

## ЗАЩИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ОТ ГИПОКСИИ ПРИ ИМИТАЦИИ НЫРЯНИЯ У ПЛОВЦОВ

Е.Ю. Подъячева<sup>1</sup>, Т.А. Землянухина<sup>1</sup>, Е.Д. Симановский<sup>2</sup>,  
Е.Ю. Федорова<sup>3</sup>, Т.И. Баранова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Санкт-Петербургский государственный университет, г. Санкт-Петербург, Россия,

<sup>2</sup>Российский государственный педагогический университет им А.И. Герцена,  
г. Санкт-Петербург, Россия

<sup>3</sup>Московский городской педагогический университет, г. Москва, Россия

**Цель.** Изучение системных защитных механизмов мозга от гипоксии при погружении в воду у спортсменов-пловцов высокого класса. **Материал и методы.** Обследовано 25 юношей в возрасте 18–20 лет: 9 мастеров спорта, один мастер спорта международного класса и 15 человек, не занимавшихся спортом. Исследование мозгового кровотока проведено методом реоэнцефалографии (РЭГ). РЭГ регистрировали в состоянии покоя, при погружении лица в воду и во время восстановления. Обследование спортсменов проводили через 2 часа после утренней тренировки. Помимо мозгового кровотока регистрировали ЭКГ и АД в исходном состоянии, во время имитации ныряния и после него до момента восстановления. Статистическую обработку данных проводили по непараметрическим критериям Манна–Уитни и Вилкоксона. **Результаты.** Выявлено, что у спортсменов в состоянии покоя в большей степени, чем у не занимающихся спортом юношей, выражена асимметрия кровообращения. Выше кровотоки в правом полушарии. Но при имитации ныряния асимметрия исчезает, а кровоток улучшается, особенно в левом полушарии в бассейне сонных артерий, что обусловлено уменьшением тонуса мелких сосудов. У не занимающихся спортом защитные механизмы выражены в меньшей степени. **Заключение.** Под влиянием многолетней спортивной деятельности, связанной не только с выполнением физических нагрузок в воде, но и с тренировочными гипоксическими упражнениями – заплывами под водой на задержанном дыхании, – у пловцов на основе врожденного нырательного рефлекса сформировались эффективные механизмы защиты мозга от гипоксии, реализующиеся в условиях дефицита кислорода.

**Ключевые слова:** нырательный рефлекс, мозговой кровоток, реоэнцефалография.

**Введение.** В основе процесса адаптации высокоорганизованного организма всегда лежит формирование абсолютно специфической функциональной системы (точнее функциональной системы конкретного поведенческого акта), адаптационные изменения в компонентах которой служат одним из обязательных «инструментов» ее формирования. Структурно-функциональная перестройка организма, обеспечивающая адаптацию к физической работе, включает разнообразные процессы, касающиеся всех уровней организации организма, начиная от химических реакций и кончая высшей нервной деятельностью [5].

Выполнение физических нагрузок в воде отличается от работы в воздушной среде. На организм пловцов действует целый комплекс факторов, связанных с погружением в воду. Тактильное и холодное раздражение кожи лица и тела, а также слизистых оболочек

носовых ходов, гипоксия и гиперкапния при задержках дыхания при проплывании дистанций под водой (такие упражнения, как правило, включены в тренировку) вызывают комплекс защитных функциональных перестроек – развивается так называемая нырательная реакция, сопровождающаяся изменением гемодинамики [6–8, 11, 13], затрагивающая нейроэндокринный, биохимический уровень, отражающий связанные с нырянием метаболические изменения [4, 9, 14]. Одним из важнейших факторов, запускающих нырательную реакцию, является острая гипоксия. Жизнедеятельность всех клеток организма зависит от их постоянного энергообеспечения. Известно, что наиболее чувствительными к гипоксии органами являются головной мозг, сердечная мышца, почки и печень. Ограниченные запасы кислорода и энергетических субстратов в этих органах создают предпо-

сылки для высокой степени их уязвимости к гипоксии. Но вместе с тем в ходе эволюции были приобретены компенсаторные механизмы защиты мозга и сердца от неблагоприятных влияний недостатка кислородного снабжения, которые проявляются на системном, органном, клеточном и молекулярном уровнях. К ним относятся: увеличение линейной скорости кровотока в мозге, повышение кислородной емкости крови, интенсификация процессов энергообразования за счет усиления гликолиза и повышения аффинитета цитохромоксидазной системы к кислороду, включение шунтовых механизмов переноса электронов и другие [2, 10, 12].

