



取决于诊断标准和统计分析方法的扁平足发生率的可变性

THE VARIABILITY OF THE FLATFOOT FREQUENCY DEPENDING ON THE DIAGNOSTIC CRITERIA AND THE METHOD OF STATISTICAL ANALYSIS

© V.M. Kenis¹, A.Ju. Dimitrieva², A.V. Sapogovskiy¹

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: 27.03.2019

Revised: 27.05.2019

Accepted: 06.06.2019

背景。儿童扁平足的患病率从 0.6% 至 77.9% 不等。这广范围的数据差异与缺乏统一的诊断标准以及统计方法有关。

目标。本研究的目标是，采用不同的足底足印指数和统计分析方法，论证相同人群扁平足患病率的可变性。

材料与方法。本研究包含 317 名学龄。已排除患骨科脚疾的儿童。主要评价方法是临床检查、采用足印指数计算（Staheli 指数、Chippaux - Smirak 指数、Clarke 角、足部测量指数、足弓高度指数）的计算机足底造影法和统计分析（采用 Kolmogorov - Smirnov 和 Shapiro - Wilk 标准的描述性统计学方法，根据含标准差的正态分布定律和四分位数评估法确定数据）。

结果。根据正态分布定律（含双标准差），我们的研究表明，采用足底足印指数确定的扁平足发生率在 7-17 岁儿童中为从 1.6% 到 4.8% 不等，而采用内侧足印指数确定的扁平足发生率在同样年龄段儿童中为 1.28% 至 2.8%。四分位数评估法显示，采用足底足印指数的扁平足发生率为 5.85% - 28.33%，而采用内侧足印指数的为 5.7% - 15.43%。

结论。不同的足底造影指数和统计分析方法得出同一群体中扁平足部纵弓的发生率可能有显著差异。因此，相比根据足底足印确定的发生率，根据内侧足印计算的指数确定的扁平足发生率低 1.7-1.8 倍。此外，此扁平足发生率相比根据四分位数评估确定的发生率低 5.5-5.9 倍。

关键词：儿童；扁平足；诊断；足底造影；统计学。

Background. Flatfoot frequency in children varies from 0.6% to 77.9%. This wide-range data is associated with lack of uniform diagnostic criteria and method of statistical analysis.

Aim. This study aimed to demonstrate the variability in flatfoot frequency in the same population using different indices of footprint and methods of statistical analysis.

Material and methods. This study included 317 school-age children. Children with orthopedic and foot pathology were excluded. The main evaluation methods were clinical examination, computer plantography with footprint index calculation (Staheli index, Chippaux-Smirak index, Clarke's angle, podometric index, arch height index), and statistical analysis (descriptive statistics methods with Kolmogorov-Smirnov and Shapiro-Wilk criteria, data definition according to the law of normal distribution with standard deviation and quartile assessment).

Results. According to the law of normal distribution (with a double standard deviation), our study demonstrated that the flatfoot frequency using the plantar footprint indices varies from 1.6% to 4.8% in 7-17-year-old children and using the medial footprint indices, from 1.28% to 2.8% in the same age. Quartile assessment method showed a flatfoot frequency of 5.85%-28.33% with plantar foot indices and 5.7%-15.43% with medial footprint indices.

Conclusion. The different plantographic indices and methods of statistical analysis demonstrated that the frequency of a flattened longitudinal arch of the feet in a population may differ significantly. Thus, the frequency of flatfoot

determined on the basis of indices calculated on the medial footprint is 1.7–1.8 times lower than that determined on the plantar footprint. In addition, the frequency of flatfoot is 5.5–5.9 times lower than that determined by the quartile assessment.

Keywords: children; flatfoot; diagnostics; plantography; statistics.

