

Влияние дыхательного упражнения йоги «уддияна» на показатели кровотока в краевом синусе

А.В. Фролов^{1,*}, С.А. Ермолаева¹, М.Д. Дидур²

¹ ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Санкт-Петербург, Россия

² ФБГУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева Российской академии наук», Санкт-Петербург, Россия

РЕЗЮМЕ

Цель: изучение влияния дыхательного упражнения йоги «уддияна бандха» (УБ) на параметры кровотока в краевом синусе (КС).

Материалы и методы: В исследовании приняли участие 16 человек, у которых в положении сидя оценивался кровоток в КС на фоне свободного дыхания, во время произвольного экспираторного апноэ (ПЭА) продолжительностью 5 секунд и во время выполнения УБ (продолжительностью 5 секунд). Выполнялась регистрация максимальной скорости кровотока (V_{max}), усредненной по времени максимальной скорости V_{mean} и индекса фазности (ИФ).

Результаты: V_{max} после ПЭА (2-й этап) в течение 5 секунд не показала значимых различий по сравнению со свободным дыханием (1-й этап); в течение 5 секунд выполнения УБ (3-й этап) была значимо выше исходного (1-й этап), $p < 0,001$, а также выше ПЭА после глубокого выдоха (2-й этап), $p < 0,001$. V_{mean} после ПЭА (2-й этап) в течение 5 секунд была без значимых различий по сравнению со свободным дыханием (1-й этап). В течение 5 секунд выполнения УБ (3-й этап) V_{mean} была выше исходного (1-й этап), $p < 0,001$, а также выше ПЭА (2-й этап), $p < 0,009$. На фоне свободного дыхания (1-й этап) и ПЭА (2-й этап) значения ИФ были без значимых различий по сравнению с УБ (3-й этап).

Выводы: Дыхательное упражнение УБ увеличивает максимальную линейную скорость кровотока V_{max} и усредненную по времени максимальную скорость кровотока V_{mean} в КС, что может указывать на активизацию церебрального венозного оттока во время выполнения упражнения. УБ не оказывает значимого влияния на показатели фазности кровотока в КС.

Ключевые слова: венозный отток, краевой синус, йога, дыхательные упражнения, дуплексное сканирование

Конфликт интересов: авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: авторы выражают глубокую благодарность профессору, д.м.н. В.П. Куликову и заведующей отделением гематологии СЗГМУ Е.С. Павлюченко за неоценимую помощь в проведении этой работы, а также всем волонтерам, принявшим участие в настоящем исследовании.

Для цитирования: Фролов А.В., Ермолаева С.А., Дидур М.Д. Влияние дыхательного упражнения йоги «уддияна» на показатели кровотока в краевом синусе. *Спортивная медицина: наука и практика*. 2024;14(1):41–49. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.4>

Поступила в редакцию: 23.04.2024

Принята к публикации: 17.07.2024

Online first: 07.08.2024

Опубликована: 26.08.2024

* Автор, ответственный за переписку

Influence of the yoga breathing exercise “uddiyana” on blood flow in the marginal sinus

Artem V. Frolov^{1*}, Sargylana A. Ermolaeva¹, Michael D. Didur²

¹ St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, St. Petersburg, Russia

² Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

Purpose: Studying the effect of the Uddiyana Bandha (UB) yoga breathing exercise on blood flow in the marginal sinus (MS).

Materials and methods: The study involved 16 people in whom blood flow in the MS was assessed against the background of free breathing, during voluntary expiratory apnea (VEA) — 5 seconds, and during UB — 5 seconds. The maximum blood flow velocity (V_{max}), the time-averaged maximum velocity V_{mean} , and the index phase character (IP) were recorded.

Results: When recording V_{max} during VEA (stage 2) for 5 seconds, it did not show significant differences compared to free breathing (stage 1); within 5 seconds of execution, the UB (stage 3) was significantly higher than the baseline (stage 1), $p < 0.001$, and also higher than the VEA (stage 2), $p < 0.001$. V_{mean} PEA (stage 2) for 5 seconds was without significant differences compared to free breathing (stage 1). During 5 seconds of UB execution (stage 3), V_{mean} was higher than the baseline (stage 1), $p < 0.001$, and also higher than VEA (stage 2), $p < 0.009$. Against the background of free breathing (stage 1) and PEA (stage 2), the values of IP and were without significant differences compared to UB (stage 3).

Conclusions: The UB breathing exercise increases the maximum linear blood flow velocity V_{max} and the time-averaged maximum blood flow velocity V_{mean} in the MS, which may indicate activation of cerebral venous outflow during the exercise.

