impact of resistance therapy on motor function in children with cerebral palsy: A systematic review and meta-

analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2019;16(22):e4513. doi: 10.3390/ijerph16224513

4. Saleh M, Almasri NA, Malkawi SH, Abu-Dahab S. Associations between impairments and activity limitations components of the international classification of functioning and the gross motor function and subtypes of children with cerebral palsy. *J Phys Ther Sci*. 2019;31(4):299–395. doi: 10.1589/jpts.31.299

5. Lee BH. Relationship between gross motor function and the function, activity and participation components of the international classification of functioning in children with spas-

tic cerebral palsy. *J Phys Ther Sci.* 2017;29(10):1732–1736. doi: 10.1589/jpts.29.1732

6. Son I, Lee D, Hong S, Lee K, Lee G. Comparison of gait ability of a child with cerebral palsy according to the difference of dorsiflexion angle of hinged ankle-foot orthosis: A case report. *Am J Case Rep.* 2019;20:1454–1459. doi: 10.12659/AJCR.916814

7. Kim HY, Cha YH, Byun JY, Chun YS, Choy WS. Changes in gait parameters after femoral derotational osteotomy in cerebral palsy patients with medial femoral torsion. *Journal of Pediatric Orthopaedics B.* 2018;27:194–199. doi: 10.1097/BPB.0000000000000467

8. Patel DR, Neelakantan M, Pandher K, Merrick J. Cerebral palsy in children: a clinical overview. *Transl Pediatr.* 2020;9(suppl.1):S125–S135. doi: 10.21037/tp.2020.01.01

9. Rasmussen HM, Pederson NW, Overgaard S, et al. Gait analysis for individually tailored interdisciplinary intervention in children with cerebral palsy: a randomized controlled trial. *Dev Med Child Neurol.* 2019;61(10):1189–1195. doi: 10.1111/dmcn.14178

10. Young J, Jackson S. Improved motor function in a pre-ambulatory child with spastic bilateral cerebral palsy, using a custom rigid ankle-foot orthosis-footwear combination: A case report. *Prosthet Orthot Int.* 2019;43(4):453–458. doi: 10.1177/0309364619852239

11. Reis AJ, Schwartz MH. Ground reaction and solid ankle-foot orthoses are equivalent for the correction of crouch gait in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2019;61(2):219–225. doi: 10.1111/dmcn.13999

12. Schwarze M, Block J, Kunz T, et al. The added value of orthotic management in the context of multi-level surgery in children with cerebral palsy. *Gait Posture.* 2019;68:525–530. doi: 10.1016/j.gaitpost.2019.01.006

13. Dzhomardly EI, Koltsov AA. Analysis of the use of technical means for rehabilitation of patients with spastic types of cerebral palsy depending on the level of patient's motor function. *Genij ortopedii.* 2020;26(1):57–64. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-1-57-64. (In Russ.)

14. Meyns P, Kerkum YL, Brehm MA, et al. Ankle foot orthoses in cerebral palsy: Effects of ankle stiffness on trunk kinematics, gait stability and energy cost of walking. *Eur J Paediatr Neurol.* 2020;26:68–74. doi: 10.1016/j.ejpn.2020.02.009

15. Wright E, DiBello SA. Principles of ankle-foot orthosis prescription in ambulatory bilateral cerebral palsy. *Phys. Med. Rehabil. Clin. N. Am.* 2020;31(1):69–89. doi: 10.1016/j.pmr.2019.09.007

16. Aboutorabi A, Arazpour M, Ahmadi Bani M, et al. Efficacy of ankle foot orthoses types on walking in children with cerebral palsy: A systematic review. *Ann. Phys. Rehabil. Med.* 2017;60(6): 393–402. doi: 10.1016/j.rehab.2017.05.004

17. Murri A, Zechner G. Corrective dynamic shoe fitting of the functional clubfoot in patients with infantile cerebral palsy. *Z. Orthop. Ihre. Grenzgeb.* 1994;132(3):214–220. (In German)

18. Bekk NV, Belova LA, Lapina TS. Feature customization of orthopedic shoes for children with cerebral palsy. *ISJ Theoretical and Applied Science.* 2018;12(68):117–121. doi: 10.15863/TAS.2018.12.68.21

19. Uzakova LP, Mukhammedova MO. Technological solution construction of orthopedic shoes considering biomechanics of lower extremities. *World science: Problems and Innovation.* Penza: Nauka i Prosveshchenie; 2018. P. 47–51. (In Russ.)

20. Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, et al. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 1997;39(4):214–223. doi: 10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x

21. Smirnova LM. Hardware-Software complex for assessment of anatomic-functional disturbances and orthosis efficiency in patients with foot pathology. *Biomedical Engineering.* 2009;43(6):260–264. doi: 10.1007/s10527-010-9137-1. (In Russ.)

22. Sees JP, Miller F. Overview of foot deformity management in children with cerebral palsy. *J Child Orthop.* 2013;7:373–377. doi: 10.1007/s11832-013-0509-4

23. Silfverskoild N. Reduction of the uncrossed two-joints muscles of the leg to one-joint muscles in spastic condition. *Acta Chir Scand.* 1924;56:315–328.

24. Mosca VS. Flexible flatfoot in children and adolescents. *J. Child. Orthop.* 2010;4(2):107–121. doi: 10.1007/s11832-010-0239-9

25. Falisse A, Pitto L, Kainz H, et al. Physics-based stimulations to predict the differential effects of motor control and musculoskeletal deficits on gait dysfunction in children cerebral palsy: A retrospective case study. *Front Hum Neurosci.* 2020;14:40. doi: 10.3389/fnhum.2020.00040

ОБ АВТОРАХ

Людмила Михайловна Смирнова, д-р техн. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>;
eLibrary SPIN: 5020-1408;
e-mail: info@diaserv.ru

***Андрей Анатольевич Кольцов**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 195067, Санкт-Петербург, ул. Бестужевская, д. 50;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>;
eLibrary SPIN: 2767-3392;
e-mail: katandr2007@yandex.ru

Эльнур Исфандиярович Джомардлы, аспирант;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0281-3262>;
eLibrary SPIN: 5853-0260;
e-mail: mamedov.ie@yandex.ru

AUTHOR INFORMATION

Lyudmila M. Smirnova, Doctor of Engineering Science;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4373-9342>;
eLibrary SPIN: 5020-1408;
e-mail: info@diaserv.ru

***Andrey A. Koltsov**, MD, PhD;
address: 50 Bestuzhevskaya str., Saint Petersburg, 195067, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>;
eLibrary SPIN: 2767-3392;
e-mail: katandr2007@yandex.ru

Elnur I. Dzhomardly, MD, PhD student;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0281-3262>;
eLibrary SPIN: 5853-0260;
e-mail: mamedov.ie@yandex.ru