

## АДАПТИВНЫЕ ЗАЩИТНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ПРИ НЫРЯНИИ У МУЖЧИН И ЖЕНЩИН

Т.А. Землянухина<sup>1</sup>, st071583@student.spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2651-8521>

М.А. Карпова<sup>1</sup>, st085677@student.spbu.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5105-2830>

А.Д. Ванькова<sup>1</sup>, st085211@student.spbu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1250-5335>

Т.И. Баранова<sup>1</sup>, tatiyana.baranova@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0524-2933>

Е.Ю. Федорова<sup>2</sup>, elefedor@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6992-4282>

А.Н. Налобина<sup>2</sup>, a.nalobina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6574-1609>

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

<sup>2</sup> Московский городской педагогический университет, Москва, Россия

**Аннотация.** Цель: изучение адаптивных сердечно-сосудистых реакций нырятельного рефлекса у женщин и мужчин. **Организация и методы исследования.** В исследовании принимали участие мужчины (n = 50) и женщины (n = 49), не имеющие опыта дайвинга, в возрасте от 18 до 25 лет. Нырятельный рефлекс активировали погружением лица в холодную воду в лабораторных условиях. Сосудистые реакции и кровоток исследовали методами комплексной реографии и реографии легочной артерии. Периферическое кровообращение регистрировали методом плетизмографии. **Результаты.** У всех испытуемых в ходе нырятельной реакции выявлено статистически значимое снижение частоты сердечных сокращений (ЧСС), минутного объема крови (МОК), повышение артериального давления (АД), тонуса периферических сосудов и расширение легочных сосудов. Установлено, что при моделировании ныряния у женщин наблюдается меньшее увеличение, чем у мужчин, и более выраженное снижение дикротического индекса (ДКИ), что отражает снижение резистивного сосудистого тонуса, а также диастолического индекса (ДСИ), характеризующего перфузию легких. **Заключение.** Выявленное при реализации нырятельной реакции более выраженное рефлекторное сужение периферических сосудов и расширение легочных сосудов, вероятно, обеспечивает женскому организму повышенную защиту в экстремальных условиях дайвинга, что важно для понимания механизмов адаптивной защиты, а также для оценки риска срыва адаптации и формирования на этой основе патологических отклонений.

**Ключевые слова:** нырятельный рефлекс, рефлекторная брадикардия, рефлекторная вазоконстрикция, дилатация легочных сосудов, импедансная реография, фотоплетизмография, половые различия адаптивных реакций

**Для цитирования:** Адаптивные защитные механизмы при нырянии у мужчин и женщин / Т.А. Землянухина, М.А. Карпова, А.Д. Ванькова и др. // Человек. Спорт. Медицина. 2024. Т. 24, № 3. С. 31–41. DOI: 10.14529/hsm240304

## ADAPTIVE PROTECTIVE MECHANISMS DURING DIVING IN MEN AND WOMEN

T.A. Zemlyanukhina<sup>1</sup>, st071583@student.spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2651-8521>  
M.A. Karpova<sup>1</sup>, st085677@student.spbu.ru, <https://orcid.org/0009-0006-5105-2830>  
A.D. Vankova<sup>1</sup>, st085211@student.spbu.ru, <https://orcid.org/0009-0007-1250-5335>  
T.I. Baranova<sup>1</sup>, tatiyana.baranova@spbu.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0524-2933>  
E.Yu. Fedorova<sup>2</sup>, elefedor@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6992-4282>  
A.N. Nalobina<sup>2</sup>, a.nalobina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6574-1609>

<sup>1</sup> Saint Petersburg State University, Saint-Petersburg, Russia

<sup>2</sup> Moscow City University, Moscow, Russia

**Abstract. Aim.** This study investigates the sex-specific adaptive cardiovascular responses elicited by the diving reflex. **Materials and methods.** A total of 99 participants, including 50 men and 49 women, aged 18 to 25 years, with no prior experience in diving, were enrolled. The diving reflex was induced by face immersion in cold water under laboratory conditions. Vascular responses and blood flow were examined by impedance cardiography and pulmonary impedance. Plethysmography was used to measure peripheral blood circulation. **Results.** The results obtained show a consistent pattern of vascular responses across all participants during the simulated dive. Notably, a statistical reduction in heart rate (HR) and cardiac output (CO), accompanied by an increase in blood pressure (BP), peripheral vascular tone, and dilatation of pulmonary vessels, was detected. Women exhibited a lower increase or a more pronounced decrease than men in the dicrotic index, coupled with a decrease in peripheral vascular resistance and the diastolic index indicative of lung perfusion. **Conclusion.** These observations underscore the existence of sex-specific adaptations in the diving reflex, characterized by a more pronounced reflex constriction of peripheral vessels and dilation of pulmonary vessels in women. Such physiological distinctions likely offer females greater resilience in extreme diving conditions. Further exploration of these distinctions and their mechanisms could significantly contribute to our understanding of adaptive defense strategies and the potential for pathological outcomes related to inadequate adaptation.

**Keywords:** diving reflex, reflex bradycardia, reflex vasoconstriction, dilatation of pulmonary vessels, impedance rheography, photoplethysmography, sex differences, adaptive responses

**For citation:** Zemlyanukhina T.A., Karpova M.A., Vankova A.D., Baranova T.I., Fedorova E.Yu., Nalobina A.N. Adaptive protective mechanisms during diving in men and women. *Human. Sport. Medicine.* 2024;24(3):31–41. (In Russ.) DOI: 10.14529/hsm240304

**Введение.** Знание естественных механизмов защиты от экстремальных факторов окружающей среды является ключом к управлению организмом человека. Например, у вторично-водных амниот важнейшей универсальной формой адаптации к нырянию является нырятельный рефлекс, сопровождающийся рефлексом апноэ, брадикардии, периферической вазоконстрикции и избирательного перераспределения кровотока. Кровоснабжение прекращается к органам, способным выдержать временную гипоксию, и перераспределяется в мозг и сердце [1, 2, 9, 12, 27].