引言

扁平足是儿童到儿童骨科医生处就诊的最常见原因之一。该疾病的特征是足部纵弓高度下降（具有或不具有后足外翻偏差）[1, 2]。由于韧带器官的延展性增加、足底表面部位的脂肪组织以及神经肌肉器官的未成熟，对于 8 岁或 9 岁以下的大部分儿童而言，扁平足是生理性常态。在大部分个人中，在生命前十年可观察到足弓高度逐渐增加 [3–6]。迄今为止，应采用哪项标准诊断扁平足这一问题仍然有争议。例如，根据文献显示，儿童扁平足发生率范围为 0.6% 至 77.9% [6–8]。此数据范围如此广，与儿童足部在生长发育期间的解剖结构变化以及诊断标准的缺点均有关 [6, 9]。因此，Banwell 等人（2018 年）在对关于儿童扁平足诊断的文献进行系统性回顾的过程中，发现有进一步研究的需要，因为目前使用的诊断方法缺乏可靠性和有效性 [6]。

尽管 X 射线诊断方法具有可靠性，该方法在辐射暴露的形式方面具有明显的缺点 [10]。另一广泛应用的扁平足诊断方法是足底造影。分析已扫描的足部图像（计算机足底造影）可以计算有用的参数。如今，最广为人知和诊断上有用的标准是：Staheli 指数（画在中足部足印最窄部分的线条长度与画在跟骨区域最宽部分的线条长度的比率）[11–13]；Chippaux-Smirak 指数（画在中足部足印最窄部分的线条长度与画在足印最宽部分的线条长度之间的比率，与跖骨头部在同一水平上）[11, 14]；Clarke 角（从跖骨区域最内侧点到纵弓凹陷部分以及到跟骨区域内侧面所画切线之间的角度）[14, 15]；足弓指数（中足部与不含脚趾的足部长度的比率，不包括脚趾）[16, 17]；足部测量指数

（足舟骨结节高度与足部长度之间的比率）[18]；以及足弓高度指数（纵弓高度与足部长度（不含脚趾）之间的比率，用百分数表示）[19]。文献还包括了在评估足底造影印迹时很少使用的一些指数。包括 Martirosov 的 K 指数 [20]、足印评价指数 [21]、足背指数 [22] 以及足底足印指数 [23]。

当对用于确定扁平足发生率的统计分析方法进行分析时，我们观察到显著的可变性。用于确定扁平足发生率的最普遍的统计估计方法是正态分布定律（在平均值计算中，将一至两个标准差考虑在内）和四分位数或百分位数方法 [25] [18, 24]。

基于上述信息，可以明确研究假设：足弓变低（即扁平足）的诊断，以及在群体中扁平足发生率的确定，直接取决于足底造影指数和所用的统计分析方法。

本研究的目的是证明，当采用不同的足底造影指数和统计分析方法时，在同一群体样本中扁平足发生率具有变化。

材料与方法

所有研究均根据赫尔辛基人权宣言的原则开展，且已经获得所有父母/监护人的书面同意。使用计算机，我们对学龄儿童的 634 只脚进行了扫描：149 名 7 至 10 岁儿童的 298 只脚；105 名 11 至 13 岁儿童的 210 只脚；以及 63 名 14 至 17 岁儿童的 126 只脚。该调查研究在俄罗斯圣彼得堡普希金区的一所学校内进行。

本研究的主要纳入标准是：年龄 7 至 17 岁，除了扁平足之外，没有确诊的骨科或神经病变。

采用 DiasledScan 仪器-硬件复合体 (DiaService LLC, Russia) 进行计算机足底造影分析。使用足底面的扫描图像计算 Staheli 足弓指数 (线条 2 长度与线条 3 长度的比率)、Chippaux-Smirak 指数 (线条 2 长度与线条 1 长度的比率) 以及 Clarke 角 (4) (图 1)。根据足部内侧面确定的足弓参数包括子测量指数 (线条 1 与线条 2 的比率) 和足弓高度指数 (线条 4 长度与线条 3 长度的比率) (图 2)。

采用 Statsoft 生产的 Statistica 软件进行数据的统计分析。采用 Kolmogorov - Smirnov 和 Shapiro - Wilk 检验确定数据的正态分布。

结果

我们分析了 7 至 17 岁儿童的 634 只脚，计算主要足底造影指数的均值和标准差 (从 -2σ 至 $+2\sigma$) (表 1)。

表 1 列出的数据显示，调查研究组的指数呈现年龄相关性趋势。因此，平均指数沿着在数量上对应于足部纵弓高度增加的方向变化。例如，像 Staheli 指数等参数的均值为：7 至 10 岁的在 0.53 ± 0.115 范围内，11 至 13 岁的在 0.49 ± 0.12 范围内，以及 14 至 17 岁的在 0.46 ± 0.09 范围内。这表明，儿童足部的足弓逐渐形成。对于其他指数也观察到同样的趋势。

