

С. А. ЕРМОЛАЕВА¹, Ю. И. ЛОКТИОНОВА²,
Е. Г. ДУБАСОВА¹, А. В. ДУНАЕВ², А. В. ФРОЛОВ¹

Исследование изменений кожной микроциркуляции крови при выполнении инверсионной позы йоги с помощью распределенной системы портативных анализаторов

¹ Общество с ограниченной ответственностью «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Санкт-Петербург, Россия

191186, Россия, Санкт-Петербург, Невский пр., д. 30а

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования

«Орловский государственный университет имени И. С. Тургенева», г. Орел, Россия

302026, Россия, г. Орел, ул. Комсомольская, д. 95

E-mail: esagi@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 18.03.24 г.; принята к печати 12.07.24 г.

Резюме

Введение. Целью данного исследования является оценка изменений микроциркуляции крови в коже области лба, щек и нижних конечностей в процессе выполнения инверсионной позы йоги с использованием портативных анализаторов лазерной доплеровской флоуметрии у здоровых добровольцев. **Материалы и методы.** В исследовании приняли участие 25 волонтеров, средний возраст которых составил 37 [35–44] лет. Изменения микроциркуляции крови оценивались методом лазерной доплеровской флоуметрии с помощью 6 приборов «ЛАЗМА ПФ». Устройства попарно фиксировались на лбу в области бассейна надглазничных артерий, области щек и на первых пальцах стоп симметрично справа и слева. Трехэтапный протокол исследования включал в себя положение покоя лежа на спине перед инверсионной позой (6 мин), инверсионную позу (3 мин) и положение покоя лежа на спине после инверсионной позы (6 мин). Для каждой исследуемой зоны оценивали показатель микроциркуляции (ПМ), нутритивный кровоток ($M_{\text{нутр}}$), амплитуды эндотелиальных (A_3), нейрогенных (A_n), миогенных (A_m), дыхательных (A_d) и сердечных (A_c) осцилляций. **Результаты.** В области лба при переходе из положения лежа в инверсионную позу наблюдается увеличение ПМ на 21,7 %, при возвращении в положение лежа ПМ снижается, но остается значимо выше, чем в исходном положении лежа. $M_{\text{нутр}}$ в области лба остается стабильным. A_3 , A_n , A_m и A_c до и после инверсионной позы остаются без значимых изменений, для A_d отмечено статистически значимое изменение при сохранении медианных значений. В области щек при переходе из положения лежа в инверсионную позу наблюдается увеличение ПМ на 35,6 %, а при возвращении в положение лежа ПМ продолжает расти, при этом $M_{\text{нутр}}$ имеет тенденцию к увеличению. Наблюдается значимое увеличение A_d (на 50 %) и A_c (на 42,9 %), а также тенденция на увеличение A_3 , A_n , A_m . В области стоп ПМ уменьшается на 55,6 %, но после возвращения в горизонтальное положение, по сравнению с исходным, повышается на 27,4 %, а $M_{\text{нутр}}$ возрастает на 42,9 %. Наблюдается статистически значимое увеличение A_3 (на 28,6 %), A_m (на 40 %), A_d (на 50 %) и A_c (на 50 %). **Заключение.** Инверсионное положение тела существенно влияет на микроциркуляцию крови во всех исследуемых областях. Показатель микроциркуляции значимо увеличивается после выполнения инверсионной позы как в коже лба, так и щек, однако амплитуды дыхательных и сердечных осцилляций тканевой перфузии увеличиваются только в коже щек, не изменяясь значимо или со сдвигом медианы в коже лба, что подтверждает особенности регуляции микрокровотока в области бассейна надглазничных артерий. В коже пальцев ног после выполнения инверсионного положения значимо возрастают показатель микроциркуляции и нутритивный кровоток, а также амплитуды эндотелиальных, миогенных, дыхательных и сердечных осцилляций тканевой перфузии. Можно сделать предположение, что инверсионные позы йоги могут быть полезны в клинической практике в реабилитации лиц с нарушением кровообращения нижних конечностей.

Ключевые слова: микроциркуляция крови; йога; инверсионная поза; лазерная доплеровская флоуметрия; портативные анализаторы

Для цитирования: Ермолаева С. А., Локтионова Ю. И., Дубасова Е. Г., Дунаев А. В., Фролов А. В. Исследование изменений кожной микроциркуляции крови при выполнении инверсионной позы йоги с помощью распределенной системы портативных анализаторов. Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2024; 23(4): 67–77. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-67-77.

SARGYLANA A. ERMOLAEVA¹, YULIA I. LOKTIONOVA²,
EKATERINA G. DUBASOVA¹, ANDREY V. DUNAEV²,
ARTEM V. FROLOV¹

Assessment of cutaneous blood microcirculation changes while performing hatha yoga inverted pose using a distributed system of wearable analyzers

¹ Saint Petersburg Institute of Oriental Methods of Rehabilitation, Saint Petersburg, Russia

30a, Nevsky pr., Saint Petersburg, Russia, 191186

² Turgenev Orel State University, Orel, Russia

95, Komsomolskaya str., Orel, Russia, 302026

E-mail: esagi@yandex.ru

Received 18.03.24; accepted 12.07.24

Summary

Introduction. This study aimed to assess blood microcirculation changes in the skin of the forehead, cheeks and lower extremities before, during and after performing a yoga inverted pose, using wearable laser Doppler flowmetry analyzers in healthy volunteers. **Materials and methods.** The study involved 25 volunteers, with an average age of 37 [35–44] years. Blood microcirculation changes were evaluated by laser Doppler flowmetry using six LAZMA PF wireless wearable devices, placed in pairs on the supraorbital artery regions of the forehead, cheeks and on the first toes of the feet, symmetrically on the right and left. A three-phase study protocol included a supine position before the inverted pose (6 minutes), the inverted pose (3 minutes), and a supine position after the inverted pose (6 minutes). Measurements included the index of microcirculation (Im), nutritive blood flow (Imn), the amplitude of endothelial (Ae), neurogenic (An), myogenic (Am), respiratory (Ar) and cardiac (Ac) oscillations for each investigated area. **Results.** Transitioning from the supine position to the inverted pose increases the forehead Im by 21.7 %; when returning to the supine position, Im decreases but remains significantly above the baseline. Imn in the forehead area remains stable. Ae, An, Am and Ac before and after the inversion show no significant changes. Ar shows a statistically significant change while maintaining the median values. In the cheek area, when transitioning from the supine position to the inverted pose, there is a 35.6 % increase in Im, and upon returning to the supine position, Im continues to rise while Imn tends to increase. There is a significant increase in Ar (by 50 %) and Ac (by 42.9 %), as well as a tendency to increase Ae, An, Am. Im in the feet area decreases by 55.6 %, but after returning to the horizontal position, compared to the initial state, it increases by 27.4 % and Imn increases by 42.9 %. There is a statistically significant increase in Ae (by 28.6 %), Am (by 40 %), Ar (by 50 %) and Ac (by 50 %). **Conclusion.** Findings revealed significant impacts of the inversion position on the blood microcirculation in all investigated areas. The index of microcirculation significantly increases after performing the inverted pose both in the skin of the forehead and cheeks. However, the respiratory and cardiac oscillation amplitudes increases only in the skin of the cheeks, without changing significantly or with a median shift in the forehead skin, which confirms the peculiarities of microcirculatory regulation in the supraorbital artery area. In the toe skin after performing the inverted position, the index of microcirculation and nutritive blood flow, as well as the amplitudes of myogenic, respiratory and cardiac oscillations of tissue perfusion increase significantly. We can assume that inverted yoga poses may be beneficial in clinical practice for rehabilitating individuals with lower extremity circulatory disorders.