Человек демонстрирует реакцию подобно ныряющим млекопитающим. В настоящее время установлен факт увеличения притока

крови в легкие при нырянии. Это происходит из-за уменьшения объема воздуха в легких и, как следствие, увеличения гипербарического фактора, воздействующего на организм при погружении. Предполагается, что усиление притока крови в сосуды легких оказывает защитное действие и способствует максимальной реализации нырятельного рефлекса объема грудной клетки. Недавно мы сообщили о расширении легочных сосудов при имитации нырятельного рефлекса с латентным периодом 2–4 с, что свидетельствует о том, что вегетативная нервная система (ВНС) действовала раньше гипербарического фактора [4]. Однако показатели, характерные для рефлекторного расширения легочных сосудов, имели боль-

шой разброс. Мы решили проверить, может ли половой фактор влиять на механизмы нырятельной реакции.

Половые особенности адаптации организма к экстремальным факторам внешней среды в настоящее время остаются недостаточно изученными. Изучение ныряльщиков разных этнических групп, связанных с добычей жемчуга или продуктов питания, позволяет сделать важное наблюдение: большинство дайверов – женщины [8]. Но связано ли это с традициями, культурой или физиологическими особенностями мужчин и женщин, предпочитающих дайвинг, еще неизвестно, в связи с чем мы поставили перед собой цель изучить адаптивные сердечно-сосудистые реакции при имитации нырятельного рефлекса и их отличие у мужчин и женщин.

**Материалы и методы.** *Набор испытуемых и сбор данных.* В исследование были включены 99 здоровых добровольцев (49 женщин и 50 мужчин) без специальной физической подготовки. Все испытуемые (студенты Санкт-Петербургского государственного университета, Россия) были проинформированы о целях, задачах и методах исследования и дали свое добровольное согласие, подписав форму информированного согласия. Все испытуемые участвовали в исследовании добровольно и не получили прямой выгоды от исследования (финансового вознаграждения). Информация об общих результатах исследования или личные данные предоставлялись заинтересованным лицам. На момент эксперимента ни один из добровольцев не страдал атеросклерозом или диабетом и не принимал никаких лекарств. Испытуемых попросили отказаться от курения или употреблять кофе как минимум за два часа до исследования. Краткий перечень характеристик групп представлен в табл. 1. Исследование одобрено Комитетом по этике исследований на людях СПбГУ (№ 40 от 07.03.2012).

*Экспериментальная модель нырятельного рефлекса у человека.* Активацию нырятельного рефлекса осуществляли погружением лица в холодную воду в лабораторных условиях. Как известно [17], оптимальным для проявления нырятельного рефлекса является градиент температуры между воздухом и водой в 10 °С, в наших экспериментах температура воды составляла  $13,9 \pm 2,5$  °С, а температура воздуха –  $20,1 \pm 3,4$  °С. Перед началом

эксперимента все испытуемые находились в лаборатории не менее 30–40 мин и адаптировались к местной температуре. Процедуру проводили на испытуемом, который лежал в положении лицом вниз на кушетке с руками вдоль тела [15]. В ходе экспериментальной процедуры все испытуемые держали руки на линии сердца, не меняли этого положения. Было выполнено три погружения лица на нормальном выдохе в холодную воду. Продолжительность первого погружения ограничивалась ощущением первого дискомфорта. Первое погружение считалось ориентировочным. Второе и третье погружения осуществляли на максимальной задержке. Пауза между погружениями составляла 2–3 мин.

*Измерения физиологических параметров.* Перед экспериментальной процедурой записывали электрокардиограмму (ЭКГ) для диагностики наличия отклонений. В течение всего эксперимента (отдых, имитация нырятельного рефлекса и восстановление) постоянно регистрировали ЭКГ, артериальное давление (АД) и центральный кровоток. Реограмму регистрировали методом комплексной реографии тела по Тищенко (импедансно-кардиографический метод оценки общего системного кровотока Тищенко) [5] с использованием РГПА-6/12 «Реан-Поли» (Медиком-МТД, Россия). Кровоток в конечностях – в указательном пальце левой руки – регистрировали с помощью фотоплетизмограммы (ФПГ). Реограмму легочной артерии регистрировали импедансным методом исследования кровотока в правой легочной артерии (ПАЛКО) [3, 21, 23]. При этом использовали физиологические параметры: дикротический индекс (ДКИ, %; отражает сосудистый тонус резистентных сосудов системы легочной артерии) и диастолический индекс (ДСИ, %; отражает соотношение венозного оттока и артериального кровоснабжения). Для оценки кровотока в конечностях использовали показатели: амплитуду пульсовой волны (PWA, пм) и время распространения пульсовой волны (РТТ, мс). Показатели рассчитывались на основании записей фотоплетизмограммы с помощью программы Rean-Poly (версия Elite). Ранее сообщалось, что PWA косвенно отражает сосудистую перфузию дистальной фаланги кисти и существенно зависит от симпатических влияний вегетативной нервной системы [6]. Частоту сердечных сокращений (ЧСС), систолическое и

диастолическое АД регистрировали осциллоскопическим методом (AND UA-797, Япония). Артериальное давление регистрировали также непрерывно для определения латентного периода изменения АД посредством прибора Finometer (FMS, Нидерланды). Напряжение кислорода и углекислого газа в выдыхаемом воздухе после задержки дыхания во время погружения регистрировали с помощью микропроцессорного анализатора (МФ01, НПЦ «Экология и здоровье» – ЦЭЗ, Россия).

