Павлюченко О.В.¹, Малиновский Г.Ф.²

¹ 2-я центральная районная поликлиника Фрунзенского района г. Минска, Минск, Беларусь

² Белорусская медицинская академия последипломного образования, Минск, Беларусь

Pauliuchenka A.¹, Malinovsky G.²

¹ 2 Central District Polyclinic of the Frunzensky District of Minsk, Minsk, Belarus

² Belarusian Medical Academy of Postgraduate Education, Minsk, Belarus

Влияние дыхательных упражнений на показатели гидро- и гемодинамики у фридайверов

The Influence of Breathing Exercises on the Indices of Hydro-
and Hemodynamics in Freedivers

Резюме

Цель. Исследование влияния дыхательных упражнений на показатели гидро- и гемодинамики фридайверов во время выполнения ими тренировочного процесса.

Материалы и методы. В исследовании участвовали фридайверы, которые были разделены на основную (30 человек) и контрольную (32 человека) группы. В процессе тренировки фиксировались показатели гемо- и гидродинамики. Фридайверам основной группы в процесс тренировки включали дыхательные упражнения по запатентованной авторами методике, фридайверы контрольной группы данные упражнения не выполняли.

Результаты и выводы. 1. Обнаружена сильная корреляционная связь между SAP и DAP, а также между IOP OD и OS на всех уровнях исследования в обеих группах на уровне $R_s > 0,35$. Проявлялось это в том, что при снижении систолического давления снижается и диастолическое давление. При повышении – та же зависимость. Также можно сделать вывод о симметричном изменении офтальмотонуса на обоих глазах. 2. В процессе тренировки фридайверов, которая основана прежде всего на расслаблении организма в стрессовых условиях, все исследуемые показатели начинают более тесно коррелировать друг с другом: усиливается корреляционная связь между SAP и DAP, а также между IOP обоих глаз. Появляется статистически значимая корреляционная зависимость между SAP и IOP, что говорит о влиянии систолического артериального давления на уровень офтальмотонуса после перенесенного гипоксического стресса. Также найдена связь между DAP и SO_2 , DAP и Pulse. Проявлялось это в том, что после тренировки в условиях гипоксии нормализация DAP коррелирует с нормализацией SO_2 и восстановлением частоты сердечных сокращений (Pulse) до нормальных значений. То есть диастолическое давление (DAP) больше коррелирует с уровнем насыщения крови кислородом (SO_2) и частотой сердечных сокращений (Pulse). А уровень систолического артериального давления (SAP) тесно коррелирует с внутриглазным давлением (IOP). 3. При нагрузке (выполнение упражнений, задержка дыхания) характерно статистически значимое увеличение частоты сердечных сокращений на уровне $p < 0,006$ у всех фридайверов начального уровня подготовки. 4. После тренировки с задержкой дыхания и погружения на глубину (до 6 метров) характерно повышение внутриглазного давления на обоих глазах

на уровне $p < 0,0001$, а также статистически значимая корреляция между повышением ВГД на правом и левом глазу (то есть повышается симметрично). Включение в период восстановления дыхательных упражнений по предложенной методике позволяет более эффективно нормализовать офтальмотонус. 5. Плавание с задержкой дыхания статистически значимо снижает уровень насыщения крови кислородом, измеряемый на периферии (пальцы рук), на уровне $T=25,00$, $p < 0,0001$. 6. После полного цикла тренировки статистически значимо, но в пределах нормальных значений снижается уровень артериального давления (SAP и DAP), частота сердечных сокращений (Pulse) по сравнению с первоначальными данными на уровне доказательности $p < 0,01$ для всех показателей.

Ключевые слова: фридайвинг, давление, стресс.

Abstract

Purpose. To study the effect of breathing exercises on the indices of hydro- and hemodynamics of freedivers during their training process.

Materials and methods. The study involved freedivers divided into the main group (30 people) and the control group (32 people). In the process of training, the indices of hemo- and hydrodynamics were recorded. Freedivers of the main group included breathing exercises in the training process according to the method patented by the authors, freedivers of the control group did not perform these exercises.