Цель нашей работы состояла в изучении системных защитных механизмов мозга от гипоксии при погружении в воду у спортсменов-пловцов высокого класса.

**Материалы и методы.** Обследовано 25 юношей в возрасте 18–20 лет: 9 мастеров спорта, один мастер спорта международного класса и 15 человек, не занимавшихся спортом.

Для реализации защитных механизмов нырятельной реакции использовали общепринятую модель для изучения нырятельной реакции в лабораторных условиях – погружение лица в воду на максимальном задержанном вдохе [1, 10, 13]. Температура воды составляла  $27 \pm 1,2$  °С, температура воздуха  $24 \pm 2,3$  °С, что приблизительно соответствует показателям температуры в бассейне.

Изучение динамики объемного мозгового кровотока осуществляли методом реоэнцефалографии (РЭГ). Регистрацию РЭГ и обработку данных проводили посредством программно-диагностического комплекса – реограф-полианализатор РГПА-6/12 «РЕАН-ПОЛИ» (Таганрог). РЭГ регистрировали во фронтально-мастоидальном (FM) и окципито-мастоидальном (OM) отведениях. Для оценки мозгового кровотока использовали показатели: реографический индекс (РИ, Ом) – отражает пульсовое кровенаполнение ткани; диастолический индекс (ДСИ, %) – характеризует микроциркуляцию мозга, соотношение притока к оттоку крови; дикротический индекс (ДКИ, %) – косвенно свидетельствует о тонусе мелких сосудов; периферический тонус сосудов (ППСС, %), модуль упругости (МУ, %) сосудов – отражает тонус крупных сосудов; вычисляли коэффициент асимметрии между контралатеральными отведениями – КА ( $КА = (L - R / L + R) / 100$  %), где L – показатель левого полушария, R – по-

казатель правого полушария). РЭГ регистрировали в состоянии покоя, при погружении лица в воду и во время восстановления. Обследование спортсменов проводили через 2 часа после утренней тренировки.

Помимо мозгового кровотока регистрировали ЭКГ и АД в исходном состоянии, во время имитации ныряния и после него до момента восстановления.

Статистическую обработку данных проводили по непараметрическим критериям Манна–Уитни и Вилкоксона.

**Результаты исследования.** По антропометрическим показателям достоверных отличий между спортсменами и не занимающимися спортом не выявлено: рост спортсменов –  $181,8 \pm 3,5$  см, не занимающихся спортом –  $177,3 \pm 6,2$ , вес соответственно у спортсменов  $74,7 \pm 2,9$  кг, у не занимающихся –  $78,3 \pm 9,1$  кг. Длительность задержки дыхания с погружением лица в воду у спортсменов в среднем по группе составил  $73,5 \pm 8,1$  с, у не занимающихся –  $41,7 \pm 18,3$  с.

При погружении лица в воду наблюдали уменьшение частоты сердечного ритма: у пловцов на 20,9 % от фонового значения, у не занимавшихся спортом – на 39,1 %. При этом у испытуемых обеих групп наблюдали повышение артериального давления. У пловцов в состоянии покоя систолическое давление составляло  $124,7 \pm 8,1$  мм рт. ст., диастолическое –  $73,2 \pm 5,1$  мм рт. ст., при погружении лица в воду при максимальной задержке дыхания –  $149,1 \pm 10,3$  и  $94,1 \pm 7,2$  мм рт. ст. У не занимавшихся спортом в состоянии покоя систолическое давление составляло  $123,9 \pm 10,1$  мм рт. ст., диастолическое –  $75,3 \pm 8,2$  мм рт. ст., при погружении лица в воду соответственно –  $150,2 \pm 11,9$  мм рт. ст., диастолическое –  $101,9 \pm 7,3$  мм рт. ст.