Keywords: blood microcirculation, yoga, inverted pose, laser Doppler flowmetry, wearable devices

For citation: Ermolaeva S. A., Loktionova Yu. I., Dubasova E. G., Dunaev A. V., Frolov A. V. Assessment of cutaneous blood microcirculation changes while performing hatha yoga inverted pose using a distributed system of wearable analyzers. *Regional hemodynamics and microcirculation.* 2024;23(4):67–77. Doi: 10.24884/1682-6655-2024-23-4-67-77.

Введение

Йога представляет собой древнюю систему психофизиологического саморазвития, включающую в себя широкий арсенал гимнастических, дыхательных и когнитивных упражнений. В настоящее время физиологические эффекты практики йоги представляют собой объект активного научного изучения: количество публикаций в базе данных Pubmed, посвященных вегетативным и кардиопульмональным эффектам йоги, ее влиянию на качество жизни при различной патологии, за последние 10 лет выросло в 20 раз (достигнув в 2023 году количества более 850 научных работ). В том числе изучалось влияние дыхательных упражнений йоги на регионарную микроциркуляцию крови, а именно – продемонстрировано значимое влияние дыхательных упражнений на

показатель микроциркуляции, nutritивный кровоток, эндотелиальный и нейрогенный механизмы регуляции кожного микрокровоотока, а также показаны значимые регионарные различия [1, 2].

В йоге широко применяются инверсионные позы – положения тела, в которых ноги находятся выше уровня головы. Подобные упражнения также используются в медицинской практике и в физической реабилитации. Известно, что подъем ног или наклон туловища вниз приводят к увеличению венозного возврата [3–5]. Возвышенное положение ног является эффективным способом для снижения отеков и рутинно используется после хирургических операций и травм нижних конечностей [6–8]. Помимо вышеупомянутых существуют потенциально полезные, но малоизученные варианты терапевтиче-

ского применения инверсионных поз. Инверсионная терапия может облегчать симптомы дегенеративно-дистрофических заболеваний межпозвоночных дисков поясничного отдела позвоночника и существенно снижать необходимость в хирургическом вмешательстве [9, 10]. Однако, по мнению некоторых исследователей, данная терапия может быть связана с определенными рисками для здоровья из-за изменений гемодинамики в области головы [11, 12]. Между тем, существуют данные о том, что инверсионные позы йоги влияют на гемодинамику, уменьшая частоту сердечных сокращений и снижая артериальное давление [13]. Инверсионные позы являются важной составляющей практики йоги, которая в наши дни широко распространена во всем мире [14]. Еще раз отметим, что йога как метод физической реабилитации имеет доказанную эффективность при заболеваниях сердечно-сосудистой и дыхательной систем, оказывает положительное влияние на психическое здоровье и улучшает функцию опорно-двигательного аппарата [15–18]. Тем не менее в отношении влияния инверсионных поз йоги на показатели гемодинамики все еще наблюдается недостаток научных данных.

Развитие современных технологий дает возможность неинвазивной диагностики и мониторинга различных функций организма. Кожа человека является наиболее доступным органом и может быть использована в качестве репрезентативной модели всей системы микроциркуляции крови человека [19, 20]. За последние десятилетия лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) стала широко используемым методом оценки микроциркуляторных процессов [21, 22]. Портативные анализаторы, реализующие ЛДФ, позволяют регистрировать перфузию крови одновременно в нескольких анатомических участках тела [23, 24]. В данной работе отдельный интерес представляет микроциркуляция крови в коже лба, так как эта область снабжается надглазничной артерией (НГА), которая является ветвью внутренней сонной артерии (ВСА). ВСА проходит через надглазничное отверстие, обеспечивает кровоснабжение мышцы, поднимающей верхнее веко, и питание кожи лба [25]. Несколько современных научных работ основаны на предположении, что флуктуации микроциркуляции крови, наблюдаемые в бассейне НГА, в определенной степени соответствуют процессам, происходящим в бассейне ВСА [1, 26, 27].

В исследовании [28] оценивалось изменение параметров микроциркуляции крови в инвертированном положении тела с использованием портативных устройств ЛДФ на различных частях тела, включая кожу лба. Авторы использовали положение Тренделенбурга (-15°) на инверсионном столе. Согласно полученным данным, по сравнению с вертикальным положением, в инвертированном положении наблюдалось увеличение показателя микроциркуляции в конечностях, но не в области лба. В результате авторы сделали предположение о высоком потенциале механизмов ауторегуляции кровотока в области головы.

Таким образом, целью данного исследования является оценка изменений кожной микроциркуляции крови в области головы и нижних конечностей

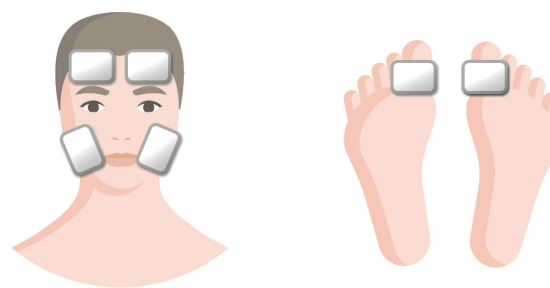


Рис. 1. Схема расположения анализаторов ЛДФ

Fig. 1. Arrangement of LDF analyzers

в процессе выполнения инверсионной позы йоги у здоровых добровольцев с помощью распределенной системы портативных анализаторов ЛДФ.

Материалы и методы исследования

В исследовании приняло участие 25 здоровых женщин-добровольцев, средний возраст которых составил 37 [35–44] лет, индекс массы тела 20,1 [19,0–21,7] кг/м². Волонтеры отобраны из числа студентов образовательных программ профессиональной переподготовки Санкт-Петербургского института восточных методов реабилитации. Все участницы обладали навыками выполнения инверсионных поз йоги. Экспериментальное исследование одобрено Этическим комитетом Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет» № 02-251 (ПК № 115-03-13 от 21 июня 2023 г.) в соответствии с принципами Хельсинкской Декларации. Все добровольцы перед началом исследования подписали информированное согласие.

Для регистрации кожной микроциркуляции крови использовалась распределенная система из шести портативных лазерных анализаторов микроциркуляции крови «ЛАЗМА ПФ» (ООО «НПП „ЛАЗМА“», Москва). Метод ЛДФ основан на анализе лазерного излучения, отраженного от движущихся эритроцитов в ткани [28]. Два анализатора симметрично закреплялись на лбу в области надглазничных артерий, два – в области щек, где кровоснабжение обеспечивается из бассейна других сосудов (ветвей наружной сонной артерии) [29], а третья пара приборов размещалась на подошвенной поверхности первых пальцев стопы (рис. 1). Анализаторы ЛДФ фиксировались на пальцах ног стандартными креплениями, на лбу – с использованием трубчатого бинта № 5, на щеках – с помощью медицинского эластичного бинта шириной 8 см, натянутого от теменной области до подбородка. Чтобы не допустить чрезмерного давления на кожу, натяжение бинта регулировалось увеличением или уменьшением расстояния, на котором фиксировались крепления.

Исследования проводились в лаборатории с поддерживаемым микроклиматом (температура воздуха $+23^\circ\text{C}$, влажность 40–60 %). Встроенные датчики температуры непрерывно регистрировали температуру кожи в каждой из исследуемых зон на протяжении всего процесса регистрации данных.

Для исследования влияния инверсионной позы йоги на микроциркуляцию крови разработан 3-этапный протокол исследования (таблица).