为了确定样本组儿童之中扁平足的发生率，针对所有研究的指数计算了该指标，依据是从统计分析获得的参数，呈列

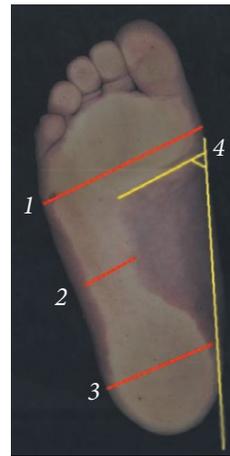


图 1. 对足底足印的分析 (请查看正文了解详情)



图 2. 对足部内侧面的分析 (请查看正文了解详情)

于表 1。在这种情况下，扁平足标准是超出两个标准差范围之外的每一指数的数值，对应于足弓高度的降低。表 2 呈列了该评估的结果。

从表 2 可知，患扁平足儿童的百分数取决于所用的指数，但一般来说，我们可观察到扁平足发生率随着年龄下降的趋势。例如，根据 Staheli 指数获得的扁平足发生率在 3.79% (年龄 7 至 10 岁) 和 1.6% (年龄 14 至 17 岁) 之间变化。根据 Chippaux-Smirak 指数，扁平足发生率在 1.9% 至 3.79% 的范围内，同样，年龄较小的占多数。采用 Clarke 角，则足部扁平足弓的发生率在 3.22% 至 4.8% 的变化范围。根据子测量指数，扁平足发生率在 1.4% 至 2.08% 的范围内，年龄 7 至 10 岁的占多数。根据足弓高度指数，1.28% 至 2.8% 的案例可诊断为扁平足。一般而言，相比根据足底面计得的数值，根据足部内侧面印迹计算的纵弓高度数值较低。然而，在这种情况下，也注意到有年龄动态。

所获得的与扁平足发生率有关的数据体现了所采用的方法，据此方法，定量属性 (指数数值) 的偏差总计达偏离均值两个标准差的值，该偏差被接受为预先存在的

表 1

主要足底造影指数的均值和标准差（根据正态分布定律）

指数	7 至 10 岁			11 至 13 岁			14 至 17 岁		
	<i>M</i>	σ	$-2\sigma \dots +2\sigma$	<i>M</i>	σ	$-2\sigma \dots +2\sigma$	<i>M</i>	σ	$-2\sigma \dots +2\sigma$
SI R	0.53	0.115	0.3 - 0.76	0.49	0.12	0.25 - 0.73	0.46	0.09	0.28 - 0.64
SI L	0.54	0.13	0.28 - 0.8	0.5	0.11	0.28 - 0.72	0.46	0.09	0.28 - 0.64
CSI R	0.34	0.08	0.18 - 0.5	0.32	0.09	0.14 - 0.5	0.29	0.06	0.17 - 0.41
CSI L	0.34	0.08	0.18 - 0.5	0.32	0.08	0.16 - 0.48	0.3	0.05	0.2 - 0.4
PI R	12.67	3.48	5.71 - 19.63	13.13	3.58	5.97 - 20.29	14.18	3.19	7.8 - 20.56
PI L	12.52	3.41	5.7 - 19.34	13.18	3.64	5.9 - 20.46	13.66	3.73	6.2 - 21.12
CA R	52.2	7.58	37.0 - 67.4	53.4	7.75	37.9 - 68.9	58.4	5.25	47.9 - 68.9
CA L	52.7	6.8	39.1 - 66.3	53.4	6.63	40.14 - 66.7	56.9	3.7	49.5 - 64.3
AHI R	0.29	0.02	0.25 - 0.33	0.3	0.03	0.24 - 0.36	0.31	0.02	0.27 - 0.35
AHI L	0.29	0.02	0.25 - 0.33	0.3	0.03	0.24 - 0.36	0.31	0.03	0.25 - 0.37

注释：SI - Staheli 指数； CSI - Chippaux-Smirak 指数； PI - 足部测量指数； CA - Clarke； AHI - 足弓高度指数； R/L - 右脚/左脚； M - 算术平均值； σ - 标准差。