Мозговое кровообращение оценивали в бассейне внутренних сонных артерий (фронтально-мастоидальное отведение – FM) и в вертебрально-базиллярном бассейне – системе позвоночных и основной артерий (окципито-мастоидальное отведение – OM). Для отражения разницы пульсового кровенаполнения полушарий мозга в норме использовался коэффициент асимметрии (КА, %). Результаты анализа РЭГ показали (табл. 1, 2), что у пловцов в исходном состоянии в левом полушарии кровотоки несколько снижены (повышена констрикция сосудов малого калибра). КА по показателю ДКИ составляет 29,4 %. Тонус

Таблица 1  
Table 1

Показатели мозгового кровообращения у пловцов, тренированных к гипоксическим нагрузкам (n = 10)  
Cerebral circulation in swimmers trained for hypoxic conditions (n = 10)

Проба / Test		Показатели РЭГ / REG data				
		РИ, Ом RI, Ohm	ППСС, % PVRI, %	ДСИ, % DSI, %	МУ, % EM, %	ДКИ, % DCI, %
Фон до погружения Standard conditions	FM-L	0,05 ± 0,01	78 ± 11	68 ± 13	8,5 ± 1	58 ± 13
	FM-R	0,10 ± 0,02	56 ± 12	56 ± 8	7,9 ± 1	42 ± 8
	КА, % / АС, %	-29,4	16,2	9,8	5,9	16,3
	OM-L	0,08 ± 0,02	66 ± 9	68 ± 3	9 ± 4	48 ± 11
	OM-R	0,12 ± 0,02	56 ± 8	51 ± 7	9 ± 1	38 ± 8
	КА, % / АС, %	-20,0	8,1	14,5	0	11,4
Погружение Water immersion	FM-L	0,15 ± 0,02 <sup>▲</sup>	70 ± 8	81 ± 11	10 ± 3	27 ± 8 <sup>▲</sup>
	FM-R	0,15 ± 0,01 <sup>▲</sup>	80 ± 10 <sup>▲</sup>	67 ± 13	9 ± 2	30 ± 6
	КА, % / АС, %	0	-6,3	10,8	5,2	-5,3
	OM-L	0,09 ± 0,04	102 ± 8 <sup>▲</sup>	89 ± 18 <sup>▲</sup>	7 ± 2	65 ± 9 <sup>▲</sup>
	OM-R	0,16 ± 0,05	68 ± 9 <sup>▲</sup>	69 ± 10	9 ± 2	28 ± 5
	КА, % / АС, %	-28,0	20,0	12,7	-12,5	44,7
Восстановление Recovery	FM-L	0,11 ± 0,05	63 ± 9	68 ± 7	8 ± 3	51 ± 7
	FM-R	0,13 ± 0,02	54 ± 7	57 ± 12	9 ± 2	41 ± 9
	КА, % / АС, %	-9,7	8,5	7,1	-5,8	9,5
	OM-L	0,09 ± 0,03	66 ± 8	66 ± 4	8 ± 2	52 ± 7
	OM-R	0,11 ± 0,04	52 ± 11	51 ± 9	8 ± 8	38 ± 6
	КА, % / АС, %	-18,0	12,8	13,6	0	15,8

*Примечание.* FM-L – фронтально-мастоидальное отведение слева, FM-R – фронтально-мастоидальное отведение справа, OM-L – окципитально-мастоидальное отведение слева, OM-R – окципитально-мастоидальное отведение справа, КА – коэффициент асимметрии. РИ – реографический индекс, ППСС – показатель периферического сопротивления сосудов, ДСИ – диастолический индекс, МУ – модуль упругости, ДКИ – дикротический индекс. Треугольником (▲) отмечены статистически значимые (p < 0,05) отличия по критерию Вилкоксона между исходным фоном и погружением.