Протокол исследования

Research protocol

| Этап исследования | Описание | Длительность, мин |
|-------------------|---|-------------------|
| 1 | Регистрация данных в положении покоя, лежа на спине | 6 |
| 2 | Регистрация данных во время выполнения инверсионной позы йоги | 3 |
| 3 | Регистрация данных в положении покоя, лежа на спине | 6 |
| Итого | | 15 |



Рис. 2. Инверсионная поза йоги

Fig. 2. Inverted yoga pose

Положение покоя лежа на спине представляло собой удобную позу на гимнастическом коврике. Руки располагались по бокам от туловища, ладонями вверх. Стопы естественным образом опускались в стороны. При выполнении инверсионной позы йоги таз располагался на валике высотой 30 см, ноги поднимались вверх, затылок и лопатки оставались на коврике, руки вытягивались в стороны и сгибались в локтях (рис. 2). Переход из одного положения в другое выполняется волонтером самостоятельно.

Во время каждого из трех этапов для каждой исследуемой зоны регистрировался показатель микроциркуляции (ПМ), измеряемый в перфузионных (относительных) единицах (пф. ед.). ПМ пропорционален количеству эритроцитов в единице объема ткани и их средней скорости. Типовые примеры регистрируемого во времени показателя микроциркуляции представлены на рис. 3.

Метод ЛДФ позволяет проводить оценку механизмов регуляции микроциркуляции крови, таких как эндотелиальный ($A_э$), нейрогенный ($A_н$), миогенный ($A_м$), дыхательный ($A_д$) и сердечный ($A_с$) [22]. Частота осцилляций эндотелиального диапазона – от 0,005 Гц до 0,02 Гц, нейрогенного – 0,02–0,046 Гц, общего миогенного – 0,047–0,145 Гц, холинергиче-

ского – 0,16–0,18 Гц, дыхательного – 0,2–0,4 Гц и сердечного – 0,8–1,6 Гц [30, 31]. Также проводился расчет нутритивного кровотока ($M_{н\text{утр}}$), который характеризует движение крови через капилляры, где происходят метаболические процессы [21]. Для областей без артериоло-венулярных анастомозов (АВА), а именно кожи лба и щек, $M_{н\text{утр}}$ рассчитывался по формуле:

$$M_{н\text{утр}} = \text{ПМ}/\text{ПШ}, \quad (1)$$

где $M_{н\text{утр}}$ – нутритивный кровоток, ПМ – среднее значение показателя микроциркуляции, ПШ – показатель шунтирования.

Подошвенная кожа стоп содержит АВА, в связи с чем для расчета нутритивного кровотока используется следующая формула:

$$M_{н\text{утр}} = \text{ПМ}/(1+\text{ПШ}), \quad (2)$$

где $M_{н\text{утр}}$ – нутритивный кровоток, ПМ – среднее значение показателя микроциркуляции, ПШ – показатель шунтирования.

Показатель шунтирования (ПШ) отражает относительные доли шунтового нутритивного кровотока и рассчитывается по формуле [32]:

$$\text{ПШ} = \text{ПШ1} + \text{ПШ2}, \quad (3)$$

где ПШ1 – показатель шунтирования, связанный с различиями тонуса и/или скоростей перфузии в микрососудах нутритивных и нутритивных путей кровотока непосредственно в пределах микроциркуляторного русла, ПШ2 – показатель шунтирования, связанный с различиями перфузии микрососудов и более крупных сосудистых сегментов (артерий, венул и вен) в случаях артериальной гиперемии или венозного застоя.

Расчет ПШ1 для зон с АВА проводился по формуле:

$$\text{ПШ1} = A_н/A_м, \quad (4)$$

где ПШ1 – показатель шунтирования, связанный с различиями тонуса и/или скоростей перфузии в микрососудах нутритивных и нутритивных путей кровотока непосредственно в пределах микроциркуляторного русла, $A_н$ – амплитуда осцилляций нейрогенного симпатического диапазона частот, $A_м$ – амплитуда колебаний миогенного механизма регуляции.

Для зон без АВА формула ПШ1 имеет следующий вид:

$$\text{ПШ1} = A_{\text{макс}}/A_м, \quad (5)$$

где ПШ1 – показатель шунтирования, связанный с различиями тонуса и/или скоростей перфузии в микрососудах нутритивных и нутритивных путей кровотока непосредственно в пределах микроциркуляторного русла, $A_{\text{макс}}$ – максимальная усредненная амплитуда осцилляций, доминирующая по величине среди всех активных тонус-формирующих диапазо-

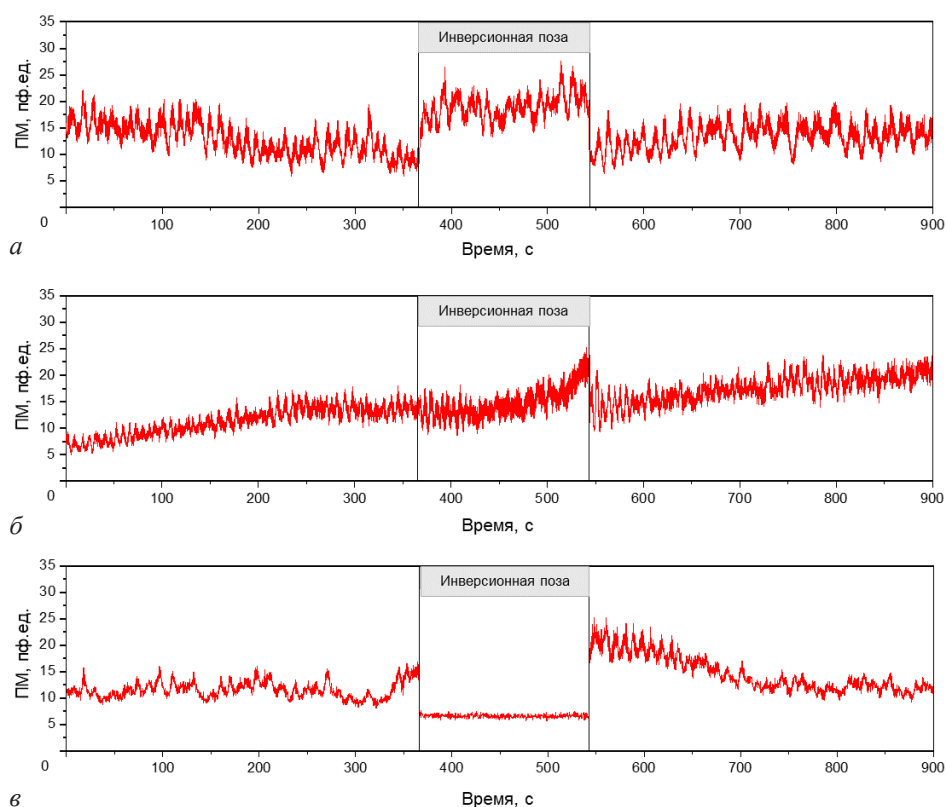


Рис. 3. Репрезентативные ЛДФ-граммы исследования, полученные на лбу в области надглазничной артерии (а), области щеки (б) и подошвенной поверхности первого пальца стопы (в)

Fig. 3. Representative LDF-grams of the study obtained on the forehead in the supraorbital artery area (a), cheek area (b), and plantar surface of the first toe (c)

нов частот 0,005–0,145 Гц, A_M – амплитуда колебаний миогенного механизма регуляции.

ПШ2 учитывается только если его значение превышает единицу, расчет при этом происходит вне зависимости от наличия АВА по следующей формуле:

$$\text{ПШ2} = A_{c(d)} / A_M, \quad (6)$$

где ПШ2 – показатель шунтирования, связанный с различиями перфузии микрососудов и более крупных сосудистых сегментов (артерий, венул и вен) в случаях артериальной гиперемии или венозного застоя, $A_{c(d)}$ – доминирующая амплитуда осцилляций среди колебаний дыхательного и сердечного ритмов, A_M – амплитуда колебаний миогенного механизма регуляции.