Keywords: venous outflow, marginal sinus, yoga, breathing exercises, duplex sonography

Acknowledgements: the authors express their deep gratitude to professor, D.Sc. (Medicine) V.P. Kulikov and chief of the Hematology Department of the North-Western State Medical University E.S. Pavlyuchenko for their invaluable assistance in carrying out this work, as well as to all the volunteers who took part in this study.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Frolov A.V., Ermolaeva S.A., Didur M.D. Influence of the yoga breathing exercise “uddiyana” on blood flow in the marginal sinus. *Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice)*. 2024;14(1):41–49. (In Russ.). <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2024.1.4>

Received: 23 April 2024

Accepted: 17 July 2024

Online first: 07 August 2024

Published: 26 August 2024

*Corresponding author

1. Введение

Уддияна бандха (далее — уддияна) — дыхательное упражнение йоги, выполняемое путем произвольного экспираторного апноэ (ПЭА) после полного выдоха. Относится к динамическим дыхательным упражнениям, обычно выполняемым стоя или сидя, и представляет собой скоординированное с дыханием глубокое втягивание расслабленных мышц брюшного пресса и всей абдоминальной области дорсально и краниально (назад и вверх под ребра) за счет сокращения наружных межреберных мышц при сомкнутой голосовой щели (рис. 1). Начиная с первой половины XX века сотрудниками института «Кайвальядхам» (Лонавль, Индия) осуществлен ряд исследовательских работ, оценивающих изменения давления в полостях тела и подтверждающих развитие отрицательного давления во время выполнения уддияны и аналогичных динамических дыхательных упражнений [1–6]. В работах Bhole и соавт. развитие отрицательного давления при выполнении уддияны было одновременно зарегистрировано в пищеводе, желудке, толстой кишке [7].

Одним из основных механизмов венозного возврата является присасывающее действие грудной клетки

на вдохе. Во время вдоха увеличивается внутренний объем грудной клетки и происходит снижение центрального венозного давления, приводящее к увеличению градиента между дистальными отделами венозного русла и устьями верхней и нижней полых вен. В результате происходит усиление возврата венозной крови к сердцу, уменьшение перегрузки объемом венозного русла. Увеличение венозного кровотока на вдохе особенно выражено в верхней полой вене [8].

Можно предполагать, что выполнение динамического дыхательного упражнения «уддияна», сопровождающееся формированием отрицательного давления в полости грудной клетки, оказывает на процессы венозного оттока действие, аналогичное вдоху, и улучшает процессы венозного возврата (в том числе церебрального); данный тезис может лечь в основу дальнейшей разработки методик респираторной реабилитации при нарушениях венозного оттока, а также способствовать лучшему пониманию взаимосвязей дыхания и венозной циркуляции.

Результаты исследований с применением функциональной магнитно-резонансной томографии показывают, что режим дыхания влияет на скоростные параметры кровотока во внутренних яремных венах и верхнем



Рис. 1. Выполнение упражнения «уддияна»
Fig. 1. Performing the “uddiyana” exercise

сагиттальном синусе головного мозга. Поскольку эффективный венозный дренаж имеет основополагающее значение для здоровья мозга в условиях нормы и патологии [9, 24], исследователи могут использовать эти данные для изучения влияния дыхательных упражнений на клинические показатели и венозный отток.

В исследовании Stolz и соавт. с участием здоровых добровольцев во внутричерепных венах и синусах отмечался слабопульсирующий кровоток с максимальной систолической скоростью кровотока до 20 см/с. Достоверных побочных различий скорости кровотока в парных венозных структурах выявлено не было. Прямой синус, поперечный синус и ростральную часть верхнего сагиттального синуса можно было обнаружить в 55–70% случаев. Частота обнаружения зависели от возраста — она снижалась по мере его увеличения. В результате авторы делают вывод о том, что транскраниальная доплерография позволяет надежно визуализировать значительную часть церебральной венозной системы [10]. Глубокое дыхание связывает взаимозависимый венозный и мозговой поток жидкости, что, скорее всего, опосредовано изменениями внутригрудного и внутрибрюшного давления [11].

Важнейшую роль в процессах церебрального венозного оттока играют синусы твердой мозговой оболочки. На данный момент подробно описана методика ультразвукового сканирования основных венозных синусов — прямого, поперечного, нижнего каменистого и сфенопариетального [12, 13], установлены нормальные значения показателей кровотока [14, 15].

Ультразвуковая идентификация краевых синусов (КС), обрамляющих полукольцом большое затылочное

отверстие, в меньшей степени отражена в специальной литературе [17]. Морфологические исследования в сочетании с магнитно-резонансной флебографией продемонстрировали, что правый и левый КС в 70% случаев не формируют циркулярный синус — наиболее вероятно, вследствие ненаполненности, так как в целом их наличие было зафиксировано в 83,3% случаев. Особенностью КС является дренаж крови преимущественно в вертебральную венозную систему, а не в югулярную [18].

Сонографические показатели кровотока в КС изучены и продемонстрированы отечественными исследователями [17]. Частота визуализации КС составила от 20% (у здоровых участников контрольной группы) до почти 55% у пациентов с черепно-мозговой травмой (ЧМТ), которым исследование проводилось из трансоксипитального доступа в положении лежа на животе. Средние показатели максимальной линейной скорости кровотока V_{max} составили 16 см/сек (контрольная группа здоровых) и 18 см/сек (группа пациентов с ЧМТ).