*Note.* FM-L – left frontal mastoidal lead, FM-R – right frontal mastoidal lead, OM-L – left occipital mastoidal lead, OM-R – right occipital mastoidal lead, AC – asymmetry coefficient. RI – rheographic index, PVRI – peripheral vascular resistance index, DSI – diastolic index, EM – elasticity module, DCI – dicrotic index. (▲) stands for statistically significant (p<0.05) changes between standard conditions and water immersion using the Wilcoxon signed-rank test.

крупных артерий в исходном состоянии в пределах нормы (см. табл. 1). Выявлена значительно выраженная асимметрия по показателям РИ, ДСИ, ППСС (см. табл. 1), что может быть связано с большими физическими и гипоксическими нагрузками, так как исследование проводили после ежедневной утренней тренировки. Это предположение подтверждается данными ряда авторов [3, 4], показавших, что тренировки максимального объема и интенсивности приводят к снижению кровенаполнения сосудов мозга, повышению тонуса артериол и венул, проявлению значительной асимметрии.

При погружении лица в воду на максимальном задержанном вдохе отмечено снижение значений коэффициента асимметрии в бассейне сонных артерий по показателям РИ,

ППСС и ДКИ. При этом статистически значимо увеличивается пульсовое кровенаполнение (РИ) и снижается тонус мелких сосудов (ДКИ) во фронтально-мастоидальном отведении обоих полушарий. Тонус крупных сосудов (МУ) изменяется незначительно. В окципитально-мастоидальном отведении, напротив, тонус сосудов значительно увеличивается (растет ППСС, ДКИ в левом полушарии). Во время восстановления показатели возвращаются к исходному уровню.

Показатель ДСИ – это отношение амплитуды дикротического зубца к амплитуде РЭГ-волны на пике, т. е. отношение максимального кровенаполнения во время систолы к максимальному кровенаполнению во время диастолы. В норме он не должен превышать 75 %. Превышение этого показателя отражает на-

Показатели мозгового кровообращения у обследуемых, не занимавшихся спортом (n = 15)  
Cerebral circulation in untrained subjects (n = 15)

Проба / Test		Показатели РЭГ / REG data				
		РИ, Ом RI, Ohm	ППСС, % PVRI, %	ДСИ, % DSI, %	МУ, % EM, %	ДКИ, % DCI, %
Фон до погружения Standard conditions	FM-L	0,10 ± 0,02	58,2 ± 5	62,2 ± 5,4	13,4 ± 0,8	38,1 ± 7,6
	FM-R	0,10 ± 0,03	47,6 ± 4	54,7 ± 3,5	12,6 ± 0,8	27,4 ± 5,2
	КА, % / АС, %	0	13,9	6,4	3,1	16,3
	OM-L	0,10 ± 0,02	44,4 ± 4	57,8 ± 4,2	12,2 ± 0,9	25,2 ± 5,2
	OM-R	0,08 ± 0,01	32,3 ± 4	49,2 ± 5,8	12,7 ± 0,9	18,8 ± 4,3
	КА, % / АС, %	9,6	15,1	8,0	-2,0	14,5
Погружение Water immersion	FM-L	0,10 ± 0,01	60,6 ± 10	72,6 ± 5,7 <sup>▲</sup>	11,1 ± 0,3 <sup>▲</sup>	39,8 ± 9,9
	FM-R	0,09 ± 0,01	60,2 ± 12	70,4 ± 4,4 <sup>▲</sup>	11,2 ± 0,4	37,5 ± 7,7 <sup>▲</sup>
	КА, % / АС, %	5,3	0	1,5	-0,4	3,0
	OM-L	0,08 ± 0,02 <sup>▲</sup>	52,2 ± 11	63,4 ± 8,9	10,0 ± 0,5 <sup>▲</sup>	28,9 ± 6,8
	OM-R	0,08 ± 0,02	40,8 ± 9	49,3 ± 6,7	10,9 ± 0,5 <sup>▲</sup>	22,1 ± 6,0
	КА, % / АС, %	0	12,4	13,5	-4,3	13,3
Восстановление Recovery	FM-L	0,10 ± 0,01	66,1 ± 10	62,8 ± 6,1	11,6 ± 0,9 <sup>▲</sup>	42,0 ± 8,0
	FM-R	0,10 ± 0,01	54,1 ± 6	60,6 ± 3,5 <sup>▲</sup>	11,3 ± 0,8 <sup>▲</sup>	38,8 ± 4,4
	КА, % / АС, %	0	11,3	1,8	1,3	4,0
	OM-L	0,10 ± 0,02	38,3 ± 6	48,0 ± 5,7	10,1 ± 0,8	26,2 ± 6,6
	OM-R	0,10 ± 0,02	30,0 ± 6,0	43,7 ± 5,2	10,4 ± 0,8	21,1 ± 4,0
	КА, % / АС, %	0	11,5	4,7	-1,5	10,8