*Статистический анализ.* Статистический анализ проводился с использованием статистического пакета для Windows 7 (MS Excel 2010, Origin Pro 2015 версия b9.2). Для оценки значимости различий в выборках с нормальным распределением рассчитывали Т-критерий. Значения  $P < 0,05$  считались статистически значимыми.

**Результаты.** Задача исследования состояла в изучении врожденного нырятельного рефлекса у человека без адаптации к нырянию. Согласно протоколу исследований, все испытуемые не имели специальной физической подготовки и никогда не занимались фридайвингом. В соответствии с инструкциями испытуемые не подвергались гипервентиляции перед погружением лица. Средние значения в группах женщин и мужчин составили: масса тела, кг –  $58,6 \pm 8,5$  и  $73,4 \pm 10,7$ ; длина тела, см –  $165,7 \pm 6,2$  и  $178,9 \pm 6,2$ ; ИМТ –  $21,4 \pm 3,1$  и  $22,8 \pm 2,5$ ; возраст, лет –  $21,9 \pm 2,9$  и  $24,2 \pm 4,7$ .

Средняя продолжительность апноэ при имитации нырятельного рефлекса в основной группе составила  $34,5 \pm 13,3$  с. У всех испытуемых альвеолярное  $PCO_2$  было достоверно снижено, а альвеолярное  $PCO_2$  достоверно повышено в выдыхаемом воздухе после задержки дыхания с погружением лица в воду по сравнению с контрольным уровнем ( $P < 0,05$ ). Парциальное давление в окружающем воздухе было следующее:  $PO_2 = 159,0$ ,  $PCO_2 = 0,28$  мм рт. ст., до апноэ при обычном дыхании парциальное давление в выдыхаемом воздухе –  $PO_2 = 123,0 \pm 6,4$  мм рт. ст.,  $PCO_2 = 39,1 \pm 7,1$  мм рт. ст., в конце имитации нырятельного рефлекса –  $PO_2 = 95,1 \pm 7,1^*$  мм рт. ст.,  $PCO_2 = 48,9 \pm 6,5^*$  мм рт. ст.

*Показатели системного кровообращения при осуществлении водолазной реакции.* Анализ показателей работоспособности сердца в состоянии покоя не выявил различий между мужчинами и женщинами по частоте сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), но были выявлены статистически значимые различия по показателю ударного объема (УО, мл) и минутного объема сердца (МОК, л). У мужчин МОК и УО были значительно выше, чем у женщин. При имитации нырятельного рефлекса ЧСС статистически достоверно снижалась как у мужчин, так и у женщин. Статистических различий между мужчинами и женщинами обнаружено не было. УО в обеих группах меняется незначительно. МОК при имитации нырятельного рефлекса снижается в обеих группах, но у мужчин этот показатель остается статистически значимо выше, чем у женщин (табл. 1).

*Изменения сосудистых реакций при имитации ныряния.* Отмечено (табл. 1), что в состоянии покоя, при моделировании погружений и в период восстановления показатель периферического кровоснабжения (РВА) у женщин ниже, чем у мужчин. РРТ у женщин было статистически достоверно ниже, чем у мужчин в состоянии покоя и в период восстановления, при имитации нырятельного рефлекса различий обнаружено не было. Статистически значимое повышение систолического и диастолического артериального давления обнаружено в обеих группах при имитации нырятельного рефлекса. САД было достоверно выше у мужчин до, во время и после имитации нырятельного рефлекса. По показателю ДАД различий между мужчинами и женщинами не обнаружено.

*Показатели легочного кровотока при реализации нырятельной реакции.* Статистически значимые различия между мужчинами и женщинами были обнаружены по обоим параметрам – DCI и DSI. У женщин этот показатель ниже. При этом наибольший уровень различий наблюдается при имитации ныряния. Это связано с тем, что у женщин при имитации ныряния индекс DCI существенно снижается, а у мужчин снижение этого индекса незначительно (табл. 2, рис. 1, 2).

Таблица 1  
Table 1

Половые различия показателей кровотока до, во время и после имитации нырятельного рефлекса  
Sex-specific differences in the blood flow parameters before, during, and after face immersion

Показатели Parameter	МОК, л/мин / CO, L/min		ЧСС, уд./мин / HR, bpm		УО, мл / SV, mL	
	Исходный уровень Control level	Имитация ныряния Diving simulation	Исходный уровень Control level	Восста- новление Recovery	Исходный уровень Control level	Восста- новление Recovery
Женщины Female (n = 49)	5,70 ± 0,09	4,98 ± 0,12 <sup>ooo</sup>	73,9 ± 1,0	63,6 ± 1,2 <sup>ooo</sup>	77,6 ± 1	81, ± 1
Мужчины Male (n = 50)	8,06 ± 0,16 <sup>***</sup>	7,31 ± 0,16 <sup>***ooo</sup>	74,8 ± 1,1	66 ± 1,1 <sup>ooo</sup>	107,8 ± 1,4 <sup>***</sup>	110,3 ± 1,5 <sup>***</sup>
Показатели Parameter	АПВ, мм / PWA, mm		СРПВ, мс / PTT, ms		ДАД, мм рт. ст. / DBP, mmHg	
	Исходный уровень Control level	Имитация ныряния Diving simulation	Исходный уровень Control level	Восста- новление Recovery	Исходный уровень Control level	Восста- новление Recovery
Женщины Female (n = 49)	0,57 ± 0,5	0,29 ± 0,2 <sup>ooo</sup>	194,90 ± 1,74 <sup>oo</sup>	195,37 ± 1,52	67,9 ± 1	68,8 ± 0,6
Мужчины Male (n = 50)	1,15 ± 0,08 <sup>***</sup>	0,47 ± 0,03 <sup>ooo***</sup>	198,56 ± 1,94 <sup>oo</sup>	203,04 ± 1,74 <sup>**</sup>	68,9 ± 1	70,1 ± 0,5