表 2

扁平足发生率 (%)（根据双标准差标准）

指数	扁平足发生率 (%)		
	7 至 10 岁	11 至 13 岁	14 至 17 岁
SI R	3.03	2.0	1.6
SI L	3.79	3.0	2.1
CSI R	3.27	3.0	1.9
CSI L	3.79	3.0	2.7
PI R	2.08	1.7	1.4
PI L	2.08	1.8	1.5
CA R	4.0	4.0	3.22
CA L	4.8	3.8	3.22
AHI R	2.8	2.7	1.28
AHI L	2.8	2.7	1.28

注释：查看表 1 脚注的缩略语。

病理状态，因为该方法在生物医学研究中最常用。然而，文献也提供了用于确定扁平足指数标准数值的其他标准。为了比较根据各指数（采用各种不同统计评估方法研究和获得的）确定的扁平足诊断结果，

已根据四分位数法确定了已计得的足底造影指标的均值（表 3）。

如表 3 呈列的数据所示，在样本组中，大部分指数呈现出年龄动态增加的趋势。

表 3

主要足底造影指数的均值和四分位差

指数	7 至 10 岁		11 至 13 岁		14 至 17 岁	
	M	IQR	M	IQR	M	IQR
SI R	0.53	0.41 - 0.58	0.49	0.4 - 0.56	0.46	0.41 - 0.58
SI L	0.54	0.4 - 0.56	0.5	0.42 - 0.59	0.46	0.41 - 0.58
CSI R	0.34	0.26 - 0.37	0.32	0.27 - 0.38	0.29	0.29 - 0.4
CSI L	0.34	0.26 - 0.37	0.32	0.29 - 0.4	0.3	0.3 - 0.42
PI R	12.67	8.11 - 11.36	13.13	8.9 - 12.46	14.18	10.2 - 14.3
PI L	12.52	7.67 - 10.74	13.18	9.16 - 12.83	13.66	9.8 - 13.72
CA R	52.2	36.5 - 51.1	53.4	30.2 - 42.2	58.4	58.2 - 81.5
CA L	52.7	33.8 - 47.27	53.4	32.3 - 45.2	56.9	62.2 - 87.2
AHI R	0.29	0.27 - 0.38	0.3	0.29 - 0.4	0.31	0.32 - 0.45
AHI L	0.29	0.27 - 0.38	0.3	0.29 - 0.4	0.31	0.31 - 0.44

注释：IQR - 四分位间距（第 25 和第 75 百分位数之间的数值范围）。其他缩略语请参见表 1 的脚注。

表 4

扁平足发生率 (%) (根据四分位分布情况)

指数	扁平足发生率 (%)		
	7 至 10 岁	11 至 13 岁	14 至 17 岁
SI R	25.76	21.0	16.13
SI L	28.33	14.0	9.68
CSI R	24.24	11.0	6.45
CSI L	25.76	9.0	5.75
PI R	15.43	14.28	13.79
PI L	14.76	13.28	12.24
CA R	3.82	3.0	21.51
CA L	2.27	2.0	21.3
AHI R	14.49	12.38	7.7
AHI L	13.15	11.7	5.7

注释：查看表 1 脚注的缩略语。

指数均值和四分位间距沿着对应于足部纵弓高度增加这一方向变化。

我们基于所有研究的指数计算了样本组的扁平足发生率，依据是其四分位分布情况（表 4）。

从表 4 可知，根据 Staheli 指数，足部的扁平纵弓的发生率在 9% 和 28% 之间，在年龄 7 至 10 岁之间发生率较高。根据 Chippaux-Smirak 指数，足弓扁平的儿童比例在 5.75% 至 25.76% 范围内，小学年龄段儿童之中，扁平足弓病例

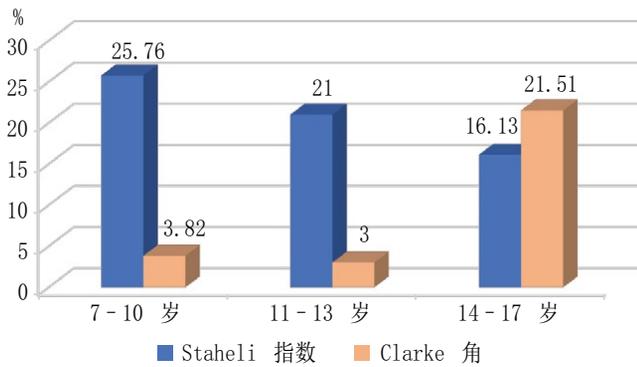


图 3. 不同年龄组根据 Staheli 指数和 Clarke 角确定的扁平足发生率 (%) (根据四分位数评估法)