На сегодня отсутствуют исследования, изучающие влияние уддияны (и других дыхательных упражнений йоги) на церебральный венозный отток. Предлагаемая методика выполнения дыхательного упражнения потенциально может рассматриваться как элемент респираторной реабилитационной методики, направленно воздействующей на параметры церебральной венозной циркуляции. Исследование может дать важную информацию о влиянии дыхательных упражнений йоги на венозное кровообращение мозга и улучшить понимание взаимосвязей процессов дыхания и венозного возврата,

что может быть востребовано широким кругом специалистов в области реабилитации, физиологии и функциональной диагностики.

2. Материалы и методы

В исследовании изначально приняли участие 20 человек, считающих себя здоровыми, не курящих и не принимающих никаких фармакологических препаратов на постоянной основе. Из них кровотоков в краевом синусе определялся у 16 участников, которые и составили группу исследования. Средний возраст участников составил $42,1 \pm 5,4$ (95% ДИ 39,3–45,0) года. Участники имели опыт регулярной практики дыхательных упражнений йоги не менее 2 лет, в том числе опыт выполнения упражнения «уддияна».

Каждый из них был обследован в соответствии со стандартным протоколом исследования брахиоцефальных сосудов для исключения патологии, аномалий развития и венозной дисциркуляции. Наличие признаков венозной дисциркуляции [19] расценивалось как критерий исключения.

Регистрация кровотока методом дуплексного сканирования проводилась с использованием ультразвукового

сканера VIVID-T8 производства компании General Electric (США). Регистрация кровотока в краевом синусе выполнялась из трансокципитального доступа секторным фазированным датчиком 2–4 МГц.

Положение обследуемого: сидя на кушетке, ноги опущены (рис. 2).

Регистрация кровотока проводилась на фоне свободного дыхания (контроль 1), ПЭА после глубокого выдоха (в течение 5 секунд выполнения) (контроль 2), при выполнении испытуемым дыхательной техники йоги «уддияна» (в течение 5 секунд выполнения).

Последовательность из трех описанных выше этапов проводилась трехкратно, после чего рассчитывались средние данные по каждому из этапов.

Этап 2 (ПЭА после глубокого выдоха) был использован для разделения влияний гемодинамических эффектов упражнения «уддияна» и возможных гиперкапнических эффектов задержки дыхания, так как ранее было показано, что гиперкапния вызывает увеличение линейной скорости венозного кровотока [20].

Оценивалась максимальная линейная скорость кровотока V_{\max} (см/сек), усредненная по времени максимальная скорость кровотока V_{mean} (пример зарегистрированного спектра на рис. 3), а также индекс фазности (ИФ), рассчитываемый по формуле:

$$\text{ИФ} = (V_{\max} - V_{\min}) / V_{\max},$$

где V_{\max} — максимальная скорость; V_{\min} — минимальная скорость венозного кровотока на анализируемом участке спектра.

Описание методов статистического анализа

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.0.7 («Статтех», Россия). Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро — Уилка. Для сравнения трех и более связанных групп по нормально распределенному количественному признаку применялся однофакторный дисперсионный анализ с повторными измерениями. Статистическая значимость изменений показателя в динамике оценивалась с помощью следа Пиллая (Pillai's Trace). Апостериорный анализ проводился с помощью парного t -критерия Стьюдента с поправкой Холма.

Соблюдение этических норм

Исследование одобрено Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета в области исследований с привлечением людей (№ 02–254 от 04.10.2023 г.).

3. Результаты

Динамика изменения V_{\max}

Максимальная линейная скорость кровотока V_{\max} , усредненная по времени максимальная скорость V_{mean}

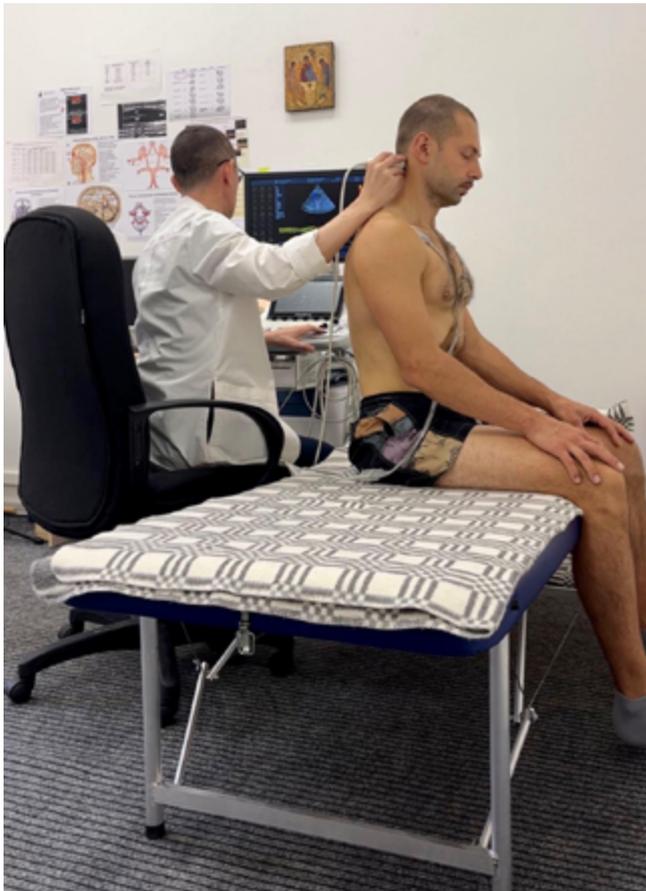


Рис. 2. Положение участника при выполнении упражнения «уддияна»
 Fig. 2. Position of the participant during performing the “uddiyana” exercise