Примечание: ЧСС – частота сердечных сокращений; УО – ударная мощность; МОК – минутный выброс сердца. Достоверность различий (здесь и далее) оценивали с помощью t-критерия: \* – p < 0,05, \*\* – p < 0,01, \*\*\* – p < 0,001; уровень контроля/моделирование дайвинга: ° – p < 0,05, °° – p < 0,01, °°° – p < 0,001; моделирование/восстановление дайвинга: · – p < 0,05, ·· – p < 0,01, ··· – p < 0,001; уровень контроля/восстановления: ‘ – p < 0,05, ‘‘ – p < 0,01, ‘‘‘ – p < 0,001; АПВ – амплитуда пульсовой волны; СРПВ – время прохождения импульса; САД – систолическое артериальное давление; ДАД – диастолическое артериальное давление.

Note: HR – heart rate; SV – stroke volume; CO – cardiac output. The t-test was used to verify the statistical significance of differences: \* – p < 0,05, \*\* – p < 0,01, \*\*\* – p < 0,001; control level/diving simulation: ° – p < 0,05, °° – p < 0,01, °°° – p < 0,001; diving simulation/recovery: · – p < 0,05, ·· – p < 0,01, ··· – p < 0,001; control level/recovery: ‘ – p < 0,05, ‘‘ – p < 0,01, ‘‘‘ – p < 0,001; PWA – pulse wave amplitude; PTT – pulse transit time; SBP – systolic blood pressure; DBP – diastolic blood pressure.

Половые различия показателей кровотока до, во время и после имитации нырятельного рефлекса  
Sex-specific differences in the blood flow parameters before, during, and after face immersion

Показатели Parameter	ДСИ, % / DSI, %			ДКИ, % / DCI, %		
	Исходный уровень Control level	Имитация ныряния Diving simulation	Восстановление Recovery	Исходный уровень Control level	Имитация ныряния Diving simulation	Восстановление Recovery
Женщины Female (n = 49)	55,3 ± 0,8	50,5 ± 1,1 ooo	55,8 ± 0,7	52,9 ± 0,8	47,3 ± 1 ooo	51,0 ± 0,7 ..
Мужчины Male (n = 50)	58,0 ± 0,8	56,32 ± 1,2 ***	58,8 ± 0,8	55,3 ± 0,8	54,1 ± 1,2 ***	53,9 ± 0,8

Примечание. ДСИ – диастолический индекс; ДКИ – дикротический индекс бассейна правой легочной артерии.

Note. DSI – diastolic index; DCI – dicrotic index of the right pulmonary artery.

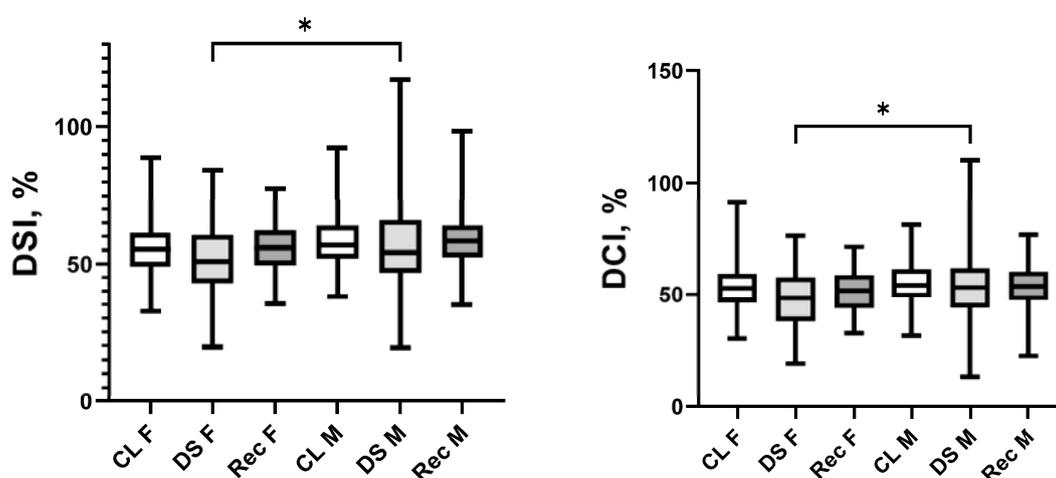


Рис. 1. Разница дикротических и диастолических индексов (DSI и DCI, %) между мужчинами (М) и женщинами (Ж). CL – уровень контроля; DSm – погружение лица; Rec – восстановление после погружения (\* – p < 0,05 – ДС Ф – ДС М)

Fig. 1. Difference in dicrotic and diastolic indices (DSI and DCI, %) between males (M) and females (F). CL – control level; DSm – face immersion; Rec – recovery after diving (\* – p < 0.05 – DS F – DS M)