Примечание. Обозначения те же, что в табл. 1.  
Note. The same as in Table 1.

рушение оттока по венам. У спортсменов во время максимальной задержки этот показатель в левом полушарии значительно растет и несколько превышает норму. Это происходит в основном за счет увеличения амплитуды РИ, т. е. кровенаполнения во время систолы, а не за счет роста дикротической волны, отражающей отток во время диастолы. При восстановлении этот показатель быстро возвращается к норме.

У не занимающихся спортом асимметрия кровенаполнения и тонуса сосудов выражена в значительно меньшей степени, чем у спортсменов, особенно при погружении лица в воду (см. табл. 2). Показатель ДСИ также увеличивается, но только в бассейне сонных артерий и симметрично в обоих полушариях. При этом он не выходит за пределы нормы.

Анализ тонуса сосудов показал, что при погружении лица в воду на максимальном задержанном вдохе у нетренированных людей мозговое кровообращение меняется в основном за счет изменения тонуса крупных артерий (показатель МУ), а у тренированных – за счет артерий мелкого калибра (показатель ДКИ). Изменения кровотока в различных областях коры головного мозга можно рассмат-

ривать как объективный показатель возрастания или снижения метаболизма и функциональной активности соответствующих структур. В настоящем исследовании во время погружения у пловцов улучшение кровенаполнения головного мозга в большей степени выражено во фронтальных областях, что может быть обусловлено более высоким метаболизмом в этих структурах, связанных с контролем и волевым планированием действий. У нетренированных людей такого эффекта нет.

**Заключение.** Следует отметить, что спортсмены в состоянии покоя отличаются более низким кровенаполнением сосудов левого полушария. При погружении лица в воду кровоток у них нормализуется, наблюдается увеличение пульсового кровенаполнения в обоих полушариях, но особенно в левом, асимметрия во фронто-мастоидальном отведении по показателю РИ исчезает. У нетренированных людей отмечена нормализация показателей тонуса крупных сосудов головного мозга. Но пульсовое кровенаполнение изменяется незначительно.

Таким образом, под влиянием многолетней спортивной деятельности, связанной не

только с выполнением физических нагрузок в воде, но и с тренировочными гипоксическими упражнениями – заплывами под водой на задержанном дыхании, – у пловцов на основе врожденного нырятельного рефлекса сформировались эффективные механизмы защиты мозга от гипоксии, реализующиеся в условиях дефицита кислорода.