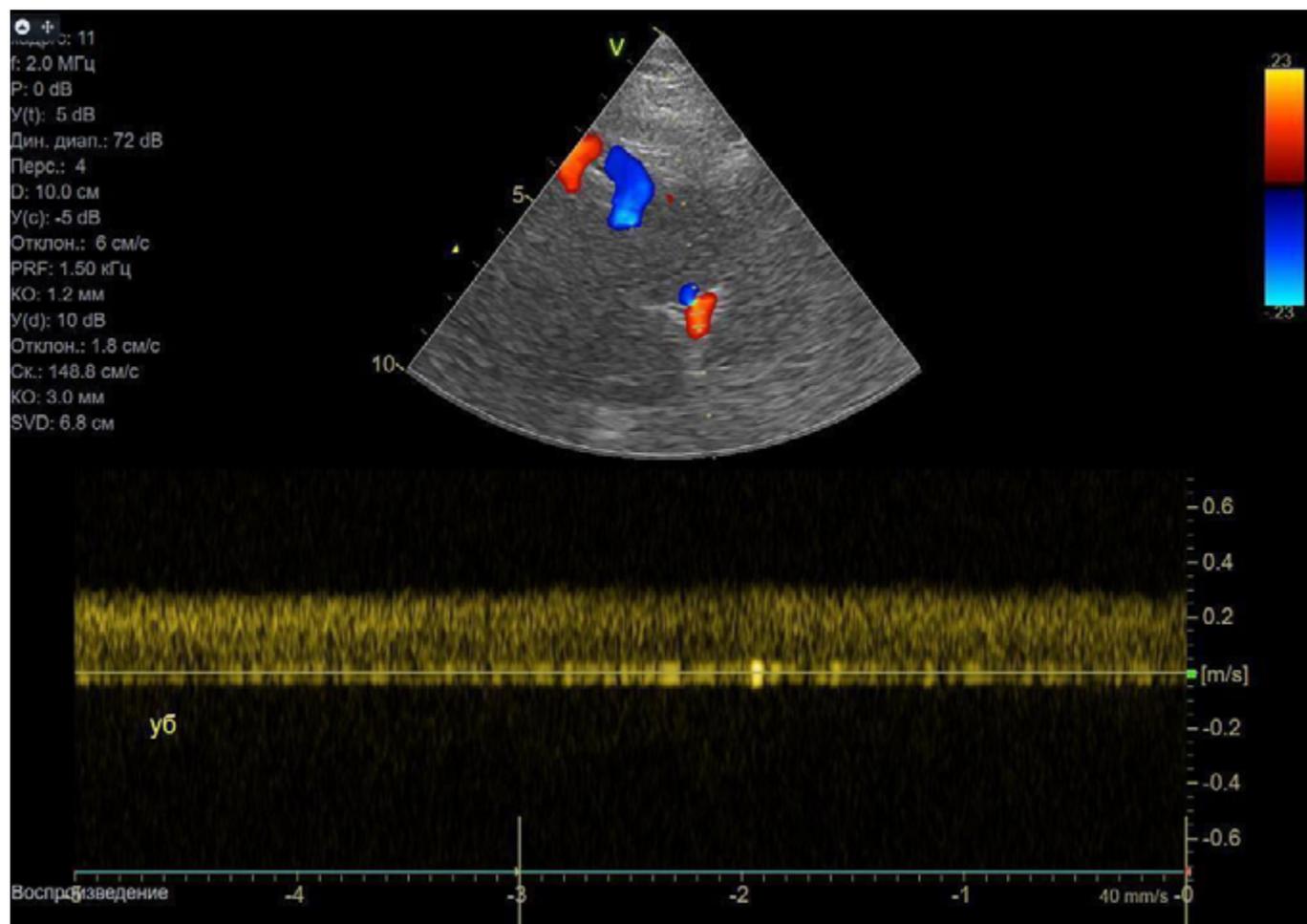


Рис. 3. Регистрация кровотока в КС во время выполнения упражнения «уддияна»
Fig. 3. Registration of blood flow in the marginal sinus during the “uddiyana” exercise

и индекс фазности (ИФ) оценивались во время свободного дыхания (1-й этап), при ПЭА при глубоком выдохе, время фиксации — 5 секунд (2-й этап), и при выполнении упражнения «уддияна», время фиксации — 5 секунд (3-й этап).

При регистрации после глубокого выдоха (2-й этап) в течение 5 секунд V_{max} не демонстрировала статистически значимых различий по сравнению с исходным свободным дыханием (1-й этап). В течение 5 секунд выполнения упражнения «уддияна» (3-й этап) V_{max} статистически значимо увеличилась выше исходного (1-й этап), $p < 0,001$, а также ПЭА после глубокого выдоха (2-й этап), $p < 0,001$ (рис. 4).