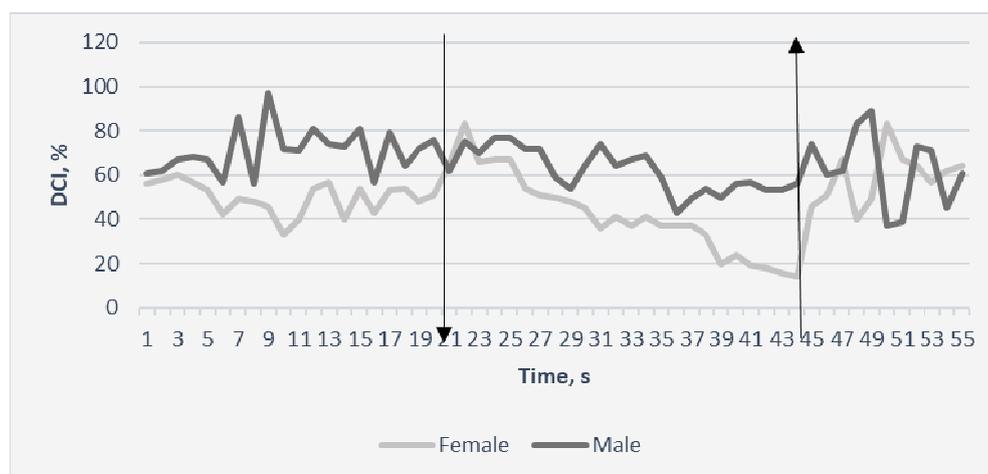


Рис. 2. Пример динамики дикротического индекса (DCI) во время имитации ныряния у мужчины и женщины.

Стрелка вниз указывает на начало погружения, стрелка вверх указывает на окончание погружения  
Fig. 2. An example of the dynamics of the dicrotic index (DCI) during face immersion in a man and a woman.

The down arrow indicates the start of immersion; the up arrow indicates its end

**Заключение.** Нырятельный рефлекс человека можно вызвать, имитируя ныряние, т. е. погружая лицо в воду на задержанном дыхании [17]. При этом сигналы от холодовых и тактильных рецепторов кожи лица, баро- и хеморецепторов системы кровообращения, механорецепторов системы дыхания поступают в дорзальное ядро блуждающего нерва, а затем по холинергическим волокнам к синоатриальному узлу сердца, вызывая брадикардию. При длительном апноэ на максимальной задержке дыхания могут усиливаться также адренергические влияния на сердце. Эффекторный ответ сердца на суммарное влияние на синоатриальный узел сердца холинергических и адренергических рефлекторных влияний зависит также от фонового состояния клеток синоатриального узла; это состояние, в свою очередь, зависит от различных нейропептидов, выделяемых кардиомиоцитами и эндотелиальной тканью сердца и влияющих на синоатриальный узел прямо или косвенно вместе с классическими нейромедиаторами.

Нами установлена высокая индивидуальная изменчивость приспособительных реакций нырятельной реакции, что можно объяснить текущим гормональным статусом организма испытуемых мужчин и женщин (в частности, половыми гормонами). Анализ сердечно-сосудистых реакций у мужчин и женщин выявил статистически значимо более высокие значения ударного и минутного объема сердца, систолического артериального давления у мужчин, что согласуется с данными других исследователей. Различия объясняются меньшим размером сердца, толщиной миокарда и, следовательно, более низкой функциональной способностью (УО и МОК) у женщин, чем у мужчин [7, 18, 19, 23, 26].

Наши исследования показывают, что систолическое артериальное давление действительно выше у мужчин, чем у женщин во всех состояниях: в покое, во время симуляции ныряния и в период восстановления, однако по диастолическому артериальному давлению различий не выявлено. Не выявлено различий и по показателю, отражающему тонус периферических сосудов – PWA, в то время как кровенаполнение периферических сосудов у мужчин выше. При реализации нырятельной реакции у всех испытуемых наблюдалось снижение PWA и PTT, свидетельствующее о рефлекторном сужении периферических сосудов, причем кровоток в этом состоянии

у мужчин выше, что можно объяснить более высоким УО.

В настоящее время точно установлено, что при нырянии с задержкой дыхания увеличивается приток крови к легким [16], что является защитным механизмом, предотвращающим обжатию грудной клетки при нырянии. В наших предыдущих работах мы установили, что расширение легочных сосудов происходит рефлекторно [4]. Также было отмечено, что параметры DCI и DSI, которые характеризуют тонус легочных сосудов, имели большую среднюю групповую дисперсию во время реакции на ныряние, что позволяет предположить различную реакцию легочных сосудов испытуемых при формировании нырятельной реакции. В данном исследовании мы сравнили реакцию ныряния у мужчин и женщин и обнаружили, что у женщин рефлекторное расширение легочных сосудов во время реакции ныряния выражено лучше. Как это можно объяснить?

Легочные сосуды иннервируются вегетативными симпатическими и парасимпатическими нервными волокнами. По многочисленным наблюдениям, парасимпатическая активность у женщин выше, чем у мужчин, что объясняется модулирующим влиянием на вегетативную регуляцию женских половых гормонов. Было показано, что внутривенное или внутримозговое введение эстрогена повышает тонус блуждающего нерва и подавляет симпатическую эфферентную активность у самок и самцов крыс после овариэктомии [24, 25]. Есть данные, что эстрогены повышают плотность [10, 13, 20] и возбудимость афферентных окончаний блуждающего нерва в ядре одиночного пути (NTS) [22]. Эстроген также увеличивает выработку оксида азота, который, как известно, пресинаптически ингибирует высвобождение норадреналина [14]. Эти различия формируются половыми гормонами как на уровне ЦНС, так и на уровне периферических эффекторов [11]. Вероятно, при реализации нырятельной реакции у женщин эстрогены лимитируют адренергические воздействия и потенцируют холинергические, что способствует более выраженной рефлекторной дилатации легочных сосудов и наполнению их кровью.