Results and conclusions. 1. A strong correlation was found between SAP and DAP, as well as between IOP OD and OS at all levels of the study in both groups at $R_s > 0.35$. This was manifested in the fact that with a decrease in systolic pressure, diastolic pressure also decreases. With an increase, the same dependence. It can also be concluded that there is a symmetrical change in IOP in both eyes. 2. In the process of training freedivers, which is based primarily on the relaxation of the body under stressful conditions, all the studied parameters begin to correlate more closely with each other. Namely, the correlation between SAP and DAP, as well as between the IOPs of both eyes, is enhanced. There is a statistically significant correlation between SAP and IOP, which indicates the effect of systolic blood pressure on the level of IOP after hypoxic stress. Also found a connection between DAP and SO_2 , DAP and Pulse. This was manifested by the fact that after training under hypoxic conditions, the normalization of DAP correlates with the normalization of SO_2 and the restoration of the heart rate (Pulse) to normal values. That is, diastolic pressure (DAP) is more correlated with blood oxygen saturation (SO_2) and heart rate (Pulse). And the level of systolic blood pressure (SAP) is closely correlated with intraocular pressure (IOP). 3. Under load (exercise performance, breath holding), a statistically significant increase in heart rate at the level of $p < 0.006$ is characteristic for all freedivers of the entry level training. 4. After training with breath-holding and diving to a depth (up to 6 meters), an increase in intraocular pressure in both eyes at the level of $p < 0.0001$ is characteristic, as well as a statistically significant correlation between an increase in IOP in the right and left eyes (that is, it rises symmetrically). The inclusion of breathing exercises during the recovery period according to the proposed method allows for more effective normalization of IOP. 5. Swimming with holding the breath statistically significantly reduces the level of blood oxygen saturation, measured at the periphery (fingers) at the level of $T=25.00$, $p < 0.0001$. 6. After a full training cycle, the level of blood pressure (SAP and DAP) and heart rate (Pulse) are statistically significant, but within normal limits, compared with the initial data at the level of evidence $p < 0.01$ for all parameters.

Keywords: freediving, pressure, stress.

Фридайвинг (от англ. free – свободно, dive – нырять) – подводное плавание с задержкой дыхания (апноэ).

■ ВВЕДЕНИЕ

При погружении на глубину тело человека испытывает перегрузки. На глубине 10 метров внешнее давление возрастает в два раза. Концентрация кислорода в легких возрастает, он легче проникает в кровь, и желания дышать не возникает. Чем глубже погружение, тем больше возрастает концентрация кислорода. Однако при всплытии наблюдается обратная картина: давление кислорода в легких начинает быстро падать. Именно этот период считается самым опасным для фридайвера из-за возможного резкого развития острого гипоксического состояния [1].

Тело человека содержит воздушные полости, и давление газа в них может отличаться от окружающего. Как известно, при постоянной температуре давление газа в замкнутом сосуде подчиняется закону Бойля – Мариотта: изменяется обратно пропорционально объему сосуда. Во время погружения с увеличением гидростатического давления объем воздуха в воздушных полостях организма человека (легких, полостях черепа, желудочно-кишечном тракте) и в подмасочном пространстве стремится уменьшиться из-за действующего на него давления. Полости черепа ограничены жесткими костными стенками и поэтому практически несжимаемы. При погружении объем воздуха в них почти не изменяется, поэтому его давление оказывается ниже окружающего. Разность давлений деформирует ткани, прилегающие к полости, и вызывает болевые ощущения. Именно это происходит в ухе и глазных яблоках [1]. Как известно, повышение внутриглазного давления (ВГД) часто происходит бессимптомно и человек этого не ощущает [6], в то время как при давлении на барабанную перепонку возникает боль.

■ ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение влияния дыхательных упражнений на показатели гидро- и гемодинамики фридайверов во время выполнения ими тренировочного процесса.

■ МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для нормальных данных использовалась запись, где $\bar{x} \pm 1,96 \cdot SE$, Me_{50} [LQ_{25} ; UQ_{75}] ДИ 95%. Обработка статистических данных выполнена при помощи программы Statistica 8.0, Statistica Soft Inc. (США), Сер № 31415926535897.

Все фридайверы, участвующие в исследовании, были соматически здоровы, не имели острых заболеваний и хронических в период обследования. У всех фридайверов, участвующих в исследовании, бралось информированное согласие на исследование и обработку полученных результатов.

В процессе тренировки исследовались показатели:

- систолическое артериальное давление (SAP);
- диастолическое артериальное давление (DAP);
- частота сердечных сокращений (Pulse);
- степень насыщения крови кислородом (SO_2);
- внутриглазное давление правого (IOP D) и левого (IOP S) глаз.

Измерение артериального давления и частоты сердечных сокращений проводилось на тонометре Microlife, SN: 2020-02-2500365.

Измерение сатурации крови и частоты сердечных сокращений проводилось при помощи пульсоксиметра Heal Force, SN: 20036407631.

Измерение внутриглазного давления проводилось на приборе ИГД-3, ТУ9441-003-94381729-2010.

Дыхательная гимнастика выполнялась по разработанному нами методу (Патент № 21785, дата начала действия – 17.06.2016).

Для проведения данного научного исследования были сформированы 2 группы – основная и группа сравнения (контрольная).

Основная группа составила 30 человек (60 глаз). Средний возраст пациентов составил 34,8 (31,92; 37,68) года, мужчин – 16, женщин – 14.