Динамика V_{mean}

Во время ПЭА на фоне глубокого выдоха (2-й этап) в течение 5 секунд V_{mean} оставалась без изменений по сравнению с исходным свободным дыханием (1-й этап). В течение 5 секунд выполнения упражнения «уддияна» (3-й этап) V_{mean} была выше исходного (1-й этап), $p < 0,001$, а также задержки после глубокого выдоха (2-й этап), $p < 0,009$.

Динамика ИФ

В течение 5 секунд выполнения упражнения «уддияна» (3-й этап) значения ИФ оставался без изменений относительно исходного (1-й этап), а также ПЭА после глубокого выдоха (2-й этап).

Обобщение результатов в количественном выражении представлено в таблице.

4. Обсуждение

Согласно предшествующим исследованиям, кровоток в краевом синусе определяется в 20% случаев у здоровых обследуемых; у пациентов с ЧМТ этот показатель составлял почти 55% [17]. В проведенном исследовании частота визуализации и возможность идентификации скоростных параметров кровотока в КС у здоровых были существенно выше: их удалось определить у 16 из 20 участников (80%). Столь существенную разницу данных можно объяснить тем, что в отличие от ранее проведенных исследований, регистрация кровотока проводилась не в стандартном положении (лежа на животе), а в положении сидя, что значительно меняет пути церебрального венозного оттока. В положении лежа

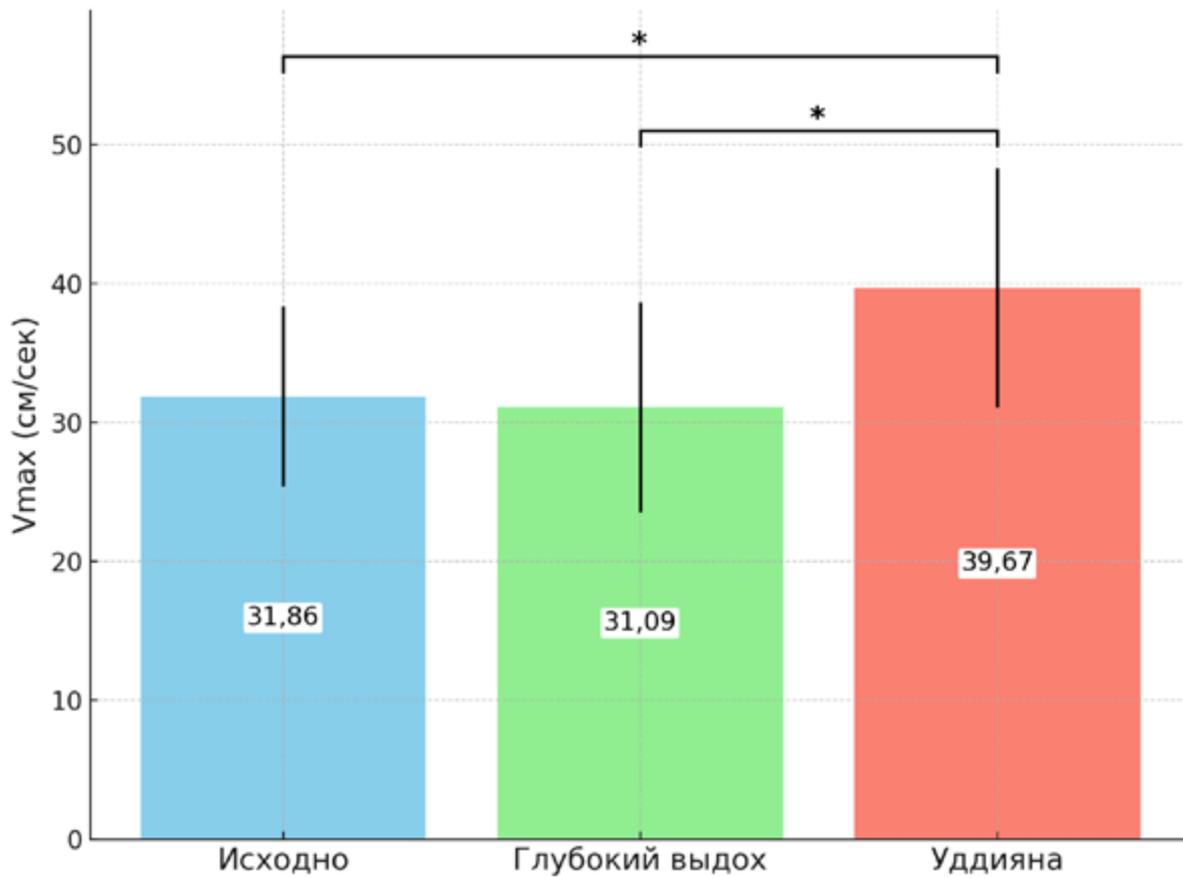


Рис. 4. Анализ динамики показателя V_{\max} : * — $p \leq 0,001$
 Fig. 4. Analysis of the dynamics of the V_{\max} indicator: * — $p \leq 0.001$

