УДК: 611.161+612.135
DOI: 10.24884/1682-6655-2021-20-3-46-53

В. И. КОЗЛОВ[1, 2], В. Н. САХАРОВ[1], О. А. ГУРОВА[1], В. В. СИДОРОВ[3]

Оценка состояния микроциркуляции у детей 6–7 лет по данным лазерной допплеровской флоуметрии

[1] Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия
117198, Россия, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6
[2] Федеральное государственное бюджетное учреждение «Государственный научный центр лазерной медицины» Федерального медико-биологического агентства, Москва, Россия
121165, Россия, Москва, ул. Студенческая, д. 40, стр. 1
[3] ООО НПП «Лазма», Москва, Россия
123458, Россия, Москва, ул. Твардовского, д. 8., Технопарк «Строгино»
E-mail: sakharov-vn@rudn.ru

Статья поступила в редакцию 12.02.21 г.; принята к печати 28.05.21 г.

Резюме

Введение. Состояние кровотока в капиллярах и близлежащих кровеносных сосудах представляет большой интерес в практическом отношении для раскрытия патогенеза как системных, так и локальных нарушений кровообращения. *Цель* – определить показатели микроциркуляции и степень колебаний потока (флакса) на дистальных сегментах верхних и нижних конечностей (на пальцах рук и ног) у детей 6–7 лет, а также выявить возможные различия в механизмах модуляции тканевого кровотока у мальчиков и девочек. *Материалы и методы.* Изучали состояние кожной микроциркуляции одновременно на средних пальцах обеих рук и на больших пальцах ног у детей 6–7 лет (14 девочек и 7 мальчиков) с помощью лазерной допплеровской флоуметрии в положении лежа. *Результаты.* Установлены показатели микроциркуляции (ПМ) в дистальных сегментах верхних и нижних конечностей для данной возрастной группы, а также показано, что ПМ на нижних конечностях достоверно ниже по сравнению с верхними конечностями у детей обоего пола. На стопах асимметрия ПМ не выявлена; обсуждаются особенности право-левосторонней асимметрии ПМ на пальцах кистей у девочек и мальчиков. При анализе частотных модуляций колебаний тканевого кровотока (флаксмоций) показана базовая роль вазомоторного (миогенного) ритма в регуляции микроциркуляции. *Заключение.* Усиление нейрогенных влияний на модуляцию флаксмоций, выявленное у девочек 6–7 лет, свидетельствует о начальных проявлениях перестройки механизмов регуляции тканевого кровотока, которая приурочена к окончанию полуростового скачка и начинается у девочек раньше, чем у мальчиков.

Ключевые слова: *вазомоции, дети, лазерная допплеровская флоуметрия, микроциркуляция крови, флаксметрия*

Для цитирования*: Козлов В. И., Сахаров В. Н., Гурова О. А., Сидоров В. В. Оценка состояния микроциркуляции у детей 6–7 лет по данным лазерной допплеровской флоуметрии. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2021;20(3):46–53. Doi: 10.24884/1682-6655-2021-20-3-46-53.*

УДК: 611.161+612.135
DOI: 10.24884/1682-6655-2021-20-3-46-53

V. I. KOZLOV[1, 2], V. N. SAKHAROV[1], O. A. GUROVA[1], V. V. SIDOROV[3]

Laser doppler flowmetry assessment of microcirculation in children of 6–7 years old

[1] RUDN University, Moscow, Russia
6, Miklukho-Maklaya street, Moscow, Russia, 117198
[2] Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine, FMBA of Russia, Moscow, Russia
40, Studencheskaya street, Moscow, Russia, 121165,
[3] SPE «LAZMA» Moscow, Russia
8, Tvardovskogo street, Moscow, Russia, 123458,
E-mail: sakharov-vn@rudn.ru

Received 12.02.21; accepted 28.05.21

Summary

Introduction. The state of the blood flow within the capillaries and close blood vessels is highly important in practice for the revealing of pathogenetic mechanisms of both systemic and local circulatory disorders. *Aim* of the study was to define the parameters of microcirculation and the level of blood flow fluctuations (flux) in the distal segments of upper and lower limbs (in fingers of hands and toes of feet) in children of 6–7 years old; and to describe the possible differences in the mechanisms of

blood flow modulation in boys and girls. *Materials and methods.* Skin microcirculation was assessed in middle fingers of hands and great toes of feet in children of 6-7 years old (14 girls and 7 boys in prone position) by means of laser doppler flowmetry. *Results.* The ranges for parameters of microcirculation (PM) for distal segments of upper and lower limbs in children of mentioned age group were defined, also it was shown that the PM are significantly lower in the lower limbs comparing to those of the upper limbs (both in groups of girls and boys). Asymmetry of PM in the feet was not found; the features of right hand-left hand asymmetry for PM in girls and boys are described. The analysis of modulation of blood flow fluctuations (fluxmotions) of different frequencies showed the profound role of vasomotor (myogenic) rhythm for regulation of microcirculation. *Conclusion*. Increased neurogenic influences on the modulation of fluxmotions in girls of 6-7 years old may be an evidence of the ongoing development of the mechanisms of blood flow regulation, particularly the association with the growth rate of girls is possible.