Группа контроля составила 32 человека (64 глаза). Средний возраст – 34,9 (32,44; 37,68) года, мужчин – 15, женщин – 17.

Один и тот же пациент мог участвовать в основной группе и группе контроля, но в разные дни тренировок.

Исследуемые показатели в обеих группах определялись 4 раза в течение тренировочного процесса:

- 1) перед тренировкой;
- 2) после разминки, которая в среднем занимает 15 минут;
- 3) после погружения с задержкой дыхания (общее время плавания не менее 30 минут);
- 4) после периода восстановления (около 10 минут).

Фридайверы основной группы в процессе выполнения разминки и в период восстановления выполняли дыхательные упражнения по предложенной методике. Фридайверы контрольной группы во время стандартной разминки и в период восстановления дыхательные упражнения не выполняли.

В зависимости от последовательности измерений все показатели нумеровали цифрами от 1 до 4.

Процесс статистической обработки данных состоял из двух последовательных этапов: 1-й – обнаружение корреляционной связи между исследуемыми показателями на каждом этапе исследования; 2-й – изменения показателей в динамике в основной и контрольной группах и сравнение их между собой.

■ РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведена проверка по Колмогорову – Смирнову с поправкой Lilliefors на нормальность распределения по возрасту в группах (рис. 1–3). Достигнут уровень значимости $p > 0,1$, что свидетельствует о том, что распределение по возрасту в группах соответствует закону нормального распределения.

Однородность по полу в группах проверяли по критерию χ^2 -квадрат. Группы по полу не различались на уровне $\chi^2=0,26$; $p=0,61$.

Для определения, есть ли различия между основной группой и контрольной по полу, возрасту и исследуемым показателям (SAP, DAP, Pulse, SO_2 , IOP D, IOP S), в начале исследования был использован критерий Манна – Уитни. Статистически значимых различий между группами по полу ($U=449$, $p=0,66$), возрасту ($U=470$, $p=0,89$), показателям систолического (SAP) ($U=440$, $p=0,58$) и диастолического (DAP) ($U=381$, $p=0,16$) артериального давления, частоты сердечных сокращений (Pulse) ($U=414$, $p=0,35$), степени насыщения крови кислородом (SO_2) ($U=440$, $p=0,57$),

Рис. 1. Распределение по возрасту в основной группе

Fig. 1. Distribution by age in the main group

внутриглазного давления правого (IOP D) ($U=426$, $p=0,45$) и левого (IOP S) ($U=409$, $p=0,32$) глаз не обнаружено.

Полученные в процессе тренировки данные отражены в табл. 1–4.

Проведен корреляционный анализ по Спирмену на наличие взаимосвязи между исследуемыми показателями.

Рис. 2. Распределение по возрасту в группе контроля

Fig. 2. Distribution by age in the control group

Рис. 3. Сравнение групп по возрасту

Fig. 3. Comparison of groups by age

Таблица 1
Оцениваемые показатели в начале исследования

Table 1
Estimated indicators at the beginning of the study

Показатель / Significant	Основная группа / Main group	Группа контроля / Control group
SAP 1	128,00 [119,00; 134,00]	126,50 [121,00; 130,50]
DAP 1	84,00 [80,00; 89,00]	82,00 [78,00; 86,00]
Pulse 1	87,00 [74,00; 90,00]	83,50 [73,50; 88,50]
SO ₂ 1	97,00 [97,00; 99,00]	98,00 [97,00; 99,00]
IOP D 1	17,00 [16,00; 19,00]	16,50 [15,00; 19,00]
IOP S 1	18,00 [16,00; 20,00]	17,00 [16,00; 19,00]

Таблица 2
Данные после разминки

Table 2
Data after warm-up

Показатель / Significant	Основная группа / Main group	Группа контроля / Control group
SAP 2	124,00 [115,00; 131,00]	124,50 [114,50; 130,00]
DAP 2	82,00 [74,00; 90,00]	82,00 [78,50; 86,00]
Pulse 2	94,00 [86,00; 97,00]	90,50 [82,50; 99,00]
SO ₂ 2	98,00 [97,00; 99,00]	98,00 [97,00; 99,00]
IOP D 2	15,00 [16,00; 19,00]	16,50 [15,00; 19,00]
IOP S 2	15,00 [16,00; 20,00]	18,00 [16,00; 20,00]

Таблица 3

Данные после основной тренировки (погружение с задержкой дыхания)

Table 3

Data after basic training (breath hold dive)

Показатель / Significant	Основная группа / Main group	Группа контроля / Control group
SAP 3	120,50 [115,00; 133,00]	118,50 [114,00; 126,50]
DAP 3	79,5 [73,00; 89,00]	80,50 [73,00; 85,00]
Pulse 3	104,0 [93,00; 111,00]	107,50 [95,50; 111,50]
SO ₂ 3	94,00 [92,00; 96,00]	95,00 [93,50; 96,00]
IOP D 3	19,00 [16,00; 22,00]	18,00 [16,50; 21,00]
IOP S 3	20,00 [16,00; 21,00]	20,00 [17,00; 21,00]