Таблица

Анализ динамики всех показателей

Table

Analysis of the dynamics of all indicators

Показатель	Этапы наблюдения			p
	Исходно (1)	Глубокий выдох (2)	Уддияна (3)	
	M ± SD (95% ДИ)	M ± SD (95% ДИ)	M ± SD (95% ДИ)	
V_{\max} (см/сек)	31,86 ± 12,16 (25,38–38,34)	31,09 ± 14,17 (23,54–38,64)	39,67 ± 16,16 (31,06–48,29)	< 0,001* $p_{2-3} < 0,001$ $p_{1-3} < 0,001$
V_{mean} (см/сек)	29,13 ± 10,12 (23,74–34,53)	28,66 ± 12,43 (22,04–35,28)	34,51 ± 12,13 (28,04–40,98)	< 0,001* $p_{2-3} = 0,009$ $p_{1-3} < 0,001$
ИФ, у. е.	0,20 ± 0,07 (0,17–0,24)	0,23 ± 0,08 (0,19–0,27)	0,23 ± 0,08 (0,19–0,27)	0,065

Примечание: * — различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$).
 Note: * — differences in indicators are statistically significant ($p < 0.05$).

у человека основным путем церебрального венозного оттока являются внутренние яремные вены. В вертикальном положении расположение этих вен выше уровня сердца приводит к их спадению. Альтернативным путем мозгового оттока является позвоночное венозное сплетение, и в вертикальном положении церебральный венозный отток происходит преимущественно через него [21]. Так как КС является частью дренажного тракта, направленного преимущественно в позвоночную, а не в югулярную венозную систему [18], то в вертикальном положении тела по сравнению с горизонтальным частота выявления кровотока в КС ожидаемо выше. Вероятно, с положением тела связана также разница показателя V_{max} в горизонтальном положении. У здоровых участников в исследовании Dicheskul и соавт. средние значения V_{max} составили 16,0 см/сек [17], а в проведенном исследовании (вертикальное положение) средние значения V_{max} по группе составили 31,86 см/сек. Ранее Dicheskul и соавт. отмечали, что при переходе в вертикальное положение максимальная скорость кровотока в позвоночных венах увеличивается вдвое [22], что в определенной степени согласуется с полученными результатами.

На 2-м этапе исследования (ПЭА 5 секунд после глубокого выдоха) скоростные показатели кровотока V_{max} и V_{mean} по сравнению с 1-м этапом (свободное дыхание) существенно не менялись. Средняя пиковая скорость кровотока в базальных венах возрастает при гиперкапнической пробе [20], однако в проведенном исследовании увеличения скоростных показателей при задержке дыхания не наблюдалось, что может свидетельствовать о том, что задержка дыхания в течение пяти секунд не оказывает гиперкапнических эффектов на церебральный венозный отток (во всяком случае, в КС).

При аналогичной по длительности ПЭА во время выполнения упражнения «уддияна» (3-й этап) V_{max} и V_{mean} статистически значимо возросли по сравнению с исходным свободным дыханием. Это может указывать на гемодинамические эффекты данного упражнения, независимые от гиперкапнических эффектов и изменений гомеостаза под влиянием ПЭА.

Используемый в данной работе показатель усредненной по времени максимальной скорости кровотока V_{mean} аналогичен ранее применяемому в оценке артериального кровотока ТАМАХ, и это понятие ранее неоднократно применялось в научных работах, посвященных оценке церебрального венозного оттока [17, 22, 23].

Индекс резистентности (ИР), в рутинной сонографической практике используемый для оценки периферического сосудистого сопротивления артериального русла, описан и для основных венозных сосудов и синусов. В работах на здоровых лицах для прямого, поперечного и верхнего сагиттального синуса средние значения RI составили $0,30 \pm 0,09$ [10]. Однако ИР отражает

физиологические параметры, связанные в первую очередь с сосудистым сопротивлением мелких резистивных артерий в бассейне конкретной артерии. В венозных же сосудах фазность скорости кровотока обусловлена рядом других механизмов — респираторными и кардиальными воздействиями, положением тела, влиянием пульсации расположенных рядом артериальных сосудов. Поэтому для характеристики фазности венозного кровотока логично использовать индекс фазности (ИФ).

В работе Дическул и соавт. [17] значение ИФ кровотока в краевом синусе по группе составило 0,42 (в положении лежа), в позвоночных венах в положении лежа ИФ достигал 0,7, а при пробе с ортостазом ИФ снижался до 0,15 (0,11–0,2) [22].

В проведенном нами исследовании значения ИФ (при регистрации кровотока в положении сидя) незначительно колебались от 0,2 (1-й этап) до 0,23 (2-й и 3-й этапы). То есть значимых колебаний данного параметра кровотока при выполнении упражнения «уддияна» в сравнении с исходными значениями выявлено не было. Полученные результаты позволяют считать, что стандартные воздействия на венозную фазность (респираторные и кардиальные) в положении сидя не оказывают существенного влияния на кровоток в краевом синусе (как исходно при свободном дыхании, так и при выполнении упражнения).