Keywords: *vasomotions, children, laser doppler flowmetry, blood microcirculation, fluxmetry*

For citation*: Kozlov V. I., Sakharov V. N., Gurova O. A., Sidorov V. V. Laser doppler flowmetry assessment of microcirculation in children of 6–7 years old. Regional hemodynamics and microcirculation. 2021;20(3):46–53. Doi: 10.24884/1682-6655-2021-20-3-46-53.*

Введение

Состояние кровотока в капиллярах и близлежащих кровеносных сосудах представляет большой интерес в практическом отношении для раскрытия патогенеза как системных, так и локальных нарушений кровообращения [1–6]. Однако для решения этих проблем необходимо иметь достаточно устойчивые представления о границах нормы (с учетом возрастных нормативов) и согласованный протокол клинических исследований микроциркуляции. Среди различных методов как прямой, так и косвенной регистрации капиллярного кровотока, используемых для клинической оценки состояния микроциркуляции, лазерная допплеровская флоуметрия (ЛДФ), которая, как известно, основывается на оптическом зондировании тканей монохроматическим сигналом в красной области спектра и анализе отраженного от движущихся эритроцитов сигнала, получила достаточно широкое распространение благодаря, прежде всего, тому, что это достаточно надежный и относительно простой способ мониторинга уровня тканевого кровотока.

Регистрируемый при ЛДФ сигнал характеризует кровоток в микрососудах в объеме несколько более 1 мм³ ткани, что дает интегральную информацию по подвижности очень большого числа эритроцитов (около $3{,}4 \cdot 10^4$), одновременно находящихся в зондируемом объеме ткани. Подвижность эритроцитов является усредненной величиной, так как осуществляется одновременное зондирование эритроцитов, движущихся с различной скоростью и различных направлениях по микрососудам разного типа и диаметра. Как показывают расчеты, в коже в области пальцев кисти в объеме 1 мм³ содержится около 200 микрососудов – примерно 20 артериол, 110 капилляров, 40 посткапиллярных венул и 30 венул [7, 8]. Наибольшее число эритроцитов присутствует в посткапиллярных сосудах [9, 10], поэтому примерно половина величины ЛДФ-сигнала формируется за счет тех эритроцитов, которые находятся в посткапиллярно-венулярном звене микроциркуляторного русла. В последнее время при прямой биомикроскопической регистрации кровотока в капиллярах и интегральной оценке перфузии методом ЛДФ [1, 11] получены важные экспериментальные доказательства тесной связи между природой сигнала ЛДФ с объективными физиологическими характеристиками капиллярного кровотока в коже.

Фундаментальной особенностью микроциркуляции крови является ее постоянная изменчивость, которая проявляется в спонтанных колебаниях тканевого кровотока. Эти колебания потока крови на микроциркуляторном уровне совершаются с разными биоритмами, что позволяет судить о конкретных соотношениях различных механизмов, определяющих состояние микроциркуляции крови. Для обозначения этих колебаний были введены специальные термины – «flowmotion» [12] и «fluxmotion» [13, 14]. Нами [1, 9, 10] для характеристики величины временной изменчивости потока крови в сосудах микроциркуляторного русла использовался термин «флакс».

Цель исследования состояла в том, чтобы определить показатели микроциркуляции и степень колебаний потока (флакса) на дистальных сегментах верхних и нижних конечностей (на пальцах рук и ног) у детей 6–7 лет, а также выявить возможные гендерные различия в механизмах модуляции тканевого кровотока.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняли участие здоровые дети: 14 девочек и 7 мальчиков старшего дошкольного возраста – 6–7 лет. Исследования проведены на условиях добровольного согласия всех его участников и их родителей, а также с одобрения Этического комитета РУДН.

Исследование микроциркуляции проводили с помощью портативного ЛДФ-анализатора «ЛАЗМА ПФ» (Регистрационное удостоверение Росздравнадзора № РЗН 2018/7853 от 26.11.2018 г.), передающего регистрируемые сигналы в компьютер по протоколу Bluetooth. Одновременная установка нескольких анализаторов позволяет синхронно регистрировать состояние микроциркуляции в нескольких точках, что существенно расширяет возможности метода; при обследовании детей применено впервые. ЛДФ-анализаторы устанавливали на средние пальцы кистей и большие пальцы стоп (рис. 1). Запись показателей с 4 анализаторов проводилась одновременно в положении испытуемого лежа в течение 5 мин. Итоговый объем выборки измерений микроциркуляции составил на кистях – 42 и на стопах – 42. Встроенный датчик движения анализатора, реагирующий на непроизвольные движения обследуемого, позволяет производить последующую фильтрацию ЛДФ-граммы и исключить из записи артефакты, обусловленные этими движениями.

Регистрируемый при ЛДФ показатель микроциркуляции (ПМ) представляет собой интегральную

Рис. 1. Положение анализаторов на пальцах рук и ног при регистрации ЛДФ-граммы
Fig. 1. Positions of LDF-tools on the fingers of hands and toes of feet during the recording of LDF-data

характеристику подвижности эритроцитов в зондируемом объеме ткани. Поскольку запись ЛДФ-граммы ведется в режиме мониторинга, то регистрируемый статистически усредненный ПМ характеризует в относительных (перфузионных) единицах (перф. ед.) поток эритроцитов в единицу времени через единицу объема ткани. Флакс (или СКО) – это средняя амплитуда колебаний потока крови в микрососудах (среднее квадратическое отклонение ЛДФ-сигнала), которая также измеряется в относительных единицах (перф. ед.).