Таблица 4

Данные в конце тренировки (после восстановления)

Table 4

Data at the end of the workout (after recovery)

Показатель / Significant	Основная группа / Main group	Группа контроля / Control group
SAP 4	121 [115,00; 125,00]	115,00 [114,00; 121,50]
DAP 4	79,50 [75,00; 81,00]	78,00 [74,50; 82,50]
Pulse 4	88,00 [84,00; 92,00]	88,00 [84,00; 96,00]
SO ₂ 4	98,50 [97,00; 99,00]	98,00 [97,00; 99,00]
IOP D 4	16,00 [12,00; 18,00]	18,00 [15,50; 21,00]
IOP S 4	16,00 [12,00; 17,00]	18,00 [16,00; 21,00]

В обеих группах на первом уровне исследования найдена сильная корреляционная связь между SAP 1 и DAP 1 на уровне $R_s=0,42$ в основной группе и $R_s=0,74$ в группе контроля. И найдена высокая корреляционная связь между IOP D 1 и IOP S 1 на уровне $R_s=0,83$ в основной группе и $R_s=0,92$ – в группе контроля. Это свидетельствует о тесной взаимосвязи между систолическим и диастолическим артериальным давлением, ВГД обоих глаз в начале исследования.

На втором уровне исследования (после разминки) найдены те же корреляционные связи: в основной группе между SAP 2 и DAP 2 на уровне $R_s=0,64$, между IOP D 2 и IOP S 2 на уровне $R_s=0,87$; в группе контроля между SAP 2 и DAP 2 на уровне $R_s=0,65$, между IOP D 2 и IOP S 2 на уровне $R_s=0,90$. Также на втором уровне исследования в основной группе обнаружена сильная корреляционная связь между систолическим артериальным давлением SAP 2 и внутриглазным давлением (IOP D 2 и IOP S 2) на уровне $R_s=0,45$ и $0,49$ соответственно. Это свидетельствует о том, что при выполнении дыхательных упражнений по предложенной методике систолическое давление влияет на уровень внутриглазного давления.

На третьем уровне исследования (после погружения) найдены следующие корреляционные связи:

- в основной группе между SAP 3 и DAP 3 на уровне $R_s=0,75$; между IOP D и IOP S 3 на уровне $R_s=0,87$;
- в контрольной группе между SAP 3 и DAP 3 на уровне $R_s=0,77$, между IOP D и IOP S 3 на уровне $R_s=0,82$; между Pulse 3 и SO₂ 3 на уровне $R_s=0,56$.

Анализ корреляционной связи исследуемых показателей после активной части тренировки (погружение с задержкой дыхания) показывает не только тесную взаимосвязь между показателями артериального и внутриглазного давления, но и взаимное влияние частоты сердечных сокращений и степени насыщения крови кислородом.

На 4-м уровне исследования (в конце тренировки) найдена корреляционная связь между следующими исследуемыми показателями. В основной группе:

- между SAP 4 и DAP 4 на уровне $R_s=0,57$;
- между SAP 4 и IOP 4 на уровне $R_s=0,46$ и $0,39$ для правого и левого глаза соответственно;
- между DAP 4 и SO_2 4 на уровне $R_s=0,37$;
- между IOP D 4 и IOP S 4 на уровне $R_s=0,89$.

В группе контроля:

- между SAP 4 и DAP 4 на уровне $R_s=0,61$;
- между SAP 4 и IOP 4 на уровне $R_s=0,42$ и $0,27$ для правого и левого глаза соответственно;
- между DAP 4 и Pulse 4 на уровне $R_s=0,38$;
- между DAP 4 и SO_2 4 на уровне $R_s=0,38$;
- между DAP 4 и IOP 4 на уровне $R_s=0,49$ и $0,36$ для правого и левого глаза соответственно.

Анализ полученных результатов в конце тренировки, вследствие перенесенного стресса (в данном случае гипоксического и гипербарического – погружение на глубину с задержкой дыхания), а также ослабления всего организма показывает тесную взаимосвязь с большим количеством показателей, что авторы расценивают как восстановление баланса всего организма и улучшение взаимосвязи между всеми исследуемыми параметрами. Помимо взаимовлияния показателей артериального и внутриглазного давления, обнаружена корреляция между уровнем диастолического давления и показателями частоты сердечных сокращений, степени насыщения крови кислородом, а также внутриглазного давления.

Изменение исследуемых показателей в динамике отражено в табл. 5.