Выявленное при реализации нырятельной реакции более выраженное рефлекторное сужение периферических сосудов и расширение легочных сосудов, вероятно, обеспечивает

женскому организму повышенную защиту в экстремальных условиях дайвинга, и, возможно, наблюдение Brylske (2012) о том, что большинство дайверов – женщины, обусловлено не только традициями, но и преимуществами женского организма.

Знание половых различий важно для по-

нимания механизмов адаптивной защиты, а также для оценки риска срыва адаптации и формирования на этой основе патологических отклонений (например, отека легких в гипер- и гипобарических условиях), а также необходимы для правильной организации тренировочного процесса пловцов подводного плавания.

### Список литературы

1. Галанцев, В.П. Проблемы изучения стратегии эволюционного формирования адаптаций вторичноводных амниот: основные понятия, методологические подходы, задачи / В.П. Галанцев // Структурно-функциональные основы приспособительных реакций на разных уровнях организации живых систем (Нервная система, вып. 34). – СПб., 2001. – С. 91–104.

2. Галанцев, В.П. Эволюция адаптаций ныряющих животных: Экологические и морфофизиологические аспекты / В.П. Галанцев. – Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1977. – 191 с.

3. Зенков, Л.Р. Функциональная диагностика нервных болезней: Руководство для врачей / Л.Р. Зенков, М.А. Ронкин. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 1991. – 639 с.

4. Особенности гемодинамики малого круга кровообращения при нырятельном рефлекс / Е.Ю. Подъячева, Т.А. Землянухина, Л.В. Шадрин, Т.И. Баранова // Биологич. коммуникации. – 2020. – Т. 65, № 3. – С. 244–251.

5. Тищенко, М.И. Измерение ударного объема методом интегральной реографии тела человека / М.И. Тищенко // Физиол. журнал СССР. – 1973. – № 59 (8). – С. 1216–1224.

6. Alian, A.A. Photoplethysmography / A.A. Alian, K.H Shelley // Best practice & research clinical anaesthesiology. – 2014. – Vol. 28. – P. 395–406.

7. Bassareo, P.P. Gender Differences in Hemodynamic Regulation and Cardiovascular Adaptations to Dynamic Exercise / P.P. Bassareo, A. Crisafulli // Current Cardiology Reviews. – 2020. – Vol. 16 (1). – P. 65–72. DOI: 10.2174/1573403X15666190321141856

8. Brylske, A. The Complete Diver: The History, Science and Practice of Scuba Diving / A. Brylske. – Kansas: Dive Training LLC, 2012. – 329 p.

9. Butler, P. J. Physiology of diving of birds and mammals / P. J. Butler, D. R. Jones // Physiological Reviews. – 1997. – Vol. 77 (3). – P. 837–899. DOI: 10.1152/physrev.1997.77.3.837

10. Ciriello, J. Effect of estrogen on vagal afferent projections to the brainstem in the female / J. Ciriello, M.M. Caverson // Brain Results. – 2016. – Vol. 1636. – P. 21–42. DOI: 10.1016/j.brainres.2016.01.041

11. Du, X.J. Cardiovascular protection by oestrogen is partly mediated through modulation of autonomic nervous function / X.J. Du, R.A. Riemersma, A.M. Dart // Cardiovasc Results. – 1995. – Vol. 30. – P. 161–165.

12. Elsner, R. W. Diving mammals / R.W. Elsner // Science Journal. – 1970. – Vol. 6 (4). – P. 69–74.

13. Estradiol 17 $\beta$  increases the number of muscarinic receptors in hypothalamic nuclei / T.C. Rainbow, V. Degroff, V.N. Luine, B.S. McEwen // Brain Research. – 1980. – Vol. 198. – P. 239–243.

14. Gender difference in myogenic tone of rat arterioles is due to estrogen-induced, enhanced release of NO / A. Huang, D. Sun, A. Koller et al. // American Journal of Physiology. – 1997. – Vol. 272. – P. 1804–1809.

15. 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. // American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology. – 2017. – Vol. 312 (3). – P. 622–631. DOI: 10.1152/ajpheart.00080.2016

16. Going to Extremes of Lung Physiology-Deep Breath-Hold Diving / K. Tetzlaff, F. Lemaitre, C. Burgstahler et al. // Front Physiology. – 2021. – Vol. 9. – No. 12. – P. 710429. DOI: 10.3389/fphys.2021.710429

17. Gooden, B.A. Mechanism of the human diving response / B.A. Gooden // Integrative Psychological and Behavioral Science. – 1994. – Vol. 29. – P. 6–16.