Природа колебательных процессов в системе микроциркуляции достаточно сложна. На сегодняшний момент установлено, что спонтанные колебания кровотока в тканях преимущественно обусловлены вазомоциями [15, 16]. Ритмическая структура флаксмоций, которая выявляется с помощью спектрального анализа ЛДФ-граммы, есть интегральный результат суперпозиции различных ритмов, обусловленных миогенной природой, а также нейрогенными, дыхательными, сердечными и другими влияниями на подвижность эритроцитов в микрососудах. В данном исследовании определялись амплитуды ритмов в соответствующих частотных диапазонах: миогенных (A_{MF}), а также нейрогенных (A_{NF}), дыхательных (A_{HF}) и кардиогенных (A_{CF}) ритмов, влияющих на модуляцию тканевого кровотока. Вклад различных ритмических составляющих оценивали по их мощности R_i в процентном отношении к общей мощности спектра M флаксмоций:

$$R_i = A_i^2/M \cdot 100\ \%,$$

где $M = A_{NF}^2 + A_{MF}^2 + A_{HF}^2 + A_{CF}^2$.

Интегральную характеристику состояния вазомоторного механизма модуляции тканевого кровотока дает индекс флаксмоций (ИФМ), который определяется по соотношению амплитуд флуктуаций в физиологически наиболее значимых диапазонах частот, выявляемых при спектральном анализе ЛДФ-граммы: ИФМ $= A_{MF}/(A_{HF} + A_{CF})$.

Статистическая обработка данных произведена в программном обеспечении «R» [17] с использованием непараметрического критерия (Mann – Whitney – Wilcoxon). Результаты представлены в виде медианы и 25–75-го перцентилей (квартилей Q1 и Q3). Уровень статистической значимости при проверке нулевой гипотезы принимали соответствующим $p<0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение

При сравнении показателей микроциркуляции (ПМ) между группами мальчиков и девочек достоверных различий ни на кистях, ни на стопах не выявлено, отсутствуют также гендерные различия в показателях. Однако при сравнении показателей тканевого кровотока между пальцами рук и ног различия оказались достоверны как в группах мальчиков и девочек, так и в целом по выборке ($p<0,01$). Таким образом, на нижних конечностях у детей обследованной возрастной группы были определены достоверно более низкие значения ПМ (M – 17,0 перф.ед.), чем на верхних конечностях (M – 24,1 перф. ед.); разброс в перцентилях показан на рис. 2.

Сравнение показателей микроциркуляции в симметричных точках на верхних и нижних конечностях показывает, что на больших пальцах ног слева и справа различия по уровню ПМ практически отсутствуют как у мальчиков (M – 17,0 перф. ед.), так и у девочек (17,0 перф. ед.). На верхних конечностях асимметрия в показателях ПМ проявляется как у мальчиков, так и у девочек. При статистическом сравнении показателей микроциркуляции у девочек на пальцах правой кисти отмечались достоверно более высокие значения, чем на левой ($p=0,01$). В группе мальчиков различия в показателях хотя и выявлялись, но не были достоверны; возможно, это связано с недостаточной выборкой. В целом по объединенной группе мальчиков и девочек выявлено достоверное различие показателей микроциркуляции на средних пальцах правой и левой кисти ($p=0,004$). Как показано на рис. 3, более высокие показатели определялись на пальцах правой кисти, что, видимо, связано с более частой встречаемостью праворукости у детей.

Колебание потоков эритроцитов в микрососудах, которую мы обозначаем как флакс, отражает важную характеристику микроциркуляции, свидетельствующую о постоянной приспособляемости тканевого кровотока к локальным, прежде всего, трофическим, потребностям, а также о его зависимости от состояния системной гемодинамики. На рис. 4 показаны данные

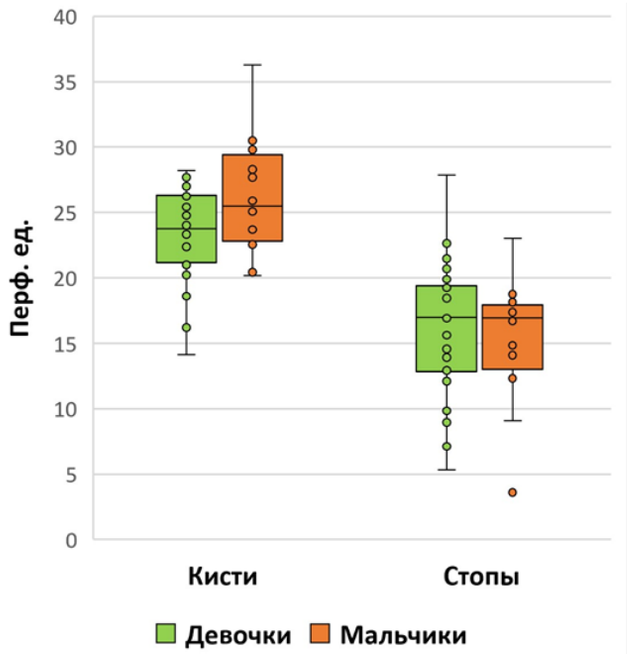

Рис. 2. Разброс показателей микроциркуляции на пальцах кисти и стопы у девочек и мальчиков

Fig. 2. Microcirculation blood flow ranges in the fingers of hands and in toes in girls and boys