Изменения показателей в динамике оценивались по Уилкоксоу. Статистически значимые отличия оценивались в следующих случаях:

- 1) между начальными параметрами и после разминки;
- 2) перед погружением и после него;
- 3) после погружения и после периода восстановления;
- 4) между начальными данными и после погружения;
- 5) между начальными данными и в конце тренировки.

На первом уровне статистического анализа оценивались полученные данные между начальными параметрами и после разминки (табл. 1, 2), получились следующие статистически значимые результаты:

1. По частоте сердечных сокращений: в обеих группах после разминки увеличился пульс. В основной группе Pulse 1=87,00 [74,00; 90,00], Pulse 2=94,00 [86,00; 97,00], $T=47,00$; $p<0,0001$. В группе контроля Pulse 1=83,50 [73,50; 88,50], Pulse 2=90,50 [82,50; 99,00], $T=75,50$; $p<0,0001$.

Анализ полученных корреляционных связей свидетельствует о том, что после перенесенного стресса (в данном случае – погружение на глубину с задержкой дыхания) все исследуемые показатели начинают более тесно коррелировать между собой.

Таблица 5
Сравнение динамики исследуемых показателей в основной и контрольной группах в процессе исследования

Table 5
Comparison of the dynamics of the studied indicators in the main and control groups during the study

Показатель Significant	Основная группа Main group	Группа контроля Control group
SAP	<p>Box & Whisker Plot Include condition: group=1 Exclude condition: group=2</p> <p>Legend: □ Median, □ 25%-75%, I Min-Max</p>	<p>Box & Whisker Plot Include condition: group=2 Exclude condition: group=1</p> <p>Legend: □ Median, □ 25%-75%, I Min-Max</p>
DAP	<p>Box & Whisker Plot Include condition: group=1 Exclude condition: group=2</p> <p>Legend: □ Median, □ 25%-75%, I Min-Max</p>	<p>Box & Whisker Plot Include condition: group=2 Exclude condition: group=1</p> <p>Legend: □ Median, □ 25%-75%, I Min-Max</p>
Pulse	<p>Box & Whisker Plot Include condition: group=1 Exclude condition: group=2</p> <p>Legend: □ Median, □ 25%-75%, I Min-Max</p>	<p>Box & Whisker Plot Include condition: group=2 Exclude condition: group=1</p> <p>Legend: □ Median, □ 25%-75%, I Min-Max</p>
SO ₂	<p>Box & Whisker Plot Include condition: group=1 Exclude condition: group=2</p> <p>Legend: □ Median, □ 25%-75%, I Min-Max</p>	<p>Box & Whisker Plot Include condition: group=2 Exclude condition: group=1</p> <p>Legend: □ Median, □ 25%-75%, I Min-Max</p>

Окончание таблицы 5

2. При включении дыхательных упражнений в разминку (1-я группа) ВГД статистически значимо снижалось на обоих глазах на уровне OD (IOP D 1=17,00 [16,00; 19,00], IOP D 2=15,00 [16,00; 19,00]), T=0,00, $p<0,0001$, по сравнению с группой контроля (IOP D 1=16,50 [15,00; 19,00], IOP D 2=16,50 [15,00; 19,00]), T=29,00, $p=0,72$; OS (IOP S 1=18,00 [16,00; 20,00], IOP S 2=15,00 [16,00; 20,00]), T=10,50, $p<0,0001$, по сравнению с группой контроля (IOP S 1=17,00 [16,00; 19,00], IOP S 2=18,00 [16,00; 20,00]), T=74,00, $p=0,09$ (табл. 1, 2).

На втором уровне статистического анализа сравнение оцениваемых показателей проводилось перед погружением и после него (табл. 2, 3). Получены следующие статистически значимые отличия:

1. В обеих группах уровень насыщения крови кислородом (SO_2) статистически значимо уменьшался после погружения на глубину с задержкой дыхания. В основной группе SO_2 2=98,00 [97,00; 99,00], SO_2 3=94,00 [92,00; 96,00], T=26,00, $p<0,0001$; в группе контроля SO_2 2=98,00 [97,00; 99,00], SO_2 3=95,00 [93,50; 96,00], T=19,00, $p<0,0001$. Низкий уровень показателя в начале исследования у некоторых фридайверов может быть связан со спазмом периферических сосудов в начале тренировки из-за холода (исследование проводилось в холодное время года, и многие спортсмены переодевались на тренировку очень быстро, не успев согреть руки).
2. В обеих группах после погружения статистически значимо повышался уровень внутриглазного давления на обоих глазах: в основной группе с 15,00 [16,00; 19,00] до 19,00 [16,00; 22,00] на правом глазу, с 15,00 [16,00; 20,00] до 20,00 [16,00; 21,00] на левом глазу (T=0,00 и 3,50 для правого и левого глаза соответственно, $p<0,0001$); в группе контроля с 16,50 [15,00; 19,00] до 18,00 [16,50; 21,00] на правом глазу, с 18,00 [16,00; 20,00] до 20,00 [17,00; 21,00] на левом глазу (T=51,00 и 32,5 на правом и левом глазу соответственно, $p<0,0001$).
3. Отмечалось и учащение частоты сердечных сокращений: в основной группе с 94,00 [86,00; 97,00] до 104,0 [93,00; 111,00], T=98,50, $p=0,006$; в группе контроля с 90,50 [82,50; 99,00] до 107,50 [95,50; 111,50], T=0,00, $p<0,0001$.

