

УДК 616-001.11, 612.855, 626.024

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar501802>

Научная статья



# Оценка барофункции ушей методом тимпанометрии

П.Р. Хакимов, И.Р. Кленков, Д.П. Зверев, А.А. Мясников, А.Ю. Шитов

Военно-медицинская академия, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** При отборе водолазов, летчиков и кессонных рабочих для определения барофункции ушей оценивается переносимость обследуемых компрессии или декомпрессии в барокамере, а после выхода из нее — состояние барабанных перепонок. Такой подход при отборе кандидатов и ежегодном освидетельствовании водолазов достаточно информативен, но в процессе повседневной профессиональной деятельности этих специалистов возможны изменения барофункции ушей, вызванные острыми респираторными заболеваниями, механическими травмами головы, аллергическими реакциями. Следовательно, водолазный врач должен оперативно проверить барофункции ушей, а это не всегда возможно из-за отсутствия барокамер.

**Цель.** Исследовать возможности метода тимпанометрии для освидетельствования и динамического контроля за барофункцией ушей у водолазов.

**Материалы и методы.** В исследовании участвовали 42 человека, которых «погружали» в поточно-декомпрессионной камере под давление 0,2 МПа для определения барофункции ушей. Через 20 сут обследуемых повторно исследовали методом тимпанометрии при нормальном атмосферном давлении.

**Результаты.** У обследуемых с I степенью барофункции ушей тимпанометрические показатели имели статистически незначимые изменения, при II–III — отмечались повышение показателя пикового давления и сужение ширины пиковой кривой после погружения в барокамере.

**Заключение.** Проведенные исследования показали перспективность использования тимпанометрии у специалистов, работающих в условиях изменяющегося барометрического давления.

**Ключевые слова:** барабанная перепонка; барокамера; барофункция ушей; водолаз; освидетельствование; слуховая труба; тимпанометрия.

## Как цитировать:

Хакимов П.Р., Кленков И.Р., Зверев Д.П., Мясников А.А., Шитов А.Ю. Оценка барофункции ушей методом тимпанометрии // Известия Российской военно-медицинской академии. 2023. Т. 42. № 3. С. 257–265. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar501802>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar501802>

Research Article

# Assessment of ear barofunction by tympanometry method

Pavel R. Khakimov, I'yas R. Klenkov, Dmitriy P. Zverev,  
Aleksey A. Myasnikov, Arseniy Yu. Shitov

Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** When selecting divers, pilots and caisson workers to determine ear barofunction, the subject's tolerance to compression or decompression in the hyperbaric chamber and the condition of the eardrums after leaving the chamber are evaluated. This approach to selection and annual examination is quite informative, although there are isolated cases of unreliable assessments due to concealment of complaints by the examinees, due to the desire to work in the profession. In the course of daily professional activities of these specialists, the diving or aviation doctor needs to detect timely barofunction changes caused by acute respiratory diseases, mechanical injuries, allergic reactions, vasomotor edema of nasal mucosa, etc. **AIM:** To investigate the possibility of using the tympanometry method for examination and dynamic control of ear barofunction among divers.

**MATERIALS AND METHODS:** The study involved 42 people who were immersed in a flow-decompression chamber to determine barofunction. After 20 days, the subjects were re-examined by tympanometry method at normal atmospheric pressure using the Valsalva technique.

**RESULTS:** The tympanometric indexes of the subjects with the I degree of barofunction had statistically insignificant changes, with II–III degrees of barofunction there was an increase of peak pressure index and narrowing of peak curve width after diving in a hyperbaric chamber. Among persons with low barofunction (II–III degrees), the tympanometry method revealed an increase in peak pressure index.

**CONCLUSION:** The conducted research has shown promising use of tympanometry among specialists working in conditions of varying barometric pressure.