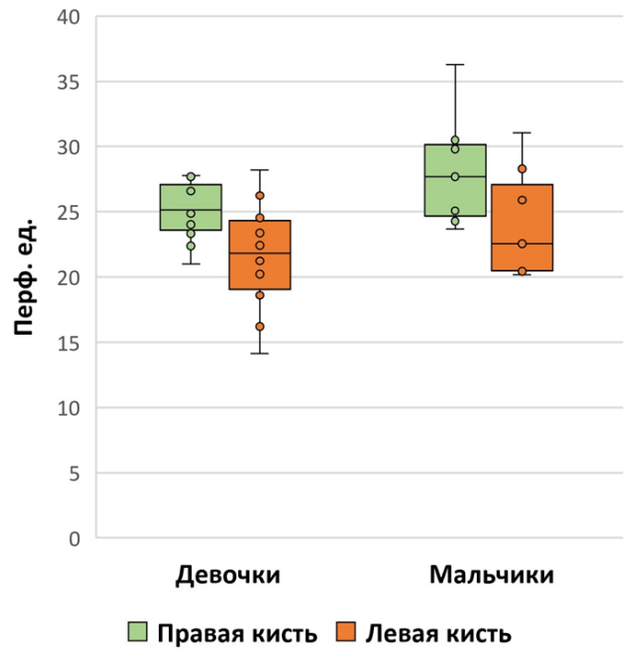

Рис. 3. Асимметрия показателя микроциркуляции на пальцах кисти у девочек и мальчиков

Fig. 3. Asymmetry of parameters of microcirculation in the fingers of hands in girls and boys

флаксметрии по уровню СКО на пальцах кистей и стоп у мальчиков и девочек. При сравнении показателей СКО на пальцах рук (М – 2,1 перф. ед.) и ног (М – 3,1 перф. ед.) между объединенными группами мальчиков и девочек выявлены достоверно более высокие показатели на нижних конечностях ($p<0,001$). По коэффициенту вариации K_v уровень флаксмоций на пальцах руки составляет 8,3 % от уровня ПМ, а на пальцах нижних конечностей – 21 %. Считается [9, 10], что более высокие значения флакса отражают лучшее функционирование вазомоторного механизма модуляции тканевого кровотока. Обнаруженные более высокие показатели флакса у детей на нижних конечностях, по всей вероятности, объясняются тем, что ЛДФ у них проводилась в положении лежа. Различия в показателях флаксметрии у девочек и мальчиков выявлены лишь на пальцах верхних конечностей ($p<0,05$), на нижних конечностях различия были недостоверны.

Разложение ЛДФ-граммы на физиологически значимые ритмические составляющие позволяет проследить, в какой мере вазомоции сосудов микроциркуляторного русла подвержены различным влияниям со стороны других механизмов, лежащих за пределами системы микроциркуляции, но также влияющих на модуляции тканевого кровотока. В таблице приведены данные средних значений амплитуд вазомоторного ритма (в диапазоне 0,1 Гц), а также три наиболее физиологически значимых биогенных ритмов в соответствующих частотных диапазонах.

Анализ данных таблицы показывает, что вазомоторный (миогенный) ритм, являющийся базовым и для флаксмоций в системе микроциркуляции, на средних пальцах кисти у девочек 6 –7 лет (М – 0,5 перф. ед.) достоверно ($p=0,03$) ниже по амплитуде, чем у мальчиков (М – 1,03 перф. ед.). Вклад

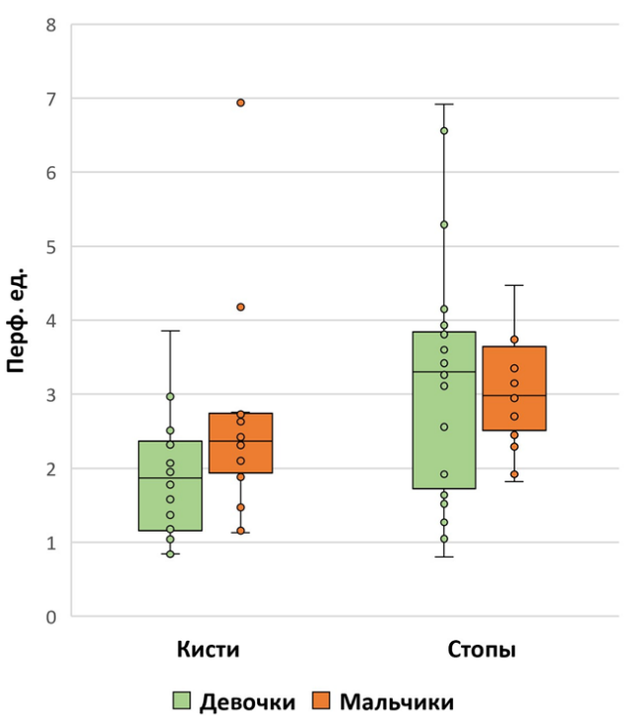

Рис. 4. Разброс показателей флаксмоций (по уровню СКО) на пальцах кисти и стопы у девочек и мальчиков

Fig. 4. Ranges of fluxmotion parameters (standard deviation) in fingers and toes in girls and boys

вазомоторного ритма в общую мощность спектра флаксмоций у мальчиков составляет 33 %, а у девочек – лишь 27 % (рис. 5). Сравнительное ослабление вазомоторного ритма у девочек компенсируется усилением вклада в частотный спектр кардиогенного и респираторного ритмов. Поэтому эффективность флаксмоций у девочек ниже (ИФМ =0,6) по сравнению с мальчиками (ИФМ=0,8). Достоверных

Показатели частотно-амплитудного спектра флаксмоций на пальцах кисти

Fluxmotions frequency-amplitude spectrum parameters in the fingers of hands

Флаксмоции	Пол	Медиана M	Q1	Q3
NF (нейрогенные)	Девочки	0,6	0,47	1,22
	Мальчики	1,21	0,78	1,54
LF (миогенные)	Девочки	0,5	0,37	1,12
	Мальчики	1,03	0,69	1,18
HF (респираторные)	Девочки	0,4	0,37	0,58
	Мальчики	0,66	0,53	1,14
CF (кардиогенные)	Девочки	0,43	0,41	0,5
	Мальчики	0,57	0,48	0,7

различий нейрогенных ритмов по амплитуде у детей 6–7 лет не выявлено (p=0,067), хотя вклад нейрогенных колебаний у девочек составил 39 %, а у мальчиков – 44 %.