На третьем уровне статистического анализа оценивались параметры после погружения и после периода восстановления (табл. 3, 4). При этом в основной группе период восстановления дополнялся дыхательными упражнениями по предложенной методике не менее 7 минут.

Продолжительность периода восстановления определялась каждым человеком самостоятельно по самочувствию и составляла в среднем 15–20 минут. Статистически значимые различия в исследуемых показателях выявлены в следующих случаях:

1. В обеих группах уровень насыщения крови кислородом (SO_2) статистически значимо увеличился после периода восстановления: в основной группе с 94,00 [92,00; 96,00] до 98,50 [97,00; 99,00], $T=0,00$, $p<0,0001$; в группе контроля с 95,00 [93,50; 96,00] до 98,00 [97,00; 99,00], $T=0,00$, $p<0,0001$.
2. В обеих группах статистически значимо снижался уровень внутриглазного давления на обоих глазах: в основной группе с 19,00 [16,00; 22,00] по 16,00 [12,00; 18,00] на правом глазу, с 20,00 [16,00; 21,00] по 16,00 [12,00; 17,00] на левом глазу, $T=1,50$ и $0,00$ на правом и левом глазу соответственно, $p<0,0001$; в группе контроля с 18,00 [16,50; 21,00] по 18,00 [15,50; 21,00] на правом глазу, с 20,00 [17,00; 21,00] по 18,00 [16,00; 21,00] на левом глазу, $T=37,00$ ($p=0,01$) и $21,0$ ($p<0,0001$) на правом и левом глазу.
3. Отмечалось статистически значимое урежение частоты сердечных сокращений: в основной группе с 104,0 [93,00; 111,00] по 88,00 [84,00; 92,00], $T=15,50$, $p<0,0001$; в группе контроля с 107,50 [95,50; 111,50] по 88,00 [84,00; 96,00], $T=7,50$, $p<0,0001$.
4. Уровень статистического анализа проводился между первоначальными данными и результатами, полученными после погружения (табл. 1, 3).

Статистически значимые различия обнаружены в следующих случаях:

1. В группе контроля между SAP 1 (126,50 [121,00; 130,50]) и SAP 3 (118,50 [114,00; 126,50]) на уровне $T=146,50$, $p=0,05$. В основной группе статистически значимых отличий по данному показателю не выявлено на уровне $T=146,00$, $p=0,12$ (SAP 1=128,00 [119,00; 134,00] и SAP 3=120,50 [115,00; 133,00]).
2. В обеих группах по параметру Pulse: в основной группе Pulse 1=87,00 [74,00; 90,00], Pulse 3=104,0 [93,00; 111,00], $T=8,00$, $p<0,0001$; в группе контроля Pulse 1=83,50 [73,50; 88,50], Pulse 3=107,50 [95,50; 111,50], $T=0,00$, $p<0,0001$.
3. В обеих группах по параметру SO_2 : в основной группе SO_2 1=97,00 [97,00; 99,00], SO_2 3=94,00 [92,00; 96,00], $T=25,00$, $p<0,0001$; в группе контроля SO_2 1=98,00 [97,00; 99,00], SO_2 3=95,00 [93,50; 96,00], $T=25,50$, $p<0,0001$.
4. По параметрам внутриглазного давления обоих глаз (IOP D, IOP S) обнаружены статистически значимые различия в группе контроля (IOP D 1=16,50 [15,00; 19,00], IOP D 3=18,00 [16,50; 21,00], IOP S 1=17,00 [16,00; 19,00], IOP S 3=20,00 [17,00; 21,00]), $T=50,00$, $p<0,0001$ и $T=40,50$, $p<0,0001$ на правый и левый глаз соответственно. В основной группе IOP D 1=17,00 [16,00; 19,00], IOP D 3=19,00 [16,00; 22,00], IOP S 1=18,00 [16,00; 20,00], IOP S 3=20,00 [16,00; 21,00], статистически значимых различий по параметрам внутриглазного давления не обнаружено ($T=110,00$, $p=0,01$; $T=120,50$, $p=0,01$ на правый и левый глаз соответственно).