数量更多。然而, 根据 Clarke 角, 年龄 7 至 10 岁的儿童之中, 发生率在 2.27% 和 3.82% 之间, 年龄 14 至 17 岁的儿童之中, 发生率在 21.3% 和 21.51% 之间。相比根据足底面计算的指数, 足部内侧面的指数也显示较低的扁平足发生率。根据子测量指数, 在年龄段 7 至 10、11 至 13 和 14 至 17 岁中, 扁平足发生率分别为 14.76%、13.28% 和 12.24%。根据足弓高度指数, 足部扁平足弓的发生率变化范围为 5.7% 至 14.49%, 在早期学龄儿童之中发生率较高。我们没有观察到右脚和左脚之间扁平足弓发生率的任何显著差异。可是, 根据所有研究的指数, Clarke 角除外, 扁平足发生率趋向于随着年龄增长而下降。

因此, 按照所提出的数据, 可知扁平足弓的发生率取决于所采用的指数, 且在很大程度上, 取决于所用的统计分析方法。

例如, 我们绘制条形图来说明分别采用 Staheli 指数和 Clarke 角确定的不同年龄组的扁平足发生率的变化性 (根据四分位数评估法)。在 7 至 10 岁和 11 至 13 岁的儿童之中, 根据 Staheli 指数计算的扁平足发生率, 平均来说, 比在相同的儿童之中采用 Clarke 角计算的扁平足发生率高 7 倍。同时, 14 至 17 岁儿童组呈现出截然相反的扁平足发生率趋势, 根据 Clarke 角确定的发生率更高, 达 1.3 倍 (图 3)。

讨论

迄今为止, 儿童扁平足的实际发生率是多少这一问题仍然有待探讨。用于评估足部外形和姿态的现有方法种类繁多, 导致文献中出现的数据具有明显的变异性。因此, 在相同年龄段的儿童之中, 根据不同作者的观点, 扁平足发生率范围为 2.7% [23] 至 40% [26]。主要可通过用于估计纵弓高度的方法 (临床、足底造影或放射学的) 解释此差异。临床方法 (在该法中, 目测评估足部的外形和姿态) 最常使用。例如, Pfeiffer 等人 (1999 年) 在其研究中使用该方法评估学龄前儿童之中的扁平足发生率; 根据这些作者的观点, 扁平足发生率范围为 54% (3 岁) 至 24% (6 岁) [27]。

除了目测评估内侧纵弓高度之外, 也使用了足底造影评估法, 该法涉及众多指数的计算。García-Rodríguez 等人 (1999 年) 采用足底造影法研究了 1180 名 4 至 13 岁儿童的足部纵弓高度, 发现在只有 2.7% 的病例中, 足底足印符合扁平足标准 [23]。在类似的研究中, Echarri 等人 (2003 年) 分析了刚果共和国的 1851 名儿童的足部。采用 Staheli 和 Chippaux-Smirak 指数以及 Clarke 角估计扁平足发生率。对于 3 至 8 岁的儿童, 扁平足弓发生率为 40% 至 70% [26]。

除了用于估计足部内侧纵弓高度的可用方法种类繁多之外, 还有几种可能的统计分析方法。不同的研究人员也可能采用不同的确定统计标准边界的方法 (例如, 在正态分布的情况下, 多个标准差)。因此, 研究 5 至 9 岁儿童之中的扁平足发生率时, Hernandez 等人 (2007 年) 认为, 如果 Staheli 指数超过两个标准差, 则足弓是扁平的 [24]。Jaremenko (1985 年) 坚持将标准差半值作为他检测扁平足弓的标准 [18]。