На нижних конечностях вазомоторный ритм как у мальчиков, так и у девочек, примерно соответствует таковому на верхних конечностях (рис. 6), что является важным свидетельством определяющей роли этого ритма в модуляциях флаксмоций в системе микроциркуляции. Обращает на себя внимание то обстоятельство, что вклад миогенных флаксмоций в общую мощность спектра у мальчиков несколько выше, чем у девочек. Эти различия, находящиеся на грани достоверности, могут быть объяснены тем, что обследованные дети находятся в том возрастном периоде (верхняя граница полуростового скачка), когда гендерные различия проявляются наиболее отчетливо. Индекс эффективности флаксмоций, как у мальчиков (ИФМ=1,6), так и у девочек (ИФМ=1,3), оказался существенно выше на пальцах стоп, чем на пальцах кистей. Мы полагаем, что это обусловлено тем, что ЛДФ проводилась в положении лежа, когда изменяется гипостатическая нагрузка на сосуды микроциркуляторного русла на дистальных сегментах конечностей.

В связи с некоторым снижением у девочек показателей вазомоторного (миогенного) ритма, у них наблюдается неустойчивость других ритмов модуляции флаксмоций по сравнению с мальчиками. Это проявляется в усилении кардиогенного ритма на пальцах кисти и нейрогенного ритма на пальцах стопы, что в целом свидетельствует о более выраженной на данном возрастном этапе перестройке в организме девочек.

По результатам проведенного исследования, у детей 6–7 лет определены показатели состояния микроциркуляции (по уровню ПМ) в коже пальцев кистей и стоп, которые характеризуются определенной устойчивостью в исследованных выборках. Эти показатели закономерно ниже на нижних конечностях по сравнению с таковыми на верхних конечностях, независимо от гендерных различий обследованных детей. Полученные данные совпадают с результатами других исследователей, определявших состояние микроциркуляции в различных сегментах верхних и нижних конечностей [18, 19]. Более низкие значения ПМ на нижних конечностях обусловлены тем, что они находятся в иных гемодинамических условиях, по сравнению с верхними. При наиболее характерном для человека вертикальном положении у него сформировались гемодинамические механизмы, обеспечивающие функционирование сосудистого русла на нижних конечностях при более низком уровне тканевого кровотока, в том числе и микроциркуляции.

Нормативные параметры флакса, характеризующие степень колебания потоков эритроцитов в микрососудах, у детей 6–7 лет по уровню K_v в среднем составили на пальцах кисти в пределах 8,3 %, а на пальцах стоп – 21 %, при незначительных гендерных различиях. Эти данные о варьировании показателей ПМ на верхних и нижних конечностях хорошо согласуются с выраженностью вазомоторного (миогенного) ритма и эффективностью флаксмоций у детей.

Обращает на себя внимание крайне низкая асимметрия ПМ на стопах как у мальчиков, так и у девочек. С одной стороны, это свидетельствует еще о незрелости механизмов модуляции тканевого кровотока у детей 6–7 лет [9, 10, 19], а с другой – о том, что асимметрия показателей микроциркуляции в дистальных сегментах конечностей во многом может зависеть от разной физиологической нагрузки на них [20]. Известны попытки объяснить причину лево-правосторонней асимметрии показателей микроциркуляции, исходя из асимметрии хиральных характеристик сосудов симметричных органов [21], однако это требует еще дополнительных исследований для обоснования возможности применения математического аппарата теории хаоса для определения степени хаотичности флаксмоций.

Для понимания механизмов модуляции тканевого кровотока существенное значение имеют представления о природе колебательных процессов в потоках эритроцитов в микрососудах, регистрируемых при ЛДФ. Представленные нами данные свидетельствуют о том, что эффективность флаксмоций в системе микроциркуляции у обследованной возрастной группы детей определяется, прежде всего, устойчивостью и выраженностью вазомоторного (миогенного) ритма. Это еще раз подтверждает результаты основополагающих исследований B. W. Zweifach [16], а также последующих исследований в этой области [7, 15]. При торможении активных вазомоций, что наблюдается

Рис. 5. Соотношение основных ритмических составляющих флаксмоций в ЛДФ-грамме на пальцах кистей у девочек и мальчиков по их вкладу (в %) в мощность спектра

Fig. 5. Ratio of the main rhythmical types of fluxmotions in LDF-data for fingers of hands in girls and boys (percentages of the fluxmotions' contributions to the spectrum power)

Рис. 6. Соотношение основных ритмических составляющих флаксмоций в ЛДФ-грамме на пальцах стоп у девочек и мальчиков по их вкладу (в %) в мощность спектра

Fig. 6. Ratio of the main rhythmical types of fluxmotions in LDF-data for toes of feet in girls and boys (percentages of the fluxmotions' contributions to the spectrum power)