**Keywords:** auditory tube; barofunction ear; chamber; diver; eardrum; examination; hyperbaric tympanometry.

## To cite this article:

Khakimov PR, Klenkov IR, Zverev DP, Myasnikov AA, Shitov AY. Assessment of ear barofunction by tympanometry method. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2023;42(3):257–265. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar501802>

Received: 21.06.2023

Accepted: 20.08.2023

Published: 29.09.2023

## АКТУАЛЬНОСТЬ

Совершенствование профессионального отбора специалистов, работающих в субэкстремальных и экстремальных условиях, является актуальной задачей военной медицины [1–3]. Барофункция ушей (БУ) является важным аспектом безопасности профессиональной деятельности водолазов, летчиков и кессонных рабочих. Ухудшение БУ может привести к развитию баротравмы уха и придаточных пазух носа, тубоотиту, кондуктивной тугоухости, а на фоне воздействия неблагоприятных факторов водолазного спуска — к возникновению аварийных ситуаций под водой. Каждое погружение водолазов сопровождается изменением давления в воздухосодержащих полостях ушей и придаточных пазухах носа, и при сниженной барофункции может возникнуть баротравма [4]. Баротравма уха происходит за счет резкого изменения объема воздуха при разнице давления внутри и снаружи барабанной перепонки (БП) на 80 мм рт. ст. и более [5].

Определение БУ наряду с проверками организма водолазов на устойчивость к декомпрессионному газообразованию, токсическому действию высоких парциальных давлений азота и кислорода [6–9] проводится в многоместной барокамере с помощью оценки бароаккомодационной функции слуховой (евстахиевой) трубы, характеризующейся способностью к компенсации надпороговых изменений атмосферного давления при скорости компрессии свыше 0,5 м/мин [10]. В настоящее время для отбора кандидатов на обучение профессии водолаз используется оценка БУ при лор-осмотре после выхода из барокамеры («барокамерная проба»). «Барокамерная проба» — погружение в барокамере на глубину 10 м вод. ст. (0,2 МПа) за 2 мин под контролем водолазного врача, после которого проводится оценка БУ при лор-осмотре состояния БП [11].

БУ у водолазов подразделяется на четыре степени, при этом лица со стойким нарушением барофункции (III и IV степен) по состоянию здоровья признаются не годными к профессиональной деятельности.

Поэтому важно знать состояние БУ водолазов в период между ежегодными освидетельствованиями. Одним из перспективных методов определения БУ без использования «барокамерной пробы» является методика тимпанометрии [12].

*Цель* — исследовать возможности метода тимпанометрии для освидетельствования и динамического контроля за БУ водолазов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие лица мужского пола ( $n = 42$ ) в возрасте от 20 до 22 лет, годные по состоянию здоровья к спускам под воду. Спуски проводились в поточно-декомпрессионной камере, в которой

повышали давление воздухом в среднем за 2 мин до 0,2 МПа (10 м вод. ст.). При компрессии через иллюминатор барокамеры проводили визуальный контроль за состоянием обследуемых для предотвращения баротравмы уха. Затем снижали давление до атмосферного за 1 мин с последующей отоскопией и тимпанометрией.

БУ оценивали по четырем степеням: I — выравнивание давления происходит легко; II — для выравнивания давления достаточно совершать глотательные движения или движения нижней челюстью; III — выравнивание давления затруднено, но возможно только при использовании приема Вальсальвы (компрессия относительно небезопасна); IV — выравнивание давления невозможно (компрессия небезопасна) («Правила водолазной службы...», 2002).

С помощью отоскопии определяли следующие степени БУ: I — нормальная отоскопическая картина; II — инъектированность сосудов БП; III — частичная гиперемия БП; IV — разлитая гиперемия БП с множественными петехиальными кровоизлияниями.