除了正态分布定律之外，其他统计分析方法也可用于确定给定指征的出现频率。例如，评估扁平的足弓发生率时，Cavanagh 等人（1987 年）使用了四分位数法，通过以下事实证明该选择的合理性：平均值和标准差的确定（假设数据呈正态分布）意味着该群体中扁平足发生率为 15%（因为 $M \pm 1\sigma$ 这一数值涵盖了大约 70% 的人群，扁平足和高足弓占了 15%），根据作者的观点，这种情况不符合在临床实践中观察到的现实情况 [25]。

如我们的研究所示，当使用不同的足底造影指数和不同的统计分析方法时，人群中扁平纵弓的发生率会有显著差异。为了分析已有数据，我们使用五个不同的足底造影指数和两种统计分析方法。同时，根据我们在同一组儿童的分析中获得的扁平足发生率数据，我们的结果有显著差异。因此，举例来说，根据正态分布定律（含两个标准差）和基于足部足底面指数，扁平足发生率在所有年龄组（7 至 17 岁）中的变化范围为 1.6% 至 4.8%；根据对足部内侧面进行评估，对于同一年龄组，发生率变化范围为 1.28% 至 2.8%。根据四分位数评估法，对于相同的儿童，在基于足底面计算的指数方面，该指标在 5.85% 和 28.33% 之间，在基于足部内侧面计算的指数方面，该指标在 5.7% 至 15.43% 之间。

因此，一般而言，基于足部内侧面计算的指数表明在所抽取的儿童组之中扁平足发生率较低。然而，除了 Clarke 角之外（因为采用四分位数评估法计算），无论采用任何指数，我们都观察到足部纵弓高度随着年龄增长而增加的趋势。在我们看来，这种增加取决于参考区间的宽度。根据我们的数据，相比四分位间距（ $58.2^\circ - 87.2^\circ$ ），按照正态分布定律计算的平均值范围转变至较低的数值（ $47.9^\circ - 68.9^\circ$ ）。在他的工作中，Clarke（1933 年）指出了由于在大

于 40° 角难以确定该指数所导致的指数缺陷。因此，结果该参数不适用于年龄较大的儿童 [28]。

在我们看来，每一统计分析方法均有其优缺点。因此，采用含双标准差的正态分布定律的优点是，有待计算指标的估计均值准确度达 95%。其缺点是，扁平足弓发生率对标准差数值具有依赖性，并且计算出来的患扁平足人口少于临床确定的人口。

四分位数评估法的优点是，根据该方法计算出来的扁平足发生率接近于实际临床工作期间在患者中观察到的发生率。其缺点是，取决于可能的测量误差，该评估法容易出现波动起伏，在样本量有限的情况下，波动的可变性高。

结论

根据我们的数据，相比基于足部足底面的全部指数确定的扁平足发生率，基于采用足部内侧面计得的全部指数确定的扁平足发生率低 1.7 至 1.8 倍。此外，如果根据正态分布定律（含双标准差）计算扁平足发生率，则发生率比采用四分位数估计法计算的扁平足发生率低 5.5 至 5.9 倍。

因此，我们采用相同的样本但不同的足底造影指数和不同的统计分析方法来证明扁平足发生率的可变性。这证实了我们最初提出的假设。所以，评估从大量的研究中获得的数据时以及在临床实践诊断婴儿扁平足的特定病例中，有必要将获得的指标与文献中现有的参考数据联系起来，获取指标时将所采用的方法考虑在内。上述全部内容均强调，制订统一的系统用于在诊断儿童扁平足过程中评估足部内侧面足弓高度这一需求至关重要，目的是避免不必要的保守和手术干预以及将明显病理视为对该年龄而言属于常态。总的来说，我们的结论是，为了对足

弓高度作出定量评估并且确定人群中的扁平足发生率，首先有必要制定统一的诊断标准和统计分析的标准方法。

其他信息

资助来源。本研究的开展获得了 UMNIC 计划框架中“创新援助基金 (Innovation Assistance Fund)”的部分资金支持。

利益冲突。作者声明，没有与该文章的发表有关的任何明显和潜在的利益冲突。

伦理审查。本研究按照世界医学协会赫尔辛基宣言的伦理标准开展，由当地的西北州立医科大学伦理委员会批准（以 I. I. Mechnikov 命名，隶属于俄罗斯卫生部）（方案号：11，日期：2017 年 11 月 1 日）。