Ввиду ограниченного размера выборки для определения статистической значимости различий при сравнении трех и более зависимых выборок использовался парный тест Вилкоксона. Данные представлены с использованием медианного значения (Me), а также нижнего и верхнего квартилей ([Q1–Q3]).

Результаты исследования и их обсуждение

Микроциркуляция крови в области лба. На рис. 4 представлены усредненные между правой и левой сторонами измерения данные показателя микроциркуляции (рис. 4, а) и нутритивного кровотока (рис. 4, б) для области лба.

При переходе из исходного положения лежа в инверсионную позу в области лба выявлено статистически значимое увеличение показателя микроциркуляции (12,9 [10,1–17,7] пф. ед. vs 15,7 [11,6 –

22,5] пф. ед.). При возвращении в положение лежа (13,4 [11,3–21,5] пф. ед.) тканевая перфузия значительно снижается, однако в положении лежа после инверсионной позы по сравнению с этапом до инверсионной позы наблюдалось статистически значимое увеличение показателя микроциркуляции. Данная динамика свидетельствует об увеличении интенсивности кровотока в коже лба во время выполнения инверсионной позы.

При сравнении этапов «до» и «после» выполнения инверсионной позы, в области лба статистически значимых изменений нутритивного кровотока не наблюдалось (5,8 [3,1–8,0] пф. ед. до и 5,5 [4,0–7,8] пф. ед. на этапе после инверсионной позы), что говорит о стабильном уровне капиллярной составляющей кровотока на фоне общего увеличения тканевой перфузии.

Значения амплитуд эндотелиальных, нейрогенных, миогенных и сердечных осцилляций тканевой перфузии до ($A_s = 0,4$ [0,3–0,6] пф. ед.; $A_n = 0,5$ [0,4–0,6] пф. ед.; $A_M = 0,6$ [0,5–0,7] пф. ед.; $A_c = 1,1$ [0,8–1,2] пф. ед.) и после ($A_s = 0,4$ [0,2–0,6] пф. ед.; $A_n = 0,5$ [0,3–0,7] пф. ед.; $A_M = 0,5$ [0,5–0,6] пф. ед.; $A_c = 1,0$ [0,8–1,1] пф. ед.) выполнения теста не имеют статистически значимых различий. Однако для амплитуд колебаний дыхательного генеза отмечено статистически значимое изменение, подтвержденное парным тестом Вилкоксона ($p \leq 0,05$), при сохранении медианных значений ($A_d = 0,25$ [0,19–0,31] пф. ед. – до инверсионной позы, $A_d = 0,25$ [0,21–0,33] пф. ед. – после нее). Данный результат свидетельствует

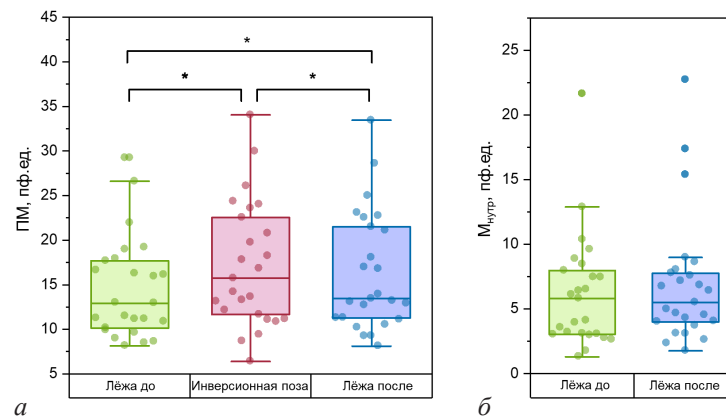


Рис. 4. Изменения показателя микроциркуляции (а) и нутритивного кровотока (б) в области лба. * – статистически значимая разница подтверждена парным тестом Вилкоксона, $p \leq 0,05$

Fig. 4. Changes in the Index of microcirculation (a) and nutritive blood flow (b) in the forehead area. * – statistically significant difference confirmed by the paired Wilcoxon test, $p \leq 0.05$

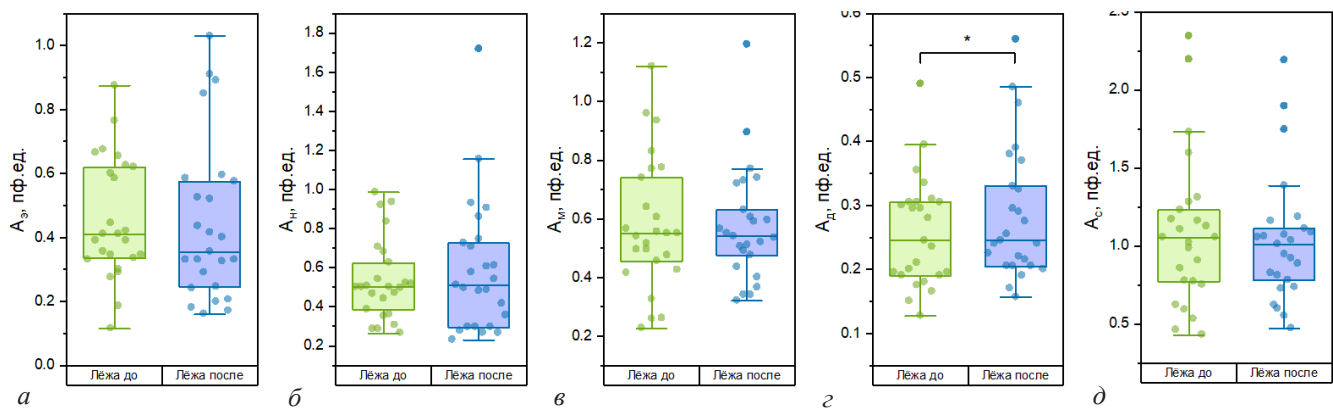


Рис. 5. Амплитуды эндотелиальных (а), нейрогенных (б), миогенных (в), дыхательных (г) и сердечных (д) осцилляций тканевой перфузии до и после перевернутой позы йоги в области лба. * – статистически значимая разница подтверждена парным тестом Вилкоксона, $p \leq 0,05$

Fig. 5. Amplitudes of endothelial (a), neurogenic (b), myogenic (c), respiratory (d), and cardiac (e) oscillations of tissue perfusion in the forehead area before and after the inverted yoga pose. * – statistically significant difference confirmed by the paired Wilcoxon test, $p \leq 0.05$

об индивидуальной реакции организма на перевернутую асану. Можно предположить, что такое поддержание микрососудистого тонуса на одном уровне вне зависимости от положения ног относительно головы испытуемых свидетельствует о работе механизмов поддержания гомеостатического постоянства данных зон исследования.

Микроциркуляция крови в области щек. На рис. 6 представлены усредненные между правой и левой сторонами измерения данные показателя микроциркуляции (рис. 6, а) и нутритивного кровотока (рис. 6, б) для щечной области на уровне углов рта.

При переходе из исходного положения лежа в инверсионную позу в области щек наблюдалось статистически значимое увеличение показателя микроциркуляции (10,1 [8,3–13,7] пф. ед. vs 13,7 [11,0–16,6] пф. ед.). При возвращении в положение лежа (14,2 [12,0–18,3] пф. ед.) изменение показателя микроциркуляции также является статистически значимым. Также стоит отметить, что при возвращении в положение лежа после инверсионной позы интенсивность кровотока в области щек значительно выше базового уровня, что свидетельствует о сохранении притока крови к данной области.

Нутритивный кровоток при возвращении в положение лежа после инверсионной позы (4,9 [3,7–8,0] пф. ед.) имеет лишь тенденцию к увеличению, по сравнению с первым этапом (4,4 [2,8–6,0] пф. ед.).