18. Huxley, V.H. Sex and the cardiovascular system: the intriguing tale of how women and men regulate cardiovascular function differently / V.H. Huxley // Advances in physiology education. – 2007. – Vol. 31 (1). – P. 17–22. DOI: 10.1152/advan.00099.2006

19. Multi-channel bioimpedance system for detecting vascular tone in human limbs: an approach sensors / A. Hammoud, A. Tikhomirov, G. Myasishcheva et al. // *Sensors*. – 2022. – Vol. 22. – P. 138.
20. Muscarinic receptors in preoptic area and hypothalamus: Effects of cyclicality, sex and estrogen treatment / K. Olsen, E. Edwards, N. Schechter et al. // *Brain Research*. – 1988. – Vol. 448. – P. 223–229.
21. Palko, T. Impedance rheography for systemic and pulmonary circulation study and clinical application / T. Palko // In *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography, IFMBE, Graz, Austria, 29 August – 2 September 2007* / Eds. H. Scharfetter, R. Merwa. – Springer: Berlin/Heidelberg, Germany, 2007. – Vol. 17.
22. Qiao, G.F. 17-Estradiol restores excitability of a sexually dimorphic subset of myelinated vagal afferents in ovariectomized rats / G.F. Qiao, B.Y. Li, Y.J. Lu // *American Journal of Physiology-cell Physiology*. – 2009. – Vol. 297. – P. 654–664. DOI: 10.1152/ajpcell.00059.2009
23. Relation of blood pressure and body build to left ventricular mass in normotensive and hypertensive employed adults / I.W. Hammond, R.B. Devereux, M.H. Alderman, J.H. Laragh // *Journal of the American College of Cardiology*. – 1988. – Vol. 12. – P. 996–1004.
24. Saleh, T.M. Centrally mediated effect of 17beta-estradiol on parasympathetic tone in male rats / T.M. Saleh, B.J. Connell // *American Journal of Physiology*. – 1999. – Vol. 276. – P. 474–481.
25. Saleh, M.C. Medullary and intrathecal injections of 17beta-estradiol in male rats / M.C. Saleh, B.J. Connell, T.M. Saleh // *Brain Research*. – 2000. – Vol. 867. – P. 200–209.
26. Sex differences in left ventricular anatomy, blood viscosity and volume regulatory hormones in normal adults / G. de Simone, R.B. Devereux, M.J. Roman et al. // *American Journal of Cardiology*. – 1991. – Vol. 68. – P. 1704–1708.
27. Thompson, D. Cardiac responses of grey seals during diving at sea / D. Thompson, M. A. Fedak // *Journal of Experimental Biology*. – 1993. – Vol. 174. – P. 139–154.

## References

1. Galantsev V.P. [Problems of Studying the Strategy of Evolutionary Formation of Adaptations of Secondary Amniotes. Basic Concepts, Methodological Approaches, Tasks]. *Strukturno-funktsional'nyye osnovy prispособitel'nykh reaktsiy na raznykh urovnyakh organizatsii zhivyykh sistem* [Structural and Functional Foundations of Adaptive Reactions at Different Levels of Organization of Living Systems], 2001, iss. 34, pp. 91–104. (in Russ.)
2. Galantsev V.P. *Evolutsiya adaptatsiy nyryayushchikh zhivotnykh: ekologicheskiye i morfologicheskiye aspekty* [Evolution of Adaptations of Diving Animals. Ecological and Morphophysiological Aspects]. Leningrad, Science Publ., 1977. 191 p.
3. Zenkov L.R. *Funktsional'naya diagnostika nervnykh bolezney: Rukovodstvo dlya vrachey* [Functional Diagnosis of Nervous Diseases]. Moscow, Medicine Publ., 1991. 639 p.
4. Podyacheva E.Yu., Zemlyanukhina T.A., Shadrin L.V., Baranova T.I. [Features of Hemodynamics of the Pulmonary Circulation During the Diving Reflex]. *Biologicheskiye kommunikatsii* [Biological Communications], 2020, vol. 65, no. 3, pp. 244–251. (in Russ.) DOI: 10.21638/spbu03.2020.304
5. Tishchenko M.I. [Measurement of Stroke Volume by the Method of Integral Rheography of the Human Body]. *Fiziologicheskiy zhurnal SSSR* [Physiological Journal of the USSR], 1973, no. 59 (8), pp. 1216–1224. (in Russ.)
6. Alian A.A., Shelley K.H. Photoplethysmography. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*, 2014, vol. 28, pp. 395–406. DOI: 10.1016/j.bpa.2014.08.006
7. Bassareo P.P., Crisafulli A. Gender Differences in Hemodynamic Regulation and Cardiovascular Adaptations to Dynamic Exercise. *Current Cardiology Reviews*, 2020, vol. 16 (1), pp. 65–72. DOI: 10.2174/1573403X15666190321141856
8. Brylske A. *The Complete Diver: The History, Science and Practice of Scuba Diving*. Kansas, Dive Training LLC, 2012. 329 p.
9. Butler P.J., Jones D.R. Physiology of Diving of Birds and Mammals. *Physiological Reviews*, 1997, vol. 77 (3), pp. 837–899. DOI: 10.1152/physrev.1997.77.3.837