С учетом полученных результатов можно предполагать, что упражнение «уддияна», а также дыхательные упражнения в целом потенциально могут рассматриваться как элемент комплексной реабилитации при нарушениях церебрального венозного кровообращения. Для подтверждения данного утверждения требуются дальнейшие исследования на группах пациентов, имеющих ультразвуковые и клинические признаки венозной мозговой дисциркуляции.

В цели данного исследования не входил анализ различий параметров кровотока в КС в зависимости от положения тела, однако полученные результаты позволяют предполагать такую зависимость.

5. Заключение

Дыхательное упражнение йоги «уддияна» увеличивает максимальную линейную скорость кровотока и усредненную по времени максимальную скорость кровотока в краевом синусе, но не оказывает значимого влияния на показатель фазности кровотока.

Количественные характеристики кровотока, полученные в настоящем исследовании, отличаются от полученных ранее другими авторами, что может быть обусловлено разным положением тела (стандартным положением лежа и положением сидя). Полученные значения целесообразно учитывать в дальнейших исследованиях влияния дыхательных упражнений на показатели церебральной гемодинамики.

Вклад авторов:

Фролов Артем Владимирович — концепция и дизайн исследования, сбор и интерпретация данных, написание текста рукописи;

Ермолаева Саргылана Александровна — статистическая обработка данных, написание текста рукописи;

Дидур Михаил Дмитриевич — написание и окончательное утверждение текста рукописи.

Author contributions:

Artem V. Frolov — concept and design of the study, collection and interpretation of data, writing of the manuscript;

Sargylana A. Ermolaeva — statistical data processing, writing of the manuscript;

Michael D. Didur — writing and final approval of the manuscript text.