Тимпанометрию проводили ручным портативным тимпанометром «Amplivox Otowave 102» четыре раза: до и после «барокамерной пробы» и через 20 сут до и после приема Вальсальвы при нормальном атмосферном давлении. Регистрировали следующие показатели: остаточный объем наружного слухового прохода (ECV) — объем воздуха от ушного вкладыша до БП при давлении 200 daPa; пик подвижности или комплианс БП (PV) — объем при выравнивании давления по обе стороны БП; пиковое давление (Pk) — давление в слуховом проходе в момент его выравнивания по обе стороны БП; градиент давления (Gr) — ширина пика подвижности БП [10].

Дизайн исследования представлен на рис. 1. Обследуемые с IV степенью БУ ( $n = 4$ ) вошли в 3-ю группу, они не смогли пройти полностью «барокамерную пробу». Оставшихся обследуемых разделили на 2 группы (рис. 1): 1-я — с I степенью ( $n = 23$ ) и 2-я — со II и III степенями БУ ( $n = 15$ ). Через 20 дней 1-ю и 2-ю группы исследовали повторно тимпанометрией.

Учитывая, что часть испытуемых в период после «барокамерной пробы» переболели острым респираторным заболеванием, 1-ю и 2-ю группы поделили на подгруппы: 1.1 и 2.1 — без симптома ринита и 1.2 и 2.2 — с симптомом ринита (рис. 1). Критерием включения в 1.2 и 2.2 подгруппы было заключение врача-инфекциониста и врача-оториноларинголога о наличии признаков перенесенного ринита (сниженного носового дыхания) в результате острого респираторного заболевания и отсутствии иных причин снижения носового дыхания: проявление «носового цикла» в норме, течение хронического вазомоторного ринита и др.

Дополнительно для выявления сниженного носового дыхания провели определение дыхательной пробы попеременно, сначала с правой стороны носа, затем с левой. Крыло носа прижимали к носовой перегородке,

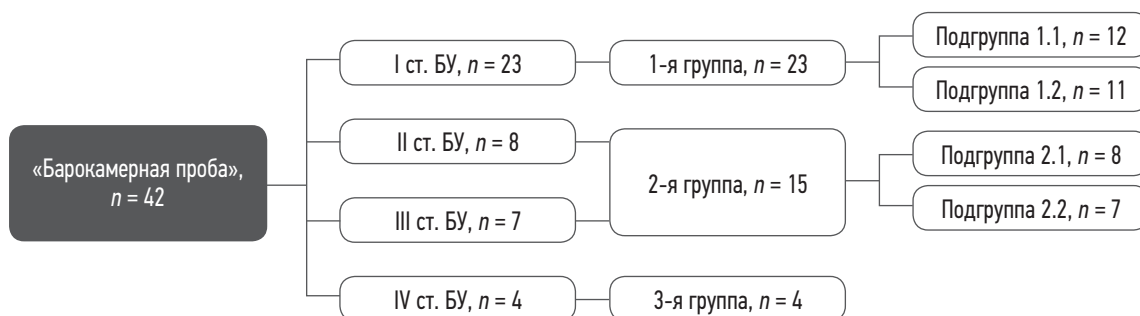


Рис. 1. Дизайн исследования

подносили ватную пушинку и просили обследуемого сделать обычной силы вдох и выдох. По отклонению ватки определяли степень затруднения прохождения воздуха [6].

Полученные данные подвергали математико-статистической обработке. Для описательной статистики произвели расчет медианы и интерквартильного размаха —  $Me$  [Q25 %; Q75 %]. Сравнение групп провели с использованием  $T$ -критерия Вилкоксона и  $U$ -критерия Манна–Уитни. Для дифференцирования БУ при использовании тимпанометрии использовали пошаговый дискриминантный анализ с расчетом расстояния Махалобиса в качестве критерия отбора. Затем полученную каноническую дискриминантную функцию соотносили с определенной степенью БУ испытуемого. Статистические значимые различия средних значений дискриминантной функции оценивали с применением критерия  $\lambda$  Уилкса. Чувствительность и специфичность дискриминантной функции определяли по площади AUC (Area Under Curve) под ROC-кривой (receiver operating characteristic). Качество дискриминантной функции оценивали при значении  $AUC \geq 0,9$  как отличное,  $AUC \geq 0,7$  как хорошее и  $AUC \geq 0,5$  как неудовлетворительное. Для проведения статистического анализа использовались пакеты прикладных программ Statistica for Windows версия 10.0 и SPSS Statistics for Windows версия 17.0