5. Уровень статистического анализа проводился между первоначальными данными и показателями в конце тренировки (после периода восстановления) (табл. 1, 4). Получены следующие результаты. Статистически значимые различия обнаружены в следующих случаях:
1. В обеих группах между SAP 1 (128,00 [119,00; 134,00] в основной группе, 126,50 [121,00; 130,50] в группе контроля) и SAP 4 (121 [115,00; 125,00] в основной группе, 115,00 [114,00; 121,50] в группе контроля) имелись статистически значимые различия на уровне $T=88,50$, $p=0,01$ в основной группе и $T=41,00$, $p<0,0001$ в группе контроля, что свидетельствует об общей тенденции к снижению систолического артериального давления после тренировки.
 2. По параметру DAP имелись статистически значимые различия в обеих группах (DAP 1=84,00 [80,00; 89,00], DAP 4=79,50 [75,00; 81,00] в основной группе, DAP 1=82,00 [78,00; 86,00], DAP 4=78,00 [74,50; 82,50] в контрольной группе) на уровне $T=53,00$, $p=0,0002$ в основной группе и $T=111,50$, $p=0,01$ в группе контроля. Это свидетельствует об общей тенденции к снижению диастолического давления в процессе тренировки.
 3. По частоте сердечных сокращений (Pulse 1=87,00 [74,00; 90,00], Pulse 4=88,00 [84,00; 92,00] в основной группе, Pulse 1=83,50 [73,50; 88,50], Pulse 4=88,00 [84,00; 96,00] в группе контроля) – статистически значимые различия в обеих группах на уровне $T=108,50$, $p=0,01$ в основной группе и $T=54,50$, $p=0,0002$ в группе контроля.
 4. По показателю SO_2 перед началом тренировки и в конце ее в обеих группах статистически значимых различий не обнаружено ($SO_{2\ 1}=97,00$ [97,00; 99,00], $SO_{2\ 4}=98,50$ [97,00; 99,00] в основной группе, $SO_{2\ 1}=98,00$ [97,00; 99,00], $SO_{2\ 4}=98,00$ [97,00; 99,00] в группе контроля), $T=51,00$, $p=0,08$ в основной группе и $T=82,00$, $p=0,05$ в группе контроля, что свидетельствует о полном восстановлении сатурации в конце тренировки.
 5. По параметрам внутриглазного давления (IOP) обнаружены статистически значимые различия в обеих группах на уровне $T=55,50$, $p=0,001$ (правый глаз IOP D 1=17,00 [16,00; 19,00], IOP D 4=16,00 [12,00; 18,00], $T=43,00$, $p<0,0001$; левый глаз IOP S 1=18,00 [16,00; 20,00], IOP S 4=16,00 [12,00; 17,00]) в основной группе и $T=86,00$, $p=0,008$ (правый глаз IOP D 1=16,50 [15,00; 19,00], IOP D 4=18,00 [15,50; 21,00]), $T=115,00$, $p=0,0045$ (левый глаз IOP S 1=17,00 [16,00; 19,00], IOP S 4=18,00 [16,00; 21,00]) в группе контроля. Это свидетельствует о тенденции к нормализации ВГД в процессе тренировки в обеих группах.

Как мы видим из проведенного статистического анализа полученных данных, наиболее чувствительными параметрами в процессе тренировки фридайверов оказались степень насыщения крови кислородом, частота сердечных сокращений и уровень внутриглазного давления. Как в основной группе, так и в группе контроля эти параметры наиболее резко реагировали на стрессовые условия в виде перепадов давления и продолжительной задержки дыхания. Наиболее статистически значимые различия в процессе тренировки отмечались между

первоначальными данными и данными после погружения, как непосредственно после всплытия, так и после периода восстановления. После погружения в обеих группах учащался пульс, снижалась сатурация крови, повышалось внутриглазное давление.

Также был проведен анализ сравнения исследуемых параметров в основной и исследуемой группах с использованием статистического критерия Манна – Уитни, при помощи которого обнаружены статистически значимые различия между основной и контрольной группами по следующим параметрам:

1. При включении дыхательных упражнений по предложенной методике в процесс разминки внутриглазное давление на обоих глазах в основной группе статистически значимо снизилось (табл. 1 и 2) по сравнению с группой контроля ($U=252,50$; $p=0,001$ и $U=231,00$; $p=0,0004$ на правом и левом глазу).
2. Такая же тенденция наблюдалась при включении дыхательных упражнений по предложенной методике в процесс восстановления ($U=239,50$; $p=0,0007$ и $U=245,50$; $p=0,0009$ на правом и левом глазу соответственно). На основании этого мы делаем вывод о том, что при использовании дыхательных упражнений внутриглазное давление эффективнее снижается и приходит в норму.
3. Также обнаружены статистически значимые различия между уровнем SAP основной и контрольной группы на уровне $U=338,50$; $p=0,04$. Это свидетельствует о том, что в основной группе с использованием дыхательных упражнений систолическое артериальное давление быстрее нормализуется.