при анестезии или фармакологической блокаде, а также при любых нарушениях микроциркуляции [22–24] микрососуды как бы утрачивают свою мобильность и превращаются в пассивные проводники крови, в результате чего возрастает роль модуляции флаксмоций за счет других влияний, в частности, за счет кардиогенного, респираторного и нейрогенного ритмов, рождающихся за пределами системы микроциркуляции. В исследовании колебательных процессов в микрососудистом русле кожи человека на фоне физиологического старения организма [25] убедительно показано, что в результате системных заболеваний происходит снижение вазомоторного и нейрогенного ритмов при возрастании кардиогенного, а при легочной патологии имеет место усиление респираторных колебаний [26]. Интересные данные по сочетанному увеличению миогенных осцилляций кровотока и кардиогенных флаксмоций получены при изучении микроциркуляции при псориазе [27]; при восстановлении тканевого кровотока при облитерирующих поражениях сосудов нижних конечностей [28, 29].

Устойчивость показателей вазомоторного ритма у обследованных детей позволяет думать о том, что этот биоритм, отражающий сократительную активность гладких миоцитов в прекапиллярном звене микроциркуляторного русла, является базовой характеристикой состояния микроциркуляции как системной функции организма. Нейрогенный ритм, порождаемый в артериальных сосудах, лежащих за пределами системы микроциркуляции, достигает капиллярного звена при усилении нейрогенных влияний и может передаваться и на посткапиллярное звено, которое дает наибольший вклад в регистрируемый при ЛДФ оптический сигнал.

Ранее [9, 10, 18, 30] отмечалось, что в онтогенезе на протяжении от 7 до 20 лет у лиц как женского, так и мужского пола, наблюдается постепенное усиление нейрогенного влияния на модуляцию флаксмоций как результат совершенствования механизма регуляции сосудов микроциркуляторного уровня. Наибольшую выраженность эти процессы имеют в пубертатный период. Представленные в настоящей работе данные по модуляции флаксмоций позволяют думать, что у девочек совершенствование регуляторных механизмов начинается раньше, чем у мальчиков, а его начало приходится на конец полуростового скачка [31].

Заключение

Таким образом, проведенное исследование позволило впервые получить у детей дошкольного возраста синхронную запись ЛДФ-грамм в четырех областях тела. Определены показатели микроциркуляции в дистальных сегментах верхних и нижних конечностей у детей 6–7 лет и установлено, что базовую роль в организации флаксмоций на микроциркуляторном уровне играет вазомоторный (миогенный) ритм. Начальные проявления усиления нейрогенных модуляций флаксмоций, выявленные у девочек данного возраста, свидетельствуют о начале перестройки регуляторных механизмов, приуроченной к концу полуростового скачка.

Работа выполнена по Программе стратегического академического лидерства РУДН «Приоритет-2030» Министерства науки и высшего образования РФ; тема № 030211-0-000. / The study was performed under the Strategic Academic Leadership Program in RUDN University «Priority-2030» of the Ministry of Education and Science; theme № 030211-0-000.

Конфликт интересов / Conflict of interest

Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов. / The authors declare no conflict of interest.

Литература / References

1. Козлов В. И. Капилляроскопия в клинической практике. – М.: Практ. мед., 2015. – С. 232. [Kozlov VI. Kapillyaroskopiya v klinicheskoy praktike [Capillaroscopy in clinical practice]. Moscow, Prakticheskaya Meditsina Publ., 2015:232. (In Russ.)].

2. Покровский А. В. Значение оценки состояния микроциркуляции в клинической практике // Ангиология и сосуд. хир.: Микроциркуляция в клинической практике: Материалы Всеросс. науч. конф. – 2004. – Т. 10, № 3. – С. 3–4. [Pokrovskiy AV. Znachenie otsenki sostoyaniya mikrotsirkulatsii v klinicheskoy praktike. Angiology and vascular surgery. Mikrotsirkulatsiya v klinicheskoy praktike: meterialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. . 2004;10(3):-3–4. (In Russ.)].

3. Роль фотоплетизмографии и пальцевого давления в ранней диагностике тромбозов шунта / А. В. Покровский, Р. М. Догужиева, А. Ф. Хазаров, Л. С. Селезнева // Ангиология и сосуд. хир. – 2008. – Т. 14, № 3. – С. 133.

[Pokrovskiy AV, Doguzhieva RM, Khazarov AF, Selezneva LS. Rol' fotopletizmografii i pal'tsevogo davleniya v ranney diagnostike trombozov shunta. Angiology and vascular surgery. 2008;14(3):133. (In Russ.)].

4. Allegra C. The microvascular circulation. Minerva Cardioangiol. 2000;48(9):77.

5. Johnson PC. Overview of the microcirculation. In: Handbook of physiology Microcirculation /eds by RF. Tuma, WN. Duran, R. Ley. Amsterdam-Tokyo. 2008:XI–XXIV.

6. Pries AR, Secomb TW. Blood flow in microvascular networks. In: Handbook of physiology. Microcirculation / eds by RF. Tuma, WN. Duran, R. Ley. Amsterdam-Tokyo. 2008:3–36.

7. Гистофизиология капилляров / В. И. Козлов, Е. П. Мельман, Б. В. Шутка, Е. М. Нейко // СПб.: Наука, 1994. [Kozlov VI, Mel'man EP, Shutka BV, Neyko EM. Gistofiziologiya kapillyarov. SPb., Nauka Publ., 1994. (In Russ.)].