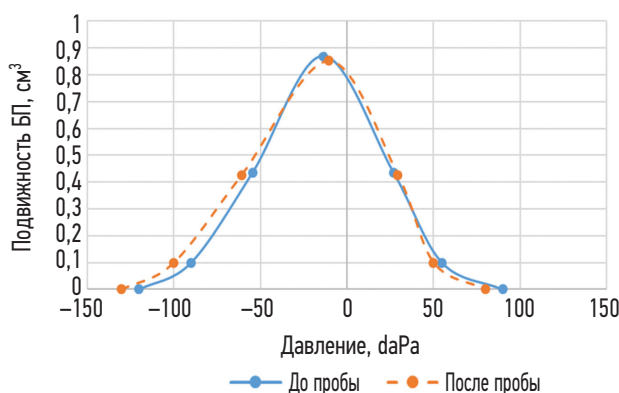


Рис. 2. Тимпанометрия пр. ушей до и после «барокамерной пробы» (I степень,  $n = 23$ )

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Оценка БУ при «барокамерной пробе»: I степень — 23 человека; II — 8; III — 7; IV — 4 человека (рис. 1).

Как видно из данных на рис. 2–5 и в табл. 1, тимпанометрические показатели ( $PV$ ,  $Pk$ ,  $Gr$ ) до и после действия повышенного давления в 1-й группе имели статистически незначимые изменения (рис. 2, 3); у испытуемых 2-й группы (со I–III степенями БУ) отмечалось повышение  $Pk$  ( $p < 0,01$ ) и уменьшение  $Gr$  — сужение ширины пика ( $p < 0,05$ ) после «барокамерной пробы»;  $PV$  существенно не изменялся (рис. 4, 5). У лиц с IV степенью БУ после «барокамерной пробы» при тимпанометрии не удалось определить показатели  $PV$ ,  $Pk$  и  $Gr$  из-за отсутствия зарегистрированной кривой на экране аппарата («Peak not found»), что связано с высоким давлением, при котором тимпанометр не фиксирует пик комплианса.

Проведен дискриминантный анализ, по результатам которого в каноническую функцию из 20 тимпанометрических показателей до и после «барокамерной пробы» были включены два:  $Pk$  обеих ушей после «барокамерной пробы», так как они имели наименьшие расстояния Махалобиса между группами. Затем рассчитали коэффициенты для формулы канонической дискриминантной функции (1):  

$$d_{(БУ)} = -1,505 + 0,036 \times Pk(пр) + 0,02 \times Pk(лев), (1)$$
где  $Pk(пр)$  — пиковое давление в правом ухе после «барокамерной пробы»;  $Pk(лев)$  — пиковое давление в левом ухе после «барокамерной пробы».

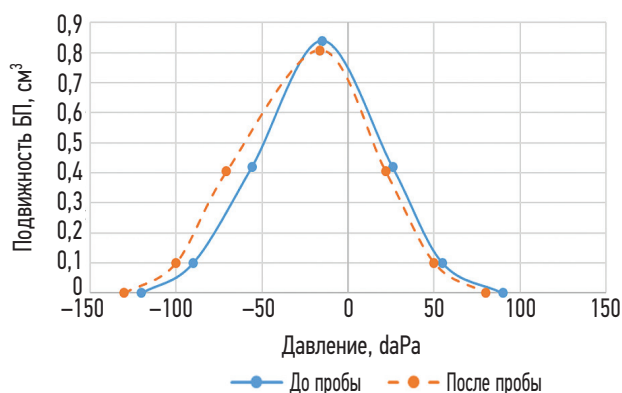


Рис. 3. Тимпанометрия лев. ушей до и после «барокамерной пробы» (I степень,  $n = 23$ )