患者的法定代理人自愿同意参与本研究以及同意发表数据。

作者贡献

V. M. Kenis 指导和参与了研究设计及研究方法的制定，并编辑文章的文字内容。

A. Yu. Dimitriev 收集和處理数据，分析文献来源，并撰写文章的文字内容。

A. V. Sapogovsky 编辑文章的文字内容。

References

- Evans AM. The paediatric flat foot and general anthropometry in 140 Australian school children aged 7–10 years. *J Foot Ankle Res.* 2011;4(1):12. <https://doi.org/10.1186/1757-1146-4-12>.
- Кенис В.М., Лапкин Ю.А., Хусаинов Р.Х., Сапоговский А.В. Мобильное плоскостопие у детей (обзор литературы) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2014. – Т. 2. – № 2. – С. 44–54. [Kenis VM, Lapkin YA, Khusainov RKh, Sapogovskiy AV. Mobil'noe ploskostopie u detey (obzor literatury). *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery.* 2014;2(2):44-54. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/ptors2244-54>.
- Nemeth B. The diagnosis and management of common childhood orthopedic disorders. *Curr Probl Pediatr Adolesc Health Care.* 2011;41(1):2-28. <https://doi.org/10.1016/j.cppeds.2010.10.004>.
- Перепелкин А.И., Мандриков В.Б., Краюшкин А.И., Атрощенко Е.С. К вопросу о формировании продольного свода стопы у детей // Волгоградский научно-медицинский журнал. – 2016. – № 1. – С. 32–36. [Perepelkin AI, Mandrikov VB, Krayushkin AI, Atroshchenko ES. To the question of the formation of the longitudinal arch of the foot in children. *Volgogradskiy nauchno-meditsinskiy zhurnal.* 2016;(1):32-36. (In Russ.)]
- Sadeghi-Demneh E, Azadinia F, Jafarian F, et al. Flatfoot and obesity in school-age children: a cross-sectional study. *Clin Obes.* 2016;6(1):42-50. <https://doi.org/10.1111/cob.12125>.
- Banwell HA, Paris ME, Mackintosh S, Williams CM. Paediatric flexible flat foot: how are we measuring it and are we getting it right? A systematic review. *J Foot Ankle Res.* 2018;11:21. <https://doi.org/10.1186/s13047-018-0264-3>.
- Didia BC, Omu ET, Obuoforibo AA. The use of footprint contact index ii for classification of flat feet in a Nigerian population. *Foot Ankle.* 2016;7(5):285-289. <https://doi.org/10.1177/107110078700700504>.
- Gould N, Moreland M, Alvarez R, et al. Development of the child's arch. *Foot Ankle.* 2016;9(5):241-245. <https://doi.org/10.1177/107110078900900506>.
- Uden H, Scharfbillig R, Causby R. The typically developing paediatric foot: how flat should it be? A systematic review. *J Foot Ankle Res.* 2017;10(1). <https://doi.org/10.1186/s13047-017-0218-1>.
- Weimar WH, Shroyer JF. Arch height index normative values of college-aged women using the arch height index measurement system. *J Am Podiatr Med Assoc.* 2013;103(3):213-217. <https://doi.org/10.7547/1030213>.
- Chang CH, Chen YC, Yang WT, et al. Flatfoot diagnosis by a unique bimodal distribution of footprint index in children. *PLoS One.* 2014;9(12):e115808. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0115808>.
- Ezema CI, Abaraogu UO, Okafor GO. Flat foot and associated factors among primary school children: A cross-sectional study. *Hong Kong Physio J.* 2014;32(1):13-20. <https://doi.org/10.1016/j.hkjpj.2013.05.001>.
- Staheli LT, Chew DE, Corbett M. The longitudinal arch. A survey of eight hundred and eighty-two feet in normal children and adults. *J Bone Joint Surg.* 1987;69(3):426-428. <https://doi.org/10.2106/00004623-198769030-00014>.