Литература / References

1. **Kuvalayananda S.** What is Uddiyana? *Yoga Mimamsa*. 2024;I(2):100.
2. **Kuvalayananda S.** What is Nauli? *Yoga Mimamsa*. 1924;I(1):25.
3. **Kuvalayananda S.** The Discovery of Partial vacuum in the colon in Nauli. *Yoga Mimamsa*. 1924;I(1):27.
4. **Kuvalayananda S.** Madhavadasa Vacuum. *Yoga Mimamsa*. 1924;I(2):96.
5. **Kuvalayananda S.** Experiments on Intra-gastric pressure. *Yoga Mimamsa*. 1928;III(1):10.
6. **Bhole M.V., Karambelkar P.V.** Water suction in internal cavities during uddiyana and nauli. *Yoga Mimamsa*. 1971;XIII(1):26–32.
7. **Bhole M.V., Karambelkar P.V.** Pressure changes in internal cavities during uddiyana and nauli. *Yoga Mimamsa*. 1971;XIII(1):19–25.
8. **Шмидт Р., Тевс Г., ред.** Физиология человека. 3-е изд. Москва: Мир; 2007. [**Shmidt R., Thews G.**, editors. *Human Physiology*. 2nd ed. Springer; 1989. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-73831-9>]
9. **Laganà M.M., Pirastru A., Ferrari F., Di Tella S., Cazzoli M., Pelizzari L., Jin N., Zacà D., Alperin N., Baselli G., et al.** Cardiac and Respiratory Influences on Intracranial and Neck Venous Flow, Estimated Using Real-Time Phase-Contrast MRI. *Biosensors*. 2022;12(8):612. <https://doi.org/10.3390/bios12080612>
10. **Stolz E., Kaps M., Kern A., Babacan S.S., Dorndorf W.** Transcranial Color-Coded Duplex Sonography of Intracranial Veins and Sinuses in Adult: Reference Data From 130 Volunteers. *Stroke*. 1999;30(5):1070–1075. <https://doi.org/10.1161/01.str.30.5.1070>
11. **Kollmeier J.M., Gürbüz-Reiss L., Sahoo P., Badura S., Elebracht B., Keck M., et al.** Deep breathing couples CSF and venous flow dynamics. *Scientific Reports*. 2022;12:2568. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-06361-x>
12. **Schreiber S.J., Stolz E., Valdueza J.M.** Transcranial ultrasonography of cerebral veins and sinuses. *Eur. J. Ultrasound*. 2002;16(1-2):59–72. [https://doi.org/10.1016/s0929-8266\(02\)00051-4](https://doi.org/10.1016/s0929-8266(02)00051-4)
13. **Doepf F., Hoffmann O., Lehmann R., Einhäupl K.M., Valdueza J.M.** The inferior petrosal sinus: assessment by transcranial Doppler ultrasound using the suboccipital approach. *J. Neuroimaging*. 1999;9(4):193–197. <https://doi.org/10.1111/jon199994193>
14. **Baumgartner R.W., Nirkko A.C., Müri R.M., Gönner F.** Transoccipital power-based color-coded duplex-sonography of cerebral sinuses and veins. *Stroke*. 1997;28(7):1319–1323. <https://doi.org/10.1161/01.str.28.7.1319>
15. **Baumgartner R.W., Gönner F., Arnold M., Müri R.M.** Transtemporal Power- and Frequency-Based Color-Coded Duplex Sonography of Cerebral Veins and Sinuses. *Am. J. Neuroradiol*. 1997;18(9):1771–1781.
16. **Valdueza J.M., Schmierer K., Mehraein S., Einhäupl K.M.** Assessment of normal flow velocity in basal cerebral veins. *Stroke*. 1996;27(7):1221–1225. <https://doi.org/10.1161/01.str.27.7.1221>
17. **Дическул М.Л., Жестовская С.И., Куликов В.П.** Цветовое дуплексное сканирование краевых синусов мозга. *Сибирский медицинский журнал*. 2013; 28(2):56–58. [**Dicheskul M.L., Zhestovskaya S.I., Kulikov V.P.** Color ultrasound duplex scanning of the marginal sinuses of the brain. *Siberian Medical Journal*. 2013;28(2):56–58. (In Russ.)].
18. **San Millan Ruiz D., Gailloud P., Rufenacht D.A., Delavelle J., Henry F., Fasel J.H.D.** The craniocervical venous system in relation to cerebral venous drainage. *AJNR Am. J. Neuroradiol*. 2002;23(9):1500–1508.
19. **Куликов В.П.** Основы ультразвукового исследования сосудов. Москва: Издательский дом «Видар»; 2015. [**Kulikov V.P.** *The Basis of Ultrasound Vessels Research*. Moscow: “Vidar” Publishing House; 2015. (In Russ.)].
20. **Куликов В.П., Дическул М.Л., Добрынина К.А.** Реакция церебральной венозной гемодинамики на гиперкапнию. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2007;93(8):852–859. [**Kulikov V.P., Dicheskul M.L., Dobrynnina K.A.** Cerebral venous hemodynamics’ reaction to hypercapnia. *Russian Journal of Physiology*. 2007;93(8):852–859. (In Russ.)].
21. **Gisolf J., Van Lieshout J.J., Van Heusden K., Pott F., Stok W.J., Karemaker J.M.** Human cerebral venous outflow pathway depends on posture and central venous pressure. *The Journal of Physiology*. 2004;560(1):317–327. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.2004.070409>
22. **Дическул М.Л., Куликов В.П., Маслова И.В.** Ультразвуковая характеристика венозного кровотока по позвоночным венам. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2008;(4):33–40. [**Dicheskul M.L., Kulikov V.P., Maslova I.V.** Ultrasound characterization of vertebral venous outflow. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2008;(4):33–40. (In Russ.)].
23. **Дическул М.Л., Куликов В.П.** Допплерографическая оценка венозной орбитальной и мозговой гемодинамики в остром периоде легкой черепно-мозговой травмы. Медицинская визуализация. 2011;(4):101–104. [**Dicheskul M.L., Kulikov V.P.** Dopplerographic estimation venous orbital and cerebral hemodynamics in the acute period of brain concussion. *Medical Visualization*. 2011;(4):101–104. (In Russ.)].
24. **Смоленский А.В., Шевелев О.А., Петрова М.В., Юрьев М.Ю., Шевелева Е.О., Тарасов А.В., Мирошников А.Б.** Профилактика осложнений спортивной черепно-мозговой травмы. Спортивная медицина: наука и практика. 2022;12(1):64–72. [**Smolenskiy A.V., Shevelev O.A., Petrova M.V., Yuryev M.Yu., Sheveleva E.O., Tarasov A.V., Miroshnikov A.B.** Prevention of traumatic brain injury complications in sports. *Sports medicine: research and practice*. 2022;12(1):64–72. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.47529/2223-2524.2022.1.3>

Информация об авторах:

Фролов Артем Владимирович*, врач ЛФК и врач функциональной диагностики ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Россия, г. Санкт-Петербург, 191186, Невский проспект, д. 30а, пом. 2.8 (polyclinic@list.ru)

Ермолаева Саргылана Александровна, аналитик медицинских данных, методист по адаптивной физкультуре, ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Россия, г. Санкт-Петербург, 191186, Невский проспект, д. 30а, пом. 2.8 (supersagi@gmail.com)

Дидур Михаил Дмитриевич, д.м.н., профессор, директор ФБГУН «Институт мозга человека им. Н.П. Бехтерева Российской академии наук», Россия, г. Санкт-Петербург, 197376, ул. им. Академика Павлова, д. 12а (Didour@mail.ru)

Information about the authors:

Artem V. Frolov*, functional diagnostics doctor, St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, room 35-N, office 2.8, building No. 30, letter A, Nevsky Prospekt, 191186, St. Petersburg, Russia (polyclinic@list.ru)

Sargylana A. Ermolaeva, medical data analyst, St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, room 35-N, office 2.8, building No. 30, letter A, Nevsky Prospekt, 191186, St. Petersburg, Russia (supersagi@gmail.com)

Michael D. Didur, M.D., D.Sci. (Medicine), Professor, chief at Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences, 12a, Academician Pavlova str., 197022, St. Petersburg, Russia (Didour@mail.ru)

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author