**Таблица 1.** Тимпанометрические показатели при «барокамерной пробе» и приеме Вальсальвы у обследуемых 1-й и 2-й групп Me [Q25 %; Q75 %]

Группа (подгруппа)	Пик подвижности БП (PV), см <sup>3</sup>			
	правое ухо		левое ухо	
	До	После	До	После
«Барокамерная проба»				
1-я группа	0,84 [0,74; 0,94]	0,86 [0,72; 0,99]	0,80 [0,72; 0,88]	0,83 [0,69; 0,97]
2-я группа	0,75 [0,67; 0,83]	0,84 [0,72; 0,97]	0,74 [0,67; 0,82]	0,80 [0,69; 0,91]
Прием Вальсальвы				
1-я группа	0,66 [0,59; 0,74]	0,72 [0,61; 0,82]	0,73 [0,65; 0,81]	0,76 [0,65; 0,87]
2-я группа	0,70 [0,62; 0,79]	0,74 [0,61; 0,87]	0,75 [0,69; 0,81]	0,80 [0,69; 0,91]

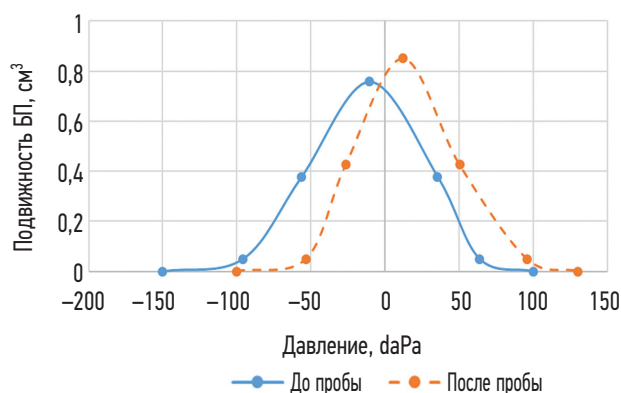
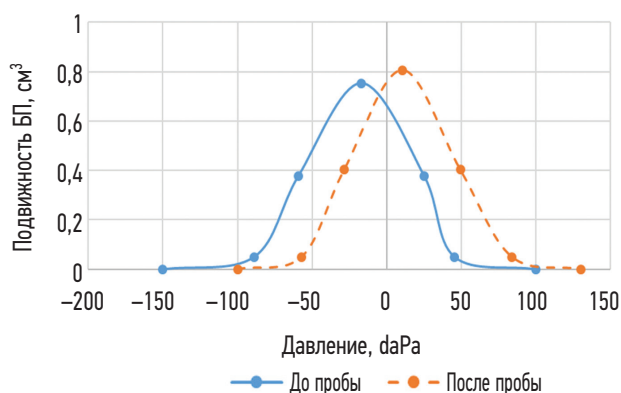
  

Группа (подгруппа)	Пиковое давление (Pk), daPa			
	правое ухо		левое ухо	
	До	После	До	После
«Барокамерная проба»				
1-я группа	-14 [-30; 0]	-12 [-61; 5]	-17 [-31; -4]	-15 [-34; 4]
2-я группа	-16 [-31; -1]	14 [-2; 31]** <sup>0</sup>	-20 [-39; 1]	21 [-1; 44]** <sup>0</sup>
Прием Вальсальвы				
1-я группа	-15 [-33; 1]	-12 [-41; 9]	-15 [-33; 3]	-9 [-20; 1]
2-я группа	-6 [-22; 10] <sup>Δ0</sup>	10 [-15; 35]* <sup>Δ0</sup>	-21 [-30; 6] <sup>Δ0</sup>	14 [-5; 34]* <sup>Δ0</sup>