На основании полученных данных сделан вывод о более эффективной нормализации IOP, SAP при дополнительном включении в процесс тренировки дыхательных упражнений.

■ ВЫВОДЫ

1. Обнаружена сильная корреляционная связь между SAP и DAP, а также между IOP OD и OS на всех уровнях исследования в обеих группах на уровне $R_s > 0,35$. Проявлялось это в том, что при снижении систолического давления снижалось и диастолическое давление. При повышении – та же зависимость. Также можно сделать вывод о симметричном изменении офтальмотонуса на обоих глазах (если повышается ВГД на правом глазу, то такой же процесс происходит и на левом глазу, и наоборот).
2. В процессе тренировки фридайверов, которая основана прежде всего на расслаблении организма в стрессовых условиях (в первую очередь задержка дыхания и повышение внешнего давления), все исследуемые показатели начинают более тесно коррелировать друг с другом: усиливается корреляционная связь между SAP и DAP, а также между IOP обоих глаз. Появляется статистически значимая корреляционная зависимость между SAP и IOP, что говорит о влиянии систолического артериального давления на уровень офтальмотонуса после перенесенного гипоксического стресса. Также найдена связь между DAP и SO_2 , DAP и Pulse. Проявлялось это в том, что после тренировки в условиях гипоксии нормализация DAP коррелирует с нормализацией SO_2 и восстановлением частоты сердечных

сокращений (Pulse) до нормальных значений. То есть диастолическое давление (DAP) больше коррелирует с уровнем насыщения крови кислородом (SO_2) и частотой сердечных сокращений (Pulse). А уровень систолического артериального давления (SAP) тесно коррелирует с внутриглазным давлением (IOP).

3. При нагрузке (выполнение упражнений, задержка дыхания) характерно статистически значимое увеличение частоты сердечных сокращений на уровне $p < 0,006$ у всех фридайверов начального уровня подготовки.
4. После тренировки с задержкой дыхания и погружения на глубину (до 6 метров) характерны повышение внутриглазного давления на обоих глазах на уровне $p < 0,0001$, а также статистически значимая корреляция между повышением ВГД на правом и левом глазу (то есть повышается симметрично). Включение в период восстановления дыхательных упражнений по предложенной методике позволяет более эффективно нормализовать офтальмотонус.
5. Плавание с задержкой дыхания статистически значимо снижает уровень насыщения крови кислородом, измеряемый на периферии (пальцы рук), на уровне $T=25,00$, $p < 0,0001$.
6. После полного цикла тренировки статистически значимо, но в пределах нормальных значений снижается уровень артериального давления (SAP и DAP), частота сердечных сокращений (Pulse) по сравнению с первоначальными данными на уровне доказательности $p < 0,01$ для всех показателей.
7. Включение дыхательных упражнений по предложенной методике в тренировочный процесс фридайверов является важным и эффективным способом быстрой нормализации показателей гемо- и гидродинамики и позволяет минимизировать отрицательное воздействие запредельных нагрузок (гипоксического стресса) у фридайверов в процессе выполнения подводных работ.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

■ ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Molchanova N.V. (2018) *Freediving Basics - 1*. Moskva. (in Russian)
2. Vera J., Raimundo J., García-Durán B., Pérez-Castilla A., Redondo B., Delgado G., Kouliris G.-A., García-Ramos A. (2019) Acute intraocular pressure changes during isometric exercise and recovery: The influence of exercise type and intensity, and participant's sex. *J Sports Sci*, no 37 (19), pp. 2213–2219. doi: 10.1080/02640414.2019.1626072.
3. Vera J., García-Ramos A., Jiménez R., Cárdenas D. (2017) The acute effect of strength exercises at different intensities on intraocular pressure. *Graefes Arch Clin Exp Ophthalmol*, no 255 (11), pp. 2211–2217. doi: 10.1007/s00417-017-3735-5.
4. Vera J., Pérez-Castilla A., Redondo B., De La Cruz J.C., Jiménez R., García-Ramos A. (2020) Influence of the breathing pattern during resistance training on intraocular pressure. *Eur J Sport Sci*, no 20 (2), pp. 157–165. doi: 10.1080/17461391.2019.1617354.
5. Molchanova N.V., Kuzmichev V.A. (2014) Preparatory breathing for a highly qualified freediver before long diving. Actual problems of ensuring human activity in extreme conditions. The final collection of theses of the reports of the staff of the Department of Theory and Methods of Applied Sports and Extreme Activity for 2010–2014, pp. 155–160. (in Russian)
6. Somov E.E. (2008) *Primary glaucoma*. Clinical ophthalmology. Moskva, MEDpress-inform, p. 256. (in Russian)

Подана/Submitted: 04.08.2021

Принята/Accepted: 30.11.2021

Контакты/Contacts: oke08@yandex.ru