В щечной области исследования после выполнения инверсионной позы йоги наблюдается значительное увеличение амплитуд дыхательных (0,3 [0,2–0,3] пф. ед.) и сердечных (1,0 [0,7–1,2] пф. ед.) осцилляций по сравнению с фоновой регистрацией параметров тканевой перфузии (0,2 [0,1–0,2] пф. ед. и 0,7 [0,5–0,8] пф. ед. соответственно). Отдельно стоит отметить, что приток артериальной крови в микрососудистое русло (увеличение амплитуд сердечных колебаний) на этапе после выполнения инверсионной позы наблюдается в щечной области исследования, как и тенденции на увеличение амплитуд активных механизмов регуляции (эндотелиального, нейрогенного, миогенного), но в кожных покровах лба реакция механизмов регуляции кровотока на инверсионную позу отсутствует, что подтверждает предположения о различной регуляции микроциркуляторного русла в коже лица.

Микроциркуляция крови в области стоп. На рис. 8 представлены усредненные между правой и левой

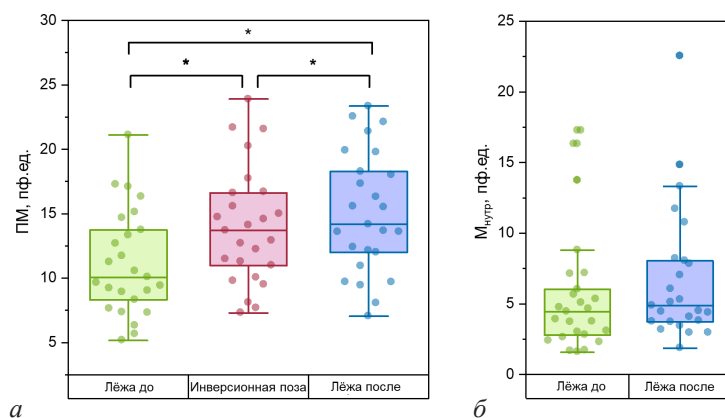


Рис. 6. Изменения показателя микроциркуляции (а) и нутритивного кровотока (б) в области щек. * – статистически значимая разница подтверждена парным тестом Вилкоксона, $p \leq 0,05$

Fig. 6. Changes in the index of microcirculation (a) and nutritive blood flow (б) in the cheeks area. * – statistically significant difference confirmed by the paired Wilcoxon test, $p \leq 0,05$

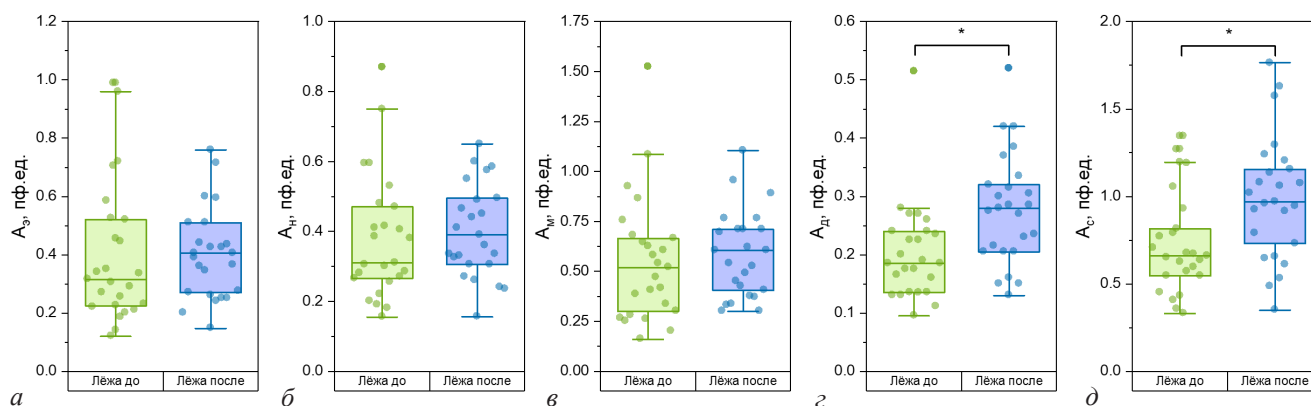


Рис. 7. Амплитуды эндотелиальных (а), нейрогенных (б), миогенных (в), дыхательных (г) и сердечных (д) осцилляций тканевой перфузии до и после перевернутой позы йоги в области щек. * – статистически значимая разница подтверждена парным тестом Вилкоксона, $p \leq 0,05$

Fig. 7. Amplitudes of endothelial (a), neurogenic (б), myogenic (в), respiratory (г) and cardiac (д) oscillations of tissue perfusion in the cheeks area before and after the inverted yoga pose. * – statistically significant difference confirmed by the paired Wilcoxon test, $p \leq 0,05$

сторонами измерения данные показателя микроциркуляции (рис. 8, а) и нутритивного кровотока (рис. 8, б) для области стоп.

В области стоп наблюдается статистически значимое снижение показателя микроциркуляции во время выполнения инверсионной позы по сравнению с фоновой регистрацией параметров микроциркуляторного русла (11,3 [8,5–13,8] пф. ед. vs 5,0 [4,6–5,8] пф. ед.). Подобная реакция тканевой перфузии свидетельствует об оттоке крови из исследуемой области. После возвращения ног в горизонтальное положение на уровне тела статистически значимо повышается показатель микроциркуляции (14,4 [10,3–17,8] пф. ед.) до наиболее высоких значений по сравнению с первым и третьим этапами исследования.

Нутритивный кровоток также значительно увеличивается на этапе после выполнения инверсионной позы по сравнению с этапом до нее (2,8 [1,8–3,7] пф. ед. vs 4,0 [2,4–5,2] пф. ед.).

Статистически значимое увеличение амплитуд эндотелиальных (0,9 [0,6–1,2] пф. ед.), миогенных (0,7 [0,4–1,0] пф. ед.), дыхательных (0,3 [0,2–0,3] пф. ед.) и сердечных (1,2 [0,8–1,5] пф. ед.) осцилляций на

третьем этапе исследования по сравнению с первым этапом (0,7 [0,4–1,0] пф. ед., 0,5 [0,4–0,9] пф. ед., 0,2 [0,2–0,3] пф. ед., 0,8 [0,7–1,3] пф. ед. соответственно) свидетельствует о дилатации микрососудов и снижении их тонуса.

Таким образом, снижение сосудистого тонуса, рост нутритивного кровотока и показателя микроциркуляции при возвращении волонтеров в горизонтальное положение тела после инверсионной позы йоги свидетельствует о происходящей гиперкомпенсации оттока крови на втором этапе исследования.