Группа (подгруппа)	Градиент давления (Gr), daPa			
	правое ухо		левое ухо	
	До	После	До	После
«Барокамерная проба»				
1-я группа	76 [69; 84]	82 [74; 90]	80 [76; 84]	82 [75; 89]
2-я группа	91 [85; 98]	81 [73; 88]*	81 [75; 88]	73 [63; 84]*
Прием Вальсальвы				
1-я группа	86 [78; 95]	84 [75; 92]	88 [79; 95]	86 [75; 97]
2-я группа	80 [73; 86]	74 [63; 86]	81 [73; 88]	79 [68; 90]

*Примечание.* \* — статистическая значимость ( $p < 0,05$ ) при сравнении периода до и после воздействия («барокамерной пробы» или приема Вальсальвы); \*\* — статистическая значимость ( $p < 0,01$ ) при сравнении периода до и после воздействия («барокамерной пробы» или приема Вальсальвы); <sup>0</sup> — статистическая значимость ( $p < 0,05$ ) при сравнении 1-й и 2-й групп; <sup>Δ</sup> — статистическая значимость ( $p < 0,05$ ) при сравнении периодов до «барокамерной пробы» и до приема Вальсальвы.

**Рис. 4.** Тимпанометрия пр. ушей до и после «барокамерной пробы» (II и III степени,  $n = 16$ )**Рис. 5.** Тимпанометрия лев. ушей до и после «барокамерной пробы» (II и III степени,  $n = 16$ )

Выполнена проверка состоятельности дискриминантной функции. Дискриминантная функция ( $d_{\text{БУ}}$ ) имела высокие результаты собственного значения — 0,851. Значимость критерия  $\lambda$  Уилкса для  $d_{\text{БУ}}$  составила:  $\lambda = 0,25$ ,  $\chi^2 = 22,9$  ( $p < 0,001$ ). Эти величины указывают на статистически значимые различия средних значений центроидов функции. Провели проверку результатов, которая составила 82,5 % правильно классифицированных случаев.

Далее проводили кросс-проверку перекрестно проверяемых сгруппированных наблюдений. По результатам проверки значение  $d_{\text{БУ}} = 78,0$  %, которое показывает небольшой сдвиг правильно классифицированных случаев канонической дискриминантной функции.

Для оценки чувствительности и специфичности разработанной математической модели-классификатора рассчитали показатели чувствительности (Se) и специфичности (Sp) модели по параметрам ROC-кривой, в результате чего получили следующие значения:  $Se(d_{\text{БУ}}) = 78,0$  %,  $Sp(d_{\text{БУ}}) = 79,1$  %. Эти значения отображают высокую чувствительность и специфичность модели. Следовательно, рассчитанная дискриминантная каноническая функция ( $d_{\text{БУ}}$ ) показывает высокую точность классификации и может быть рекомендована для определения степени БУ.

После выполнения проверки состоятельности дискриминантной функции был разработан алгоритм определения степени БУ. На основании переменных пикового давления обоих ушей необходимо рассчитать степень изменения дискриминантной функции ( $d_{\text{БУ}}$ ) по формуле 1. Если этот показатель будет меньше или равен  $-0,14$ , то у испытуемого I степень БУ. Когда показатель  $-0,14 < d_{\text{БУ}} \geq 0,1$  — II степень БУ. Если показатель будет больше  $0,1$ , то III степень БУ. IV степень БУ у лиц, которым не удастся провести тимпанометрию после «барокамерной пробы» из-за нерегистрируемого высокого давления в полости ушей.

В результате сравнения данных до и после приема Вальсальвы было установлено, что показатель Pk после приема Вальсальвы во 2-й группе имел положительное значение ( $p < 0,05$ ) по сравнению с Pk до приема Вальсальвы, параметры PV и Gg незначительно изменялись в обеих группах (табл. 1). Следовательно, прием Вальсальвы приводит к изменению показателя Pk, что свидетельствует о схожем изменении этого показателя при «барокамерной пробе» и возможности контроля состояния БУ методом тимпанометрии.