### Литература

1. Баранова, Т.И. Об особенностях сердечно-сосудистой системы при нырятельной реакции у человека / Т.И. Баранова // *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова*. – 2004. – Т. 90 – № 1. – С. 20–31.
2. Григорьев, А.И. Стрессы в условиях нормального образа жизни, при гипоксии (моделирующей эффекты невесомости) и в космических полетах / А.И. Григорьев, Б.М. Федоров // *Физиол. чел.* – 1996. – Т. 22. – № 2. – С. 10–19.
3. Кривец, Е.В. Срочные реакции мозгового кровообращения на задержку дыхания у спортсменов, занимающихся синхронным плаванием / Е.В. Кривец // *Физ. воспитание студентов творч. специальностей*. – Киев. – 2001. – № 1. – С. 3.
4. О механизмах адаптации человека к гипоксическому воздействию / Т.И. Баранова, Р.И. Коваленко, А.А. Молчанов и др. // *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова*. – 2003. – Т. 89. – № 11. – С. 1370–1379.
5. Федорова, Е.Ю. АТФазная активность эритроцитов крови спортсменов как индикатор адаптационных процессов / Е.Ю. Федорова, А.Е. Сизов // *Сборник избранных статей по материалам научных конференций ГНИИ «Нацразвитие»*, 2019. – С. 30–31.
6. Cardiovascular and respiratory responses to apneas with and without face immersion in exercising humans / J. Anderson, M. Liner, A. Fredsted and E. Schagatay // *J. of Appl. Physiol.* – 2002. – Vol. 96. – P. 1005–1010.
7. Changes in Cerebral Blood Flow on Performance of a Diving Reaction in Humans / T.I. Baranova, D.N. Berlov, I.N. Yanvareva // *Neuroscience and Behavioral Physiology*. – 2016. – Vol. 46, №. 1. – P. 36–41.
8. Dynamics of parameters of energy metabolism at adaptation to diving in human / T.I. Baranova, R.I. Kovalenko, A.V. Mitrofanova, I.N. Yanvareva // *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*. – 2010. – Vol. 46. – P. 489–500.
9. Effects of physical and apnea training on apneic time and the diving response in humans / E. Schagatay, M. Kampen, S. Emanuelson and B. Halm // *J. of Appl. Physiol.* – 2000. – Vol. 82. – P. 161–169.
10. Genetic determination of the vascular reactions in humans in response to the diving reflex/ T.I. Baranova, D.N. Berlov, O.S. Glotov et al. // *Am J Physiol Heart Circ. Physiol.* – 2017. – № 312 (3). – P. 622–631. – <https://www.physiology.org/doi/full/>.
11. Human Adaptation to Extreme Environmental Conditions / M. Ilardo, R. Nielsen // *Curr Opin Genet Dev.* – 2018. – Vol. 53. – P. 77–82. DOI: 10.1016/J.GDE.2018.07.003
12. Innervation of the Nose and Nasal Region of the Rat: Implications for Initiating the Mammalian Diving Response / P. McCulloch, K. Lahrman, B. DelPrete, K. DiNovo // *Medicine, Biology. Published in Front. Neuroanat.* – 13 November 2018. DOI: 10.3389/fnana.2018.00085
13. Physiological and Genetic Adaptations to Diving in Sea Nomads / M. Ilardo, I. Moltke, T.S. Korneliusen et al. // *Cell.* – 2018. – Vol. 173 (3). – P. 569–580. DOI: 10.1016/j.cell.2018.03.054
14. The oxygen-conserving potential of the diving response: A kinetic-based analysis / G. Costalat, J. Coquart, I. Castres et al. // *Journal of Sports Sciences.* – 2017. – Vol. 35. – P. 678–687. DOI: 10.1080/02640414.2016.1183809

**Подъячева Екатерина Юрьевна**, магистрант кафедры общей физиологии, Санкт-Петербургский государственный университет. 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9. E-mail: katrinstanford@gmail.com, ORCID: 0000-0002-0365-3301.

**Землянухина Татьяна Андреевна**, магистрант кафедры общей физиологии, Санкт-Петербургский государственный университет. 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9. E-mail: teczon11@gmail.com, ORCID: 0000-0003-2651-8521.

**Симановский Евгений Дмитриевич**, студент бакалавриата направления общей биологии, Российский государственный педагогический университет имени А.И. Герцена. 191186, г. Санкт-Петербург, наб. реки Мойки, 48. E-mail: eugensiman@gmail.com, ORCID:0000-0003-3551-9411.