Данные о микроциркуляции крови в области лба представляют отдельный интерес, поскольку изменения кровообращения в области НГА могут коррелировать с изменениями мозгового кровообращения [1, 26, 27]. По сравнению с исходным положением лежа на спине при выполнении инверсионной позы йоги в области лба наблюдалось увеличение показателя микроциркуляции (изменение медианного значения составило 2,8 пф. ед., или 21,7 %). Обращает на себя внимание увеличение межквартильного размаха. У отдельных лиц выявляется снижение показателя микроциркуляции, что указывает на высокую адаптивную изменчивость интенсивности кровотока

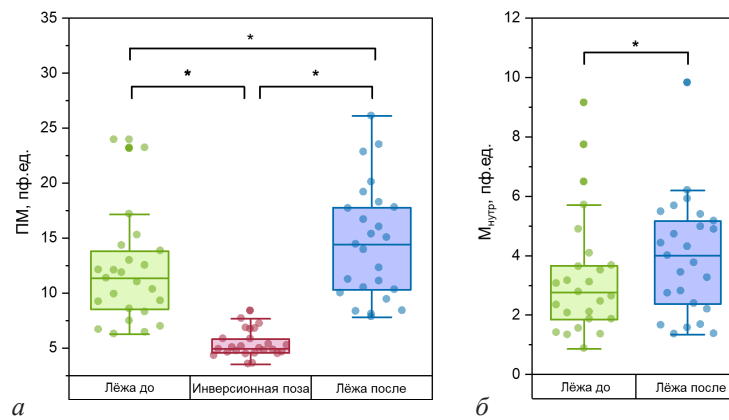


Рис. 8. Изменения показателя микроциркуляции (а) и нутритивного кровотока (б) в области стоп. * – статистически значимая разница подтверждена парным тестом Вилкоксона, $p \leq 0,05$

Fig. 8. Changes in the Index of microcirculation (a) and nutritive blood flow (b) in the feet area. * – statistically significant difference confirmed by the paired Wilcoxon test, $p \leq 0.05$

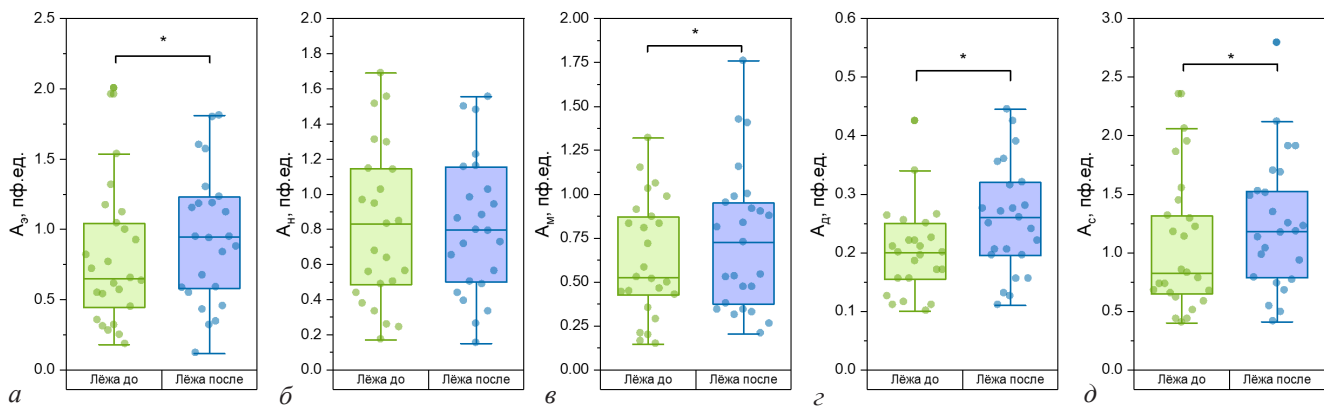


Рис. 9. Амплитуды эндотелиальных (а), нейрогенных (б), миогенных (в), дыхательных (г) и сердечных (д) осцилляций тканевой перфузии до и после перевернутой позы йоги в области стоп. * – статистически значимая разница подтверждена парным тестом Вилкоксона, $p \leq 0,05$

Fig. 9. Amplitudes of endothelial (a), neurogenic (b), myogenic (c), respiratory (d), and cardiac (e) oscillations of tissue perfusion in the feet area before and after the inverted yoga pose. * – statistically significant difference confirmed by the paired Wilcoxon test, $p \leq 0.05$

у разных волонтеров. Нутритивный кровоток при выполнении инверсионной позы, как и амплитуды осцилляций микрокровотока (кроме дыхательных), остается неизменным. Таким образом, полученные результаты отчасти совпадают с данными авторов [28], которые в результате исследования изменений микроциркуляции крови в положении Тренделенбурга пришли к выводу, что микрокровоток кожи лба обладает высокими способностями к ауторегуляции. При возвращении в положение лежа, по сравнению с инверсионной позой, показатели микроциркуляции оставались без значимых изменений, но по сравнению с исходным состоянием параметры в области лба увеличились.

В области щек при выполнении инверсионной позы также наблюдалось увеличение показателя микроциркуляции. При возвращении в положение лежа, по сравнению с инверсионной позой, показатель микроциркуляции значительно возрос по сравнению с исходным состоянием.

При сравнении динамики механизмов регуляции микрокровотока до и после выполнения инверсионной позы отмечается отсутствие значимой реакции в коже лба и в то же время – значимый рост ампли-

туд дыхательных и сердечных осцилляций тканевой перфузии в коже щек на уровне углов рта. Данные различия могут свидетельствовать о том, что бассейн НГА, в отличие от других участков кожи лица, действительно имеет свои особенности регуляции. Нельзя исключать также влияния и морфологических различий микроциркуляторного русла кожи лба и щек, включая сосудистые бассейны, однако в литературе имеются лишь ограниченные данные об этом.

В стопах во время выполнения инверсионной позы произошло значимое снижение показателя микроциркуляции и нутритивного кровотока. При возвращении из инверсионной позы в положение лежа оба параметра существенно возросли и оказались выше, чем в исходном состоянии. При этом, по сравнению с другими зонами в стопах, медианные значения нутритивного кровотока в абсолютных значениях претерпели наибольшие изменения – 1,2 пф. ед. (43%). Таким образом, эффект инверсионной позы остается и после ее выполнения. Можно сделать предположение, что инверсионные позы йоги могут быть полезны в клинической практике в реабилитации лиц с нарушением кровообращения нижних конечностей, например при сахарном диабете. Известно, что у лиц

с этим заболеванием на ранних стадиях выявляются микроциркуляторные нарушения [33, 34].

При выполнении инверсионной позы отмечаются изменения в микрогемодинамике, схожие с теми, которые происходят при других вариациях постральной пробы [35, 36]. Так, выполнение инверсионной позы может привести к значительным гемодинамическим изменениям, включая усиление венозного оттока из нижней половины тела и перераспределение объемов крови из нижней в верхнюю часть тела [37]. Такая динамика параметров микрокровотока, в том числе снижение активности работы механизмов регуляции микроциркуляции крови и уменьшение объема циркулирующей крови в нижних конечностях за счет усиления венозного оттока и снижения притока артериальной крови, характерна для организма в условиях микрогравитации (невесомости) во время космического полета [38].

Заключение

Таким образом, инверсионное положение тела существенно влияет на микроциркуляцию крови во всех исследуемых областях – коже лба (бассейнов НГА), щек и подошвенной поверхности больших пальцев ног. Показатель микроциркуляции значительно увеличивается после выполнения инверсионной позы, как в коже лба, так и щек. Также в коже лба и щек отмечаются статистически значимые изменения в амплитуде дыхательных осцилляций, однако в коже лба не наблюдается сдвига медианного значения, что может свидетельствовать об индивидуальной реакции организма на перевернутую асану. Амплитуда сердечных осцилляций тканевой перфузии увеличивается только в коже щек, существенно не изменяясь в коже лба, что подтверждает особенности регуляции микрокровотока в бассейне НГА. В коже пальцев ног после выполнения инверсионного положения значительно возрастают показатель микроциркуляции и нутритивный кровоток, а также амплитуды эндотелиальных, миогенных, дыхательных и сердечных осцилляций тканевой перфузии.

Для уточнения механизмов регуляции микрокровотока и интерпретации наблюдаемых эффектов при выполнении инверсионных поз йоги необходимы дальнейшие исследования с участием большей группы волонтеров разного пола.

Благодарности / Acknowledgements

Авторы выражают глубокую благодарность всем волонтерам, принявшим участие в настоящем исследовании. / The authors are deeply grateful to all the volunteers involved in this study.