10. Ciriello J., Caverson M.M. Effect of Estrogen on Vagal Afferent Projections to the Brainstem in the Female. *Brain Results*, 2016, vol. 1636, pp. 21–42. DOI: 10.1016/j.brainres.2016.01.041
11. Du X.J., Riemersma R.A., Dart A.M. Cardiovascular Protection by Oestrogen is Partly Mediated Through Modulation of Autonomic Nervous Function. *Cardiovasc Results*, 1995, vol. 30, pp. 161–165. DOI: 10.1016/S0008-6363(95)00030-5
12. Elsner R.W. Diving Mammals. *Science Journal*, 1970, vol. 6 (4), pp. 69–74.
13. Rainbow T.C., Degroff V., Luine V.N., McEwen B.S. Estradiol 17 $\beta$  Increases the Number of Muscarinic Receptors in Hypothalamic Nuclei. *Brain Research*, 1980, vol. 198, pp. 239–243. DOI: 10.1016/0006-8993(80)90362-5
14. Huang A., Sun D., Koller A. et al. Gender Difference in Myogenic Tone of Rat Arterioles is Due to Estrogen-induced, Enhanced Release of NO. *American Journal of Physiology*, 1997, vol. 272, pp. 1804–1809. DOI: 10.1152/ajpheart.1997.272.4.H1804
15. 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. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 2017, vol. 312 (3), pp. 622–631. DOI: 10.1152/ajpheart.00080.2016
16. Tetzlaff K., Lemaitre F., Burgstahler C. et al. Going to Extremes of Lung Physiology-Deep Breath-Hold Diving. *Front Physiology*, 2021, vol. 9, 12:710429. DOI: 10.3389/fphys.2021.710429
17. Gooden B.A. Mechanism of the Human Diving Response. *Integrative Psychological and Behavioral Science*, 1994, vol. 29, pp. 6–16. DOI: 10.1007/BF02691277
18. Huxley V.H. Sex and the Cardiovascular System: the Intriguing Tale of how Women and Men Regulate Cardiovascular Function Differently. *Advances in Physiology Education*, 2007, vol. 31 (1), pp. 17–22. DOI: 10.1152/advan.00099.2006
19. Hammoud A., Tikhomirov A., Myasishcheva G. et al. Multi-channel Bioimpedance System for Detecting Vascular Tone in Human Limbs: an Approach. *Sensors*, 2022, vol. 22, p. 138. DOI: 10.3390/s22010138
20. Olsen K., Edwards E., Schechter N. et al. Muscarinic Receptors in Preoptic Area and Hypothalamus: Effects of Cyclicity, Sex and Estrogen Treatment. *Brain Research*, 1988, vol. 448, pp. 223–229. DOI: 10.1016/0006-8993(88)91259-0
21. Palko T. Impedance Rheography for Systemic and Pulmonary Circulation Study and Clinical Application. In *Proceedings of the 13<sup>th</sup> International Conference on Electrical Bioimpedance and the 8th Conference on Electrical Impedance Tomography*, 2007, vol. 17.
22. Qiao G.F., Li B.Y., Lu Y.J. 17-Estradiol Restores Excitability of a Sexually Dimorphic Subset of Myelinated Vagal Afferents in Ovariectomized Rats. *American Journal of Physiology-cell Physiology*, 2009, vol. 297, pp. 654–664. DOI: 10.1152/ajpcell.00059.2009
23. Hammond I.W., Devereux R.B., Alderman M.H., Laragh J.H. Relation of Blood Pressure and Body Build to Left Ventricular Mass in Normotensive and Hypertensive Employed Adults. *Journal of the American College of Cardiology*, 1988, vol. 12, pp. 996–1004. DOI: 10.1016/0735-1097(88)90467-6
24. Saleh T.M., Connell B.J. Centrally Mediated Effect of 17beta-estradiol on Parasympathetic Tone in Male Rats. *American Journal of Physiology*, 1999, vol. 276, pp. 474–481. DOI: 10.1152/ajpregu.1999.276.2.R474
25. Saleh M.C., Connell B.J., Saleh T.M. Medullary and Intrathecal Injections of 17beta-estradiol in Male Rats. *Brain Research*, 2000, vol. 867, pp. 200–209. DOI: 10.1016/S0006-8993(00)02313-1
26. De Simone G., Devereux R.B., Roman M.J. et al. Sex Differences in Left Ventricular Anatomy, Blood Viscosity and Volume Regulatory Hormones in Normal Adults. *American Journal of Cardiology*, 1991, vol. 68, pp. 1704–1708. DOI: 10.1016/0002-9149(91)90333-G
27. Thompson D., Fedak M.A. Cardiac Responses of Grey Seals During Diving at Sea. *Journal of Experimental Biology*, 1993, vol. 174, pp. 139–154. DOI: 10.1242/jeb.174.1.139

#### **Информация об авторах**

**Землянухина Татьяна Андреевна**, аспирант кафедры общей физиологии, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

**Карпова Мария Александровна**, студент кафедры физической культуры и спорта, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

**Ванькова Анна Дмитриевна**, студент кафедры физической культуры и спорта, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

**Баранова Татьяна Ивановна**, доктор биологических наук, доцент, доцент кафедры физической культуры и спорта, Санкт-Петербургский государственный университет, Санкт-Петербург, Россия.

**Федорова Елена Юрьевна**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры адаптологии и спортивной подготовки, Московский городской педагогический университет, Москва, Россия.

**Налобина Анна Николаевна**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры адаптологии и спортивной подготовки, Московский городской педагогический университет, Москва, Россия.

***Information about the authors***

**Tatyana A. Zemlyanukhina**, Postgraduate Student, Department of General Physiology, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

**Maria A. Karpova**, Undergraduate Student, Department of Physical Education and Sports, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

**Anna D. Vankova**, Undergraduate Student, Department of Physical Education and Sports, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

**Tatyana I. Baranova**, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Physical Education and Sports, St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia.

**Elena Yu. Fedorova**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Adaptology and Sports Training, Moscow City University, Moscow, Russia.

**Anna N. Nalobina**, Doctor of Biological Sciences, Professor, Professor of the Department of Adaptology and Sports Training, Moscow City University, Moscow, Russia.

***Вклад авторов:*** все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

***Contribution of the authors:*** the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

***Статья поступила в редакцию 30.04.2024***  
***The article was submitted 30.04.2024***