14. Chen KC, Yeh CJ, Kuo JF, et al. Footprint analysis of flatfoot in preschool-aged children. *Eur J Pediatr*. 2011;170(5):611-617. <https://doi.org/10.1007/s00431-010-1330-4>.
15. Pauk J, Szymul J. Differences in pediatric vertical ground reaction force between planovalgus and neutrally aligned feet. *Acta Bioeng Biomech*. 2014;16(2):95-101.
16. Galli M, Cimolin V, Rigoldi C, et al. The effects of low arched feet on foot rotation during gait in children with Down syndrome. *J Intellect Disabil Res*. 2014;58(8):758-764. <https://doi.org/10.1111/jir.12087>.
17. Galli M, Cimolin V, Pau M, et al. Foot pressure distribution in children with cerebral palsy while standing. *Res Dev Disabil*. 2015;41-42:52-57. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.05.006>.
18. Яременко Д.А. Диагностика и классификация статических деформаций стоп // Ортопедия, травматология и протезирование. – 1985. – № 11. – С. 59–67. [Yaremenko DA. Diagnostika i klassifikatsiya staticheskikh deformatsiy stop. *Ortop Travmatol Protez*. 1985;(11):59-67. (In Russ.)]
19. Drefus LC, Kedem P, Mangan SM, et al. Reliability of the arch height index as a measure of foot structure in children. *Pediatr Phys Ther*. 2017;29(1):83-88. <https://doi.org/10.1097/PEP.0000000000000337>.
20. Nikolaidou ME, Boudolos KD. A footprint-based approach for the rational classification of foot types in young schoolchildren. *Foot*. 2006;16(2):82-90. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2006.02.001>.
21. Stavlas P, Grivas TB, Michas C, et al. The evolution of foot morphology in children between 6 and 17 years of age: a cross-sectional study based on footprints in a Mediterranean population. *J Foot Ankle Surg*. 2005;44(6):424-428. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2005.07.023>.
22. Abolarin T, Aiyegbusi A, Tella A, Akinbo S. Predictive factors for flatfoot: The role of age and footwear in children in urban and rural communities in South West Nigeria. *Foot (Edinb)*. 2011;21(4):188-192. <https://doi.org/10.1016/j.foot.2011.07.002>.
23. García-Rodríguez A, Martín-Jiménez F, Carnero-Va-ro M, et al. Flexible flat feet in children: a real problem? *Pediatrics*. 1999;103(6):e84-e84. <https://doi.org/10.1542/peds.103.6.e84>.
24. Hernandez AJ, Kimura LK, Laraya MHF, Fávoro E. Cálculo do índice do arco plantar de staheli e a prevalência de pés planos: estudo em 100 crianças entre 5 e 9 anos de idade. *Acta Ortop Bras*. 2007;15(2):68-71. <https://doi.org/10.1590/s1413-78522007000200001>.
25. Cavanagh PR, Rodgers MM. The arch index: A useful measure from footprints. *J Biomech*. 1987; 20(5):547-51. [https://doi.org/10.1016/0021-9290\(87\)90255-7](https://doi.org/10.1016/0021-9290(87)90255-7).
26. Echarri JJ, Forriol F. The development in footprint morphology in 1851 Congolese children from urban and rural areas, and the relationship between this and wearing shoes. *J Pediatr Orthop B*. 2003;12(2):141-146. <https://doi.org/10.1097/00009957-200303000-00012>.
27. Pfeiffer M, Kotz R, Ledl T, et al. Prevalence of flat foot in preschool-aged children. *Pediatrics*. 2006;118(2):634-639. <https://doi.org/10.1542/peds.2005-2126>.
28. Clarke HH. An objective method of measuring the height of the longitudinal arch in foot examinations. *Res Q Am Phys Educ Assoc*. 1933;4(3):99-107.

Information about the authors

Vladimir M. Kenis — MD, PhD, D.Sc., Deputy Director for Development and International Relations, Head of the Department of Foot Pathology, Neuroorthopedics and Systemic Diseases. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-7651-8485>. E-mail: kenis@mail.ru.

Alyona Ju. Dimitrieva — PhD Student of Chair of Traumatology and Orthopedics for Children. North-Western State Medical University named after I.I. Mechikov, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-3610-7788>. E-mail: aloyna17@mail.ru.

Andrei V. Sapogovskiy — MD, PhD, Senior Research Associate of the Department of Foot Pathology, Neuroorthopedics and Systemic Diseases. The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-5762-4477>. E-mail: sapogovskiy@gmail.com.