Конфликт интересов / Conflict of interest

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

Литература / References

1. Фролов А.В., Локтионова Ю.И., Жарких Е.В. и др. Исследование изменений кожной микроциркуляции крови при выполнении дыхательной техники хатха-йоги // Ре-

гионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2021. – Т. 20, № 4. – С. 33–44. [Frolov AV, Loktionova YuI, Zharkikh EV, Sidorov VV, Krupatkin AI, Dunaev AV. Investigation of changes in the skin blood microcirculation when performing the hatha yoga breathing technique. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2021;20(4):33-44. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2021-20-4-33-44.

2. Фролов А.В., Локтионова Ю.И., Жарких Е.В. и др. Реакция микроциркуляции крови в коже различных участков тела при выполнении дыхательных упражнений йоги // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2023. – Т. 22, №1. – С. 72–84. [Frolov AV, Loktionova YuI, Zharkikh EV, Sidorov VV, Tankanag AV, Dunaev AV. The reaction of blood microcirculation in the skin of various parts of the body after performing yoga breathing exercises. *Regional blood circulation and microcirculation*. 2023;22(1):72-84. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2023-22-1-72-84.

3. Caille V, Jabot J, Belliard G, Charron C, Jardin F, Vieillard-Baron A. Hemodynamic effects of passive leg raising: an echocardiographic study in patients with shock. *Intensive Care Med*. 2008;34(7):1239-1245. Doi: 10.1007/s00134-008-1067-y.

4. Boulain T, Achard JM, Teboul JL, Richard C, Perrotin D, Ginies G. Changes in BP induced by passive leg raising predict response to fluid loading in critically ill patients. *Chest*. 2002;121(4):1245-1252. Doi: 10.1378/chest.121.4.1245.

5. Lim TW, Kim HJ, Lee JM, Kim JH, Hong DM, Jeon Y, Roh YJ, Lim YJ, Bahk JH. The head-down tilt position decreases vasopressor requirement during hypotension following induction of anaesthesia in patients undergoing elective coronary artery bypass graft and valvular heart surgeries. *Eur J Anaesthesiol*. 2011;28(1):45-50. Doi: 10.1097/EJA.0b013e3283408a0f.

6. Rucinkski TJ, Hooker DN, Prentice WE, Shields EW, Cote-Murray DJ. The effects of intermittent compression on edema in postacute ankle sprains. *J Orthop Sports Phys Ther*. 1991;14(2):65-69. Doi: 10.2519/jospt.1991.14.2.65.

7. Tsang KK, Hertel J, Denegar CR. Volume decreases after elevation and intermittent compression of postacute ankle sprains are negated by gravity-dependent positioning. *J Athl Train*. 2003;38(4):320-324.

8. Li B, Wang G, Wang Y, Bai L. Effect of two limb positions on venous hemodynamics and hidden blood loss following total knee arthroplasty. *J Knee Surg*. 2017;30(1):70-74. Doi: 10.1055/s-0036-1579787.

9. Mendelow AD, Gregson BA, Mitchell P, Schofield I, Prasad M, Wynne-Jones G, Kamat A, Patterson M, Rowell L, Hargreaves G. Lumbar disc disease: the effect of inversion on clinical symptoms and a comparison of the rate of surgery after inversion therapy with the rate of surgery in neurosurgery controls. *J Phys Ther Sci*. 2021;33(11):801-808. Doi: 10.1589/jpts.33.801.

10. Prasad KS, Gregson BA, Hargreaves G, Byrnes T, Winburn P, Mendelow AD. Inversion therapy in patients with pure single level lumbar discogenic disease: a pilot randomized trial. *Disabil Rehabil*. 2012;34(17):1473-1480. Doi: 10.3109/09638288.2011.647231.

11. Kassay A, Soliman MAR, Jhawar BS. Recommendations for inversion table therapy. *Disabil Rehabil*. 2023;45(22):3779-3782. Doi: 10.1080/09638288.2022.2133174.

12. Kondrashova T, Makar M, Proctor C, Bridgmon KA, Pazdernik V. Dynamic assessment of cerebral blood flow and intracranial pressure during inversion table tilt using ultrasonography. *J Neurol Sci*. 2019;404:150-156. Doi: 10.1016/j.jns.2019.07.033.

13. Salomi S, Kiranmayi P, Pentakota V, Vijayalakshmi P. Impact of Sarvangasana and Uttanpadasana on Hemodynamic

parameters. *Research J Pharm Tech.* 2022;15(7):3029-3033. Doi: 10.52711/0974-360X.2022.00506.

14. Andre L. 47 Compelling Yoga Statistics: 2021 Data on Industry Growth & Effects on Health. URL: <https://financesonline.com/yoga-statistics/> (accessed: 22.07.2024).

15. Jeter PE, Slutsky J, Singh N, Khalsa SB. Yoga as a therapeutic intervention: a bibliometric analysis of published research studies from 1967 to 2013. *J Altern Complement Med.* 2015;21(10):586-592. Doi: 10.1089/acm.2015.0057.

16. Innes KE, Selfe TK. Yoga for adults with type 2 diabetes: a systematic review of controlled trials. *J Diabetes Res.* 2016;2016:6979370. Doi: 10.1155/2016/6979370.

17. Dutta A, Moovenhan A, Nivethitha L. Yoga as adjunct therapy for chronic heart failure: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Avicenna J Med.* 2023;13(3):151-162. Doi: 10.1055/s-0043-1774738.

18. de Orleans Casagrande P, Coimbra DR, de Souza LC, Andrade A. Effects of yoga on depressive symptoms, anxiety, sleep quality, and mood in patients with rheumatic diseases: Systematic review and meta-analysis. *PMR.* 2023;15(7):899-915. Doi: 10.1002/pmrj.12867.

19. Rossi M, Carpi A, Galetta F, Franzoni F, Santoro G. The investigation of skin blood flow motion: a new approach to study the microcirculatory impairment in vascular diseases? *Biomed Pharmacother.* 2006;60(8):437-442. Doi: 10.1016/j.biopha.2006.07.012.

20. Stewart J, Kohen A, Brouder D, Rahim F, Adler S, Garrick R, Goligorsky MS. Noninvasive interrogation of microvasculature for signs of endothelial dysfunction in patients with chronic renal failure. *Am J Physiol Heart Circ Physiol.* 2004;287(6):H2687-H2696. Doi: 10.1152/ajpheart.00287.2004.

21. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей. – М.: Либроком, 2013. – 496 с. [Krupatkin AI, Sidorov VV. *Funktsional'naya diagnostika sostoyaniya mikrotsirkulyatorno-tkanevykh sistem: kolebaniya, informatsiya, nelineynost'*: guide for doctors. – М.: Librokom, 2013. – 496 с.

22. Дунаев А.В. Мультимодальная оптическая диагностика микроциркуляторно-тканевых систем организма человека. – Старый Оскол: ТНТ, 2022. – 440 с. [Dunaev AV. *Multimodal optical diagnostics of microcirculatory-tissue systems of the human body.* Staryy Oskol, TNT, 2022:440. (In Russ.)].

23. Zharebtsov EA, Zharkikh EV, Loktionova YI, Zharebtsova AA, Sidorov VV, Rafailov EU, Dunaev AV. Wireless Dynamic Light Scattering Sensors Detect Microvascular Changes Associated With Ageing and Diabetes. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2023;70(11):3073-3081. Doi: 10.1109/TBME.2023.3275654.

24. Dunaev A. Wearable Devices for Multimodal Optical Diagnostics of Microcirculatory-Tissue Systems: Application Experience in the Clinic and Space. *J Biomed Photonics Eng.* 2023;9(2):1-10.