8. Braverman IM, Yen A, Goldminz D. Correlation of laser Doppler wave patterns with underlying microvascular anatomy // J. Invest. Dermatol. 1990;95(3):283–286.

9. Козлов В. И. Развитие системы микроциркуляции. – М.: Изд-во РУДН, 2012. [Kozlov VI. Razvitie sistemy mikrotsirkulatsii. Moscow, RUDN Publ., 2012. (In Russ.)].

10. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови / В. И. Козлов, Г. А. Азизов, О. А. Гурова, Ф. Б. Литвин. – М.: Изд-во РУДН, 2012. – С. 32. [Kozlov VI, Azizov GA, Gurova OA, Litvin FB. Lazernaya dopplerovskaya floumetriya v otsenke sostoyaniya i rasstroystv mikrotsirkulatsii krovi. Moscow, RUDN Publ., 2012:32. (In Russ.)].

11. Dremin V, Kozlov I, Volkov M, Margaryants N, Potemkin A, Zherebtsov E, Dunaev A, Gurov I. Dynamic evaluation of blood flow microcirculation by combined use of the laser Doppler flowmetry and high-speed videocapillaroscopy methods // J. Biophotonics. 2019;12(6): E201800317. Doi: 10.1002/jbio.201800317.

12. Fagrell B. Problems using laser Doppler on the skin in clinical practice. Med. Acad. Publ., 1994:49–54.

13. Bollinger A, Jager K, Junger M, Seifert H. The vascular laboratory: advances of non-invasive techniques // World J. Surg. 1988;(12):724–731.

14. Hoffman U, Yanar A, Franzeck UK, Edwards JM, Bollinger A. The frequency histogram – a new method for the evaluation of laser Doppler flux motion // Microvasc. Res. 1990;40(3):293–301. Doi: 10.1016/0026-2862(90)90028-p.

15. Intaglietta M. Capillary flowmotion and vasomotion // J. Microcirculation. 1994;14(1):3.

16. Zweifach BW. Functional behavior of the microcirculation. Springfieid, Illinois. 1961.

17. R Core Team (2016, 2019). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. Available at: https://www.R-project.org/ (accessed: 12.05.2021).

18. Литвин Ф. Б. Возрастные и индивидуально-типологические особенности микроциркуляции у мальчиков-подростков и юношей // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2006. – Т. 5, № 1.– С. 44–50. [Litvin FB. Vozrastnye i individual'no-tipologicheskie osobennosti mikrotsirkulatsii u mal'chikov-podrostkov i yunoshey // Regional blood circulation and microcirculation. 2006; 5(1):44–50. (In Russ.)].

19. Тихомирова И. А., Бабошина Н. В., Терехин С. С. Возможности метода лазерной допплеровской флуометрии в оценке возрастных особенностей функционирования системы микроциркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 80–86. [Tikhomirova IA, Baboshina NV, Terekhin SS. LDF method capabilities in the estimation of age-related features of the microcirculation system fuctioning. Regional blood circulation and microcirculation. 2018;17(3):80–86. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-3-80-86.

20. Мезенцева Л. В. Нелинейный анализ флуктуаций показателей микроциркуляции сосудов симметричных органов у человека на основании данных лазерной допплеровской флоуметрии // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – Т. 17, № 4. – С. 33–38. [Mezentseva LV. Nonlinear analysis of fluctuations of microcirculation parameters in symmetrical organs of humans by laser doppler flowmetry. Regional blood circulation and microcirculation. 2018;17(4):33–38. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-4-33-38.

21. Михайличенко Л. А., Тимкина М. И. Микрососуды защечных мешков хомячка в условиях снижения системного давления // Бюлл. эксперим. биологии и мед. – 2004. – Т. 138, № 12. – С. 617–621. [Mikhaylichenko LA, Timkina MI. Mikrososudy zashchechnykh meshkov khomyachka v usloviyakh snizheniya sistemnogo davleniya // Byulleten' eksperimental'noy biologii I meditsiny. 2004;138(12):617–621. (In Russ.)].

22. Место микроциркуляции в развитии сосудистых нарушений у детей и подростков / К. В. Жмеренецкий, О. В. Каплиева, З. В. Сиротина, Р. Ф. Езерский // Дальневосточ. мед. журн. – 2012. – Т. 2. – С. 59–62. [Zmerenetsky KV, Kaplieva OV, Sirotina ZV, Eserskii RF. The place of microcirculation in the development of vascular disorders in children and adolescents // Dal'nevostochnyy meditsinskiy zhurnal. 2012;(2):59–62. (In Russ.)].

23. Мач Э. С., Алекперов Р. Т. Нарушения микроциркуляции при системной склеродермии // Ангиология и сосуд. хир.: Микроциркуляция в клинической практике: Материалы Всерос. науч. конф. – 2004. – Т. 10, № 3. – С. 4. [Mach ES, Alekperov RT. Narusheniya mikrotsirkulatsii pri sistemnoy sklerodermii // Angiology and vascular surgery. Mikrotsirkulatsiya v klinicheskoy praktike: Materialy Vserossiyskoy nauchnoy konferentsii. 2004;10(3):4. (In Russ.)].