**Федорова Елена Юрьевна**, доктор биологических наук, доцент, профессор кафедры биологии и физиологии человека института естествознания и спортивных технологий. Московский городской педагогический университет. 129226, г. Москва, 2-й Сельскохозяйственный пр., 4, корп. 1. E-mail: elefedor@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-6992-4282.

**Баранова Татьяна Ивановна**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник кафедры общей физиологии, Санкт-Петербургский государственный университет. 199034, г. Санкт-Петербург, Университетская наб., 7–9. E-mail: baranovati@gmail.com, ORCID: 0000-0003-0524-2933.

*Поступила в редакцию 6 января 2020 г.*

---

DOI: 10.14529/hsm200104

## PROTECTIVE MECHANISMS AGAINST HYPOXIA IN DIVING SIMULATION IN SWIMMERS

**E.Yu. Podyacheva**<sup>1</sup>, *katrinstanford@gmail.com*, ORCID: 0000-0002-0365-3301,

**T.A. Zemlianukhina**<sup>1</sup>, *teczon11@gmail.com*, ORCID: 0000-0003-2651-8521,

**E.D. Simanovsky**<sup>2</sup>, *eugensiman@gmail.com*, ORCID: 0000-0003-3551-9411,

**E.Yu. Fedorova**<sup>3</sup>, *elefedor@yandex.ru*, ORCID: 0000-0002-6992-4282,

**T.I. Baranova**<sup>1</sup>, *baranovati@gmail.com*, ORCID: 0000-0003-0524-2933

<sup>1</sup>*Saint Petersburg State University, Saint Petersburg, Russian Federation,*

<sup>2</sup>*Herzen State Pedagogical University of Russia, Saint Petersburg, Russian Federation,*

<sup>3</sup>*Moscow City University, Moscow, Russian Federation*

**Aim.** The article deals with studying the systemic protective mechanisms of the brain against hypoxia during water immersion in highly skilled swimmers. **Material and methods.** 25 males aged 18–20 years were examined: 9 masters of sports, one master of sports of international class and 15 people not involved in sports. The study of cerebral blood flow was carried out by rheoencephalography (REG). REG was recorded at rest, when the face was immersed in water and during recovery. Examination was carried out 2 hours after the morning training session. In addition to cerebral blood flow, ECG and blood pressure were recorded at rest, during water immersion and recovery. Statistical data processing was performed using nonparametric Mann–Whitney and Wilcoxon criteria. **Results.** It was revealed that athletes at rest demonstrated more pronounced asymmetry of blood circulation and higher blood flow in the right hemisphere than people not involved in sports. However, during water immersion, the asymmetry disappears, blood flow improves, especially in the left hemisphere in the carotid artery territory as a result of a decrease in the tone of small vessels. In people not involved in sports, protective mechanisms are less pronounced. **Conclusion.** Vast experience in sports activities related to exercises performed in water and to training hypoxic exercises contributed to effective protective mechanisms against hypoxia based on the diving reflex.

**Keywords:** *diving reflex, cerebral circulation, rheoencephalography.*

### References

1. Baranova T.I. [On the Features of the Cardiovascular System in the Diving Reflex in Humans]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal imeni I.M. Sechenova* [Russian Journal of Physiology], 2004, vol. 90, no. 1, pp. 20–31. (in Russ.)

2. Grigoryev A.I., Fedorov B.M. [Stress in a Normal Lifestyle, with Hypocapnia (Simulating the Effects of Weightlessness) and in Space Flights]. *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 1996, vol. 22, no. 2, pp. 10–19. (in Russ.)