25. Bird B, Stawicki SP. *Anatomy, Head and neck, ophthalmic arteries.* URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK482317/> (accessed: 22.07.2024).

26. Анисимова А.В., Крупаткин А.И., Сидоров В.В. и др. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния микроциркуляции у пациентов с острой и хронической цереброваскулярной недостаточностью // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2014. – Т. 13, № 3. – С. 31–37. [Anisimova AV, Krupatkin AI, Sidorov VV, Zakharkina MV, Yutskova EV, Galkin SS. *Laser Doppler flowmetry in the assessment of the microcirculation in patients with acute and chronic cerebrovascular insufficiency.* *Regional blood circulation and microcirculation.* 2014;13(3):31-37. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2014-13-3-31-37.

27. Goltsov A, Anisimova AV, Zakharkina M, Krupatkin AI, Sidorov VV, Sokolovski SG, Rafailov E. Bifurcation in blood oscillatory rhythms for patients with ischemic stroke: a small scale clinical trial using laser doppler flowmetry and computational modeling of vasomotion. *Front Physiol.* 2017;(8):160. Doi: 10.3389/fphys.2017.00160.

28. Fedorovich AA, Loktionova YI, Zharkikh EV, Mikhailova MA, Popova JA, Suvorov AV, Zharebtsov EA. Body position affects capillary blood flow regulation measured with wearable blood flow sensors. *Diagnostics (Basel).* 2021;11(3):436. Doi: 10.3390/diagnostics11030436.

29. Meegalla N, Sood G, Nessel TA, Downs B. *Anatomy, Head and neck: Facial Arteries.* URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK536932/> (accessed: 15.07.2024).

30. Крупаткин А.И. Колебания кровотока - новый диагностический язык в исследовании микроциркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2014. – Т. 13, № 1. – С. 83–99. [Krupatkin AI. *Blood flow oscillations – new diagnostic language in microvascular research.* *Regional blood circulation and microcirculation.* 2014;13(1):83-99. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2014-13-1-83-99.

31. Федорович А.А. Микрососудистое русло кожи человека как объект исследования // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2017. – Т. 16, № 4. – С. 11–26. [Fedorovich AA. *Microcirculation of the human skin as an object of research.* *Regional blood circulation and microcirculation.* 2017;16(4):11-26. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2017-16-4-11-26.

32. Крупаткин А.И. Клиническая нейроангиофизиология конечностей (периваскулярная иннервация и нервная трофика). – М.: Научный мир, 2003. – 328 С. [Krupatkin AI. *Clinical neuroangiophysiology of the extremities (perivascular innervation and nervous trophism).* Moscow, Nauchnyy Mir, 2003:328. (In Russ.)].

33. Жарких Е.В., Дунаев А.В. Распределенная система портативных анализаторов для диагностики расстройств периферического кровотока при сахарном диабете 2 типа // Мед. техника. – 2024. – № 1(343). – С. 1–4. [Zharkikh EV, Dunaev AV. *A distributed system of wearable analyzers for the diagnosis of peripheral blood flow disorders in type 2 diabetes mellitus.* *Biomed Eng.* 2024;(1(343)):1-4. (In Russ.)].

34. Hu HF, Hsiu H, Sung CJ, Lee CH. Combining laser-Doppler flowmetry measurements with spectral analysis to study different microcirculatory effects in human prediabetic and diabetic subjects. *Lasers Med Sci.* 2017;32(2):327-334. Doi: 10.1007/s10103-016-2117-2.

35. Ладозжская-Гапеенко Е.Е., Храпов К.Н. Возможности лазерной доплеровской флоуметрии с использованием ортостатической пробы в оценке функционального состояния микроциркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2020. – Т. 19, № 3. – С. 39–45. [Ladozhskaya-Gapeenko EE, Khrapov KN. *Possibilities of Laser-Doppler Flowmetry in assessment of functional state of microcirculation.* *Regional blood circulation and microcirculation.* 2020;19(3):39-45. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2020-19-3-39-45.

36. Скрипаль А.В., Фаркад А., Машков К.В. и др. Лазерная флоуметрия микроциркуляции крови пальца руки в зависимости от внешней температуры и положения конечности // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2023. – Т. 22, № 4. – С. 35–41. [Skrupal AV, Farkad A, Mashkov KV, Usanov AD, Averyanov AP. *Laser flowmetry of microcirculation of the finger depending on the external temperature and the limb position.* *Regional blood circulation and microcirculation.* 2023;22(4):35-41. (In Russ.)]. Doi: 10.24884/1682-6655-2023-22-4-35-41.

37. Lee B-B, Nicolaidis A, Myers K, Meissner M, Kalodiki E, Allegra C, Antignani P, Bækgaard N, Beach K, Belcaro G, Black S, Blomgren L, Bouskela E, Cappelli M, Caprini J, Carpentier P, Cavezzi A, Chastanet S, Christenson J, Ezpeleta S. Venous hemodynamic changes in lower limb venous disease: The UIP consensus according to scientific evidence. *Int Angiol*. 2016;35(3):236-352.

38. Дунаев А.В., Локтионова Ю.И., Жарких Е.В. и др. Исследование микроциркуляции крови в условиях невесомости с помощью портативных лазерных доплеровских флоуметров // *Авиакосмическая и экологическая мед.* – 2024. – Т. 58, № 1. – С. 47–54. [Dunaev AV, Loktionova YI, Zharkikh EV, Fedorovich AA, Sidorov VV, Vasin AV, Dubinin VI. Investigation of blood microcirculation in microgravity with the use of portable laser doppler flowmeters. *Aviakosmicheskaya i Ekologicheskaya Meditsina*. 2024;58(1):47-54. (In Russ.)]. Doi: 10.21687/0233-528X-2024-58-1-47-54.

Информация об авторах

Ермолаева Саргылана Александровна – научный сотрудник, ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: esagi@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4754-9255.

Локтионова Юлия Игоревна – аспирант, стажер-исследователь, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия, e-mail: julya-loktionova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6628-1285.

Дубасова Екатерина Григорьевна – научный сотрудник, ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов ре-

абилитации», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: i@kdubasova.ru, ORCID: 0009-0006-7641-9491.

Дунаев Андрей Валерьевич – д-р техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, Орловский государственный университет им. И. С. Тургенева, г. Орел, Россия, e-mail: inohvat@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4431-6288.

Фролов Артем Владимирович – врач функциональной диагностики, ректор ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Санкт-Петербург, Россия, e-mail: polyclinic@list.ru, ORCID: 0000-0001-8774-6996.

Authors information

Ermolaeva Sargylana A. – Researcher, ООО St. Petersburg Institute of Oriental Methods of Rehabilitation, Saint Petersburg, Russia, e-mail: esagi@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4754-9255.

Loktionova Yulia I. – Postgraduate Student, Trainee Researcher, Turgenev Orel state University, Orel, Russia, e-mail: julya-loktionova@mail.ru, ORCID: 0000-0002-6628-1285.

Dubasova Ekaterina G. – Researcher, ООО St. Petersburg Institute of Oriental Methods of Rehabilitation, Saint Petersburg, Russia, e-mail: i@kdubasova.ru, ORCID: 0009-0006-7641-9491.

Dunaev Andrey V. – Doctor of Technical Sciences (Dr. habil.), Associate Professor, Leading Researcher, Turgenev Orel State University, Orel, Russia, e-mail: inohvat@yandex.ru, ORCID: 0000-0003-4431-6288.

Frolov Artem V. – Doctor of Functional Diagnostics, Rector, ООО St. Petersburg Institute of Oriental Methods of Rehabilitation, Saint Petersburg, Russia, e-mail: polyclinic@list.ru, ORCID: 0000-0001-8774-6996.