24. Shepro D. Introduction // Microvascular research. Elsevier Academic Press, 2006.

25. Тихонова И. В. Возрастные изменения в системе колебательных процессов в микрососудистом русле кожи человека в норме и при сосудистых патологиях // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 42–57. [Tikhonova IV. Age-dependent changes of oscillation processes of human skin microcirculation in normal and vascular pathologies // Regional blood circulation and microcirculation. 2018;17 (3):42–57. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-3-42-57.

26. Долгова Е. В., Федорович А. А., Мартынюк Т. М. и др. Состояние микроциркуляторного русла кожи у больных с легочной гипертензией на фоне врожденных пороков сердца // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – Т. 17, № 3 – С. 65–70. [Dolgova EV, Fedorovich AA, Martynyuk TM, Rogoza AN, Chazova IE. The state of the microcirculation of the skin in patients with pulmonary hypertension due to congenital heart defects // Regional blood circulation and microcirculation. 2018;17(3):65–70. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-3-65-70.

27. Потапова Е. В., Филина М. А., Козлов И. О. и др. Особенности локальной микроциркуляции крови у пациентов с псориазом // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – Т. 17, № 3. – С. 58–64. [Potapova EV, Filina MA, Kozlov IO, Zharkikh EV, Dremin VV, Malaya NS, Snimshchikova IA, Dunaev AV, Sidorov VV, Krupatkin AI. Peculiarities of local blood microcirculation in patients with the psoriasis // Regional blood circulation and microcirculation. 2018;17(3):58–64. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-3-58-64.

28. Азизов Г. А. Особенности микроциркуляции при хронической венозной недостаточности нижних конечностей // II Всерос. науч. конф. по клин. гемостазиологии и гемореологии в сердечно-сосуд. хир. М., 2005. – С. 3. [Azizov GA. Osobennosti mikrotsirkulatsii pri khronicheskoy venoznoy nedostatochnosti nizhnikh konechnostey. II Vserossiyskaya nauchnaya konferentsiya po klinicheskoy gemostasiologii I gemoreologii v serdechno-sosudistoy khirurgii. Moscow, 2005:3. (In Russ.)].

29. Стрельцова Н. Н., Васильев А. П., Бессонов И. С., Колунин Г. В. Изменение микроциркуляторной картины у больных перемежающейся хромотой после эндоваскулярного восстановления магистрального кровотока конечности // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2018. – Т. 17, № 2. – С. 42–48. [Streltsova NN, Vasilyev AP, Bessonov IS, Kolunin GV. The microcirculatory changes in patients with intermittent claudication after endovascular restoration of main blood flow to the extremity. Regional blood circulation and microcirculation. 2018;17(2):42–48. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2018-17-2-42-48.

30. Станишевская Т. И. Особенности микроциркуляции крови у девушек-студенток с разными конституциональными типами // Запорож. мед. журн. – 2005. –Т. 4. – С. 56–58. [Stanishevskaya TI. Osobennosti mikrotsirkulatsii krovi u devushek-studentok s raznymi konstitutsionnymi tipami // Zaporozhskiy meditsinskiy zhurnal. 2005;(4):56–58. (In Russ.)].

31. Сонькин В. Д., Корниенко И. А., Козлов А. И. и др. Основные закономерности роста и физического развития //Физиология развития ребенка: рук. по возрастной физиологии / под ред. М. М. Безруких, Д. А. Фарбер. – М.: Изд-во МПСИ; Воронеж: Изд-во НПО «МОДЭК», 2010:43–122. [Sonkin VD, Kornienko IA, Kozlov AI. et al. Osnovnyye zakonomernosti rosta i fizicheskogo razvitiya // Fiziologiya razvitiya rebenka: Rukovodstvo po vozrastnoy fiziologii / eds by MM. Bezrukikh, DA. Farber. Mosocw, Publishing house of the Ministry of State Social Communications; Voronezh: Publishing house NPO «MODEK», 2010:43–122. (In Russ.)].

Информация об авторах

Козлов Валентин Иванович – д-р мед. наук, профессор, зав. кафедрой анатомии человека, Медицинский институт РУДН, Москва, Россия; главный научный сотрудник ГНЦ ЛМ им. О. К. Скобелкина ФМБА России, Москва, Россия, e-mail: kozlov-vi@rudn.ru.

Сахаров Владимир Николаевич – ассистент кафедры анатомии человека, Медицинский институт РУДН, Москва, Россия, e-mail: sakharov-vn@rudn.ru.

Гурова Ольга Александровна – канд. биол. наук, доцент кафедры анатомии человека, Медицинский институт РУДН, Москва, Россия, e-mail: gurova-oa@rudn.ru.

Сидоров Виктор Васильевич – генеральный директор ООО НПП «ЛАЗМА», Москва, Россия, e-mail: lazma@plusnet.ru.

Authors information

Kozlov Valentin I. – Dr. of Sci. (Med.), Professor, Head of the Department of Human Anatomy, Institute of Medicine, RUDN University, Moscow, Russia; Chief scientific researcher, Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine, FMBA of Russia, Moscow, Russia, e-mail: kozlov-vi@rudn.ru.

Sakharov Vladimir N. – assistant of the Department of Human Anatomy, Institute of Medicine, RUDN University, Moscow, Russia, e-mail: sakharov-vn@rudn.ru.

Gurova Olga A. – Cand. of Sci. (Biol.), Associate Professor of the Department of Human Anatomy, Institute of Medicine, RUDN University, Moscow, Russia, e-mail: gurova-oa@rudn.ru.

Sidorov Viktor V. – CEO SPE «LAZMA», Moscow, Russia, e-mail: lazma@plusnet.ru.