3. Krivets E.V. [Urgent Reactions of Cerebral Circulation to Breath Holding in Athletes Engaged in Synchronized Swimming]. *Fizicheskoye vospitaniye studentov tvorcheskikh spetsial'nostey* [Physical Education of Students of Creative Profession], 2001, no. 1, p. 3. (in Russ.)
4. Baranova T.I., Kovalenko R.I., Molchanov A.A. et al. [On the Mechanisms of Human Adaptation to Hypoxic Effects]. *Rossiyskiy Fiziologicheskiy zhurnal imeni I.M. Sechenova* [Russian Journal of Physiology], 2003, vol. 89, no. 11, pp. 1370–1379. (in Russ.)
5. Fedorova E.Yu., Sizov A.E. [ATPase Activity of Red Blood Cells of Athletes as an Indicator of Adaptation Processes]. *Sbornik izbrannykh statey po materialam nauchnykh konferentsiy GNII "Natsrazvitiye"* [Collection of Selected Articles Based on Materials of Scientific Conferences of the SRI National Development], 2019, pp. 30–31. (in Russ.)
6. Anderson J., Liner M., Fredsted A., Schagatay E. Cardiovascular and Respiratory Responses to Apneas with and Without Face Immersion in Exercising Humans. *J. of Appl. Physiol*, 2002, vol. 96, pp. 1005–1010. DOI: 10.1152/jappphysiol.01057.2002
7. Baranova T.I., Berlov D.N., Yanvareva I.N. Changes in Cerebral Blood Flow on Performance of a Diving Reaction in Humans. *Neuroscience and Behavioral Physiology*, 2016, vol. 46, no. 1, pp. 36–41. DOI: 10.1007/s11055-015-0195-4
8. Baranova T.I., Kovalenko R.I., Mitrofanova A.V., Yanvareva I.N. Dynamics of Parameters of Energy Metabolism at Adaptation to Diving in Human. *Journal of Evolutionary Biochemistry and Physiology*, 2010, vol. 46, pp. 489–500. DOI: 10.1134/S0022093010050099
9. Schagatay E., Kampen M., Emanuelson S., Halm B. Effects of Physical and Apnea Training on Apneic Time and the Diving Response in Humans. *J. of Appl. Physiol*, 2000, vol. 82, pp. 161–169. DOI: 10.1007/s004210050668
10. Baranova T.I., Berlov D.N., Glotov O.S. et al. Genetic Determination of the Vascular Reactions in Humans in Response to the Diving Reflex. *Am J Physiol Heart Circ Physiol*, 2017, vol. 312 (3), pp. 622–631. Available at: <https://www.physiology.org/doi/full/>. DOI: 10.1152/ajpheart.00080.2016
11. Ilardo M., Nielsen R. Human Adaptation to Extreme Environmental Conditions. *Curr Opin Genet Dev*, 2018, vol. 53, pp. 77–82. DOI: 10.1016/j.gde.2018.07.003
12. McCulloch P., Lahrman K., DelPrete B., DiNovo K. Innervation of the Nose and Nasal Region of the Rat: Implications for Initiating the Mammalian Diving Response. *Medicine, Biology*. Published in Front. Neuroanat., 13 November 2018. DOI: 10.3389/fnana.2018.00085
13. Ilardo M., Moltke I., Korneliussen T., Salingkat S., Nielsen R. Physiological and Genetic Adaptations to Diving in Sea Nomads. *Cell*, 2018, vol. 173 (3), pp. 569–580. DOI: 10.1016/j.cell.2018.03.054
14. Costalat G., Coquart J., Castres I. et al. The Oxygen-Conserving Potential of the Diving Response: A Kinetic-Based Analysis. *Journal of Sports Sciences*, 2016, vol. 35, pp. 678–687. DOI: 10.1080/02640414.2016.1183809

Received 6 January 2020

---

#### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Защитные механизмы от гипоксии при имитации ныряния у пловцов / Е.Ю. Подъячева, Т.А. Землянухина, Е.Д. Симановский и др. // Человек. Спорт. Медицина. – 2020. – Т. 20, № 1. – С. 29–35. DOI: 10.14529/hsm200104

#### FOR CITATION

Podyacheva E.Yu., Zemlianukhina T.A., Simanovsky E.D., Fedorova E.Yu., Baranova T.I. Protective Mechanisms Against Hypoxia in Diving Simulation in Swimmers. *Human. Sport. Medicine*, 2020, vol. 20, no. 1, pp. 29–35. (in Russ.) DOI: 10.14529/hsm200104