Стоит отметить, что при сравнении данных 1-й и 2-й групп между собой выявлено, что до приема Вальсальвы показатели Pk, PV и Gg в обеих группах были статистически незначимыми, после приема Вальсальвы у 2-й группы отмечалось повышение Pk ( $p < 0,05$ ) по сравнению с 1-й (рис. 1). Таким образом, тимпанометрия после приема Вальсальвы может выявлять изменения пикового давления ушей, которые зависят от степени БУ.

Провели сравнение данных четырех подгрупп. В результате статистической обработки при сравнении 1.1 и 1.2 подгрупп статистически значимых изменений выявлено не было, что свидетельствует об отсутствии влияния ринита на ухудшение барофункции у лиц с I степенью БУ.

В подгруппе 2.2 определялось повышение Pk до приема Вальсальвы ( $p < 0,05$ ) по сравнению с подгруппой 2.1, что подтверждает снижение степени БУ в подгруппе обследуемых, имеющих сниженное носовое дыхание. Затем у подгруппы 2.2 сравнили данные, полученные при приеме Вальсальвы и «барокамерной пробе». В результате было выявлено повышение Pk до приема Вальсальвы ( $p > 0,05$ ) и после по сравнению с Pk до «барокамерной пробы» и после соответственно (табл. 2). Следовательно, статистически значимые изменения показателя Pk в подгруппе 2.2 свидетельствуют о снижении БУ из-за наличия ринита (снижение носового дыхания), тогда как в подгруппе 1.2 идентичного снижения не обнаружено. Можно предположить, что водолазы со II и III степенями БУ при наличии у них симптома ринита (снижение носового дыхания) подвергаются высокому риску возникновения баротравмы уха в условиях повышенного давления окружающей среды. Для снижения этого риска у водолазов необходимо проводить профилактические меры: использовать антиконгестанты и другие назальные препараты для местного применения, уменьшать скорость компрессии на 5–10 м/мин при водолазном спуске и т. д.

Таким образом, показатели пикового давления, полученные при тимпанометрии после пробы Вальсальвы в условиях атмосферного давления, не имели статистически значимых различий по сравнению с аналогичными, полученными при определении барофункции в условиях барокамеры, и следовательно, мы можем констатировать возможность контроля состояния БУ с помощью тимпанометрии в случае отсутствия барокамеры.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проверке БУ из нескольких тимпанометрических показателей до и после «барокамерной пробы» показатели пикового давления оказались наиболее информативными, соотносящимися со степенью БУ. У лиц с низкой БУ методом тимпанометрии выявлено ухудшение показателей пикового давления в виде его повышения [13].

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность использования метода тимпанометрии у специалистов, работающих в условиях изменяющегося барометрического давления в качестве метода, позволяющего контролировать степень БУ в период между ежегодными медицинскими освидетельствованиями [14].

## ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ

**Источник финансирования.** Финансирования данной работы не проводилось.

**Таблица 2.** Тимпанометрические показатели при «барокамерной пробе» и приеме Вальсальвы у обследуемых 1-й и 2-й групп Me[Q25 %; Q75 %]

Подгруппа	Пик подвижности БП (PV), см <sup>3</sup>							
	правое ухо				левое ухо			
	До		После		До		После	
«Барокамерная проба»								
1.1 подгруппа	0,82 [0,78; 0,86]		0,85 [0,74; 0,97]		0,83 [0,77; 0,89]		0,86 [0,78; 0,95]	
1.2 подгруппа	0,74 [0,69; 0,79]		0,79 [0,74; 0,84]		0,88 [0,80; 0,95]		0,90 [0,84; 0,96]	
2.1 подгруппа	0,69 [0,65; 0,73]		0,78 [0,69; 0,87]		0,70 [0,64; 0,76]		0,80 [0,74; 0,86]	
2.2 подгруппа	0,71 [0,65; 0,77]		0,92 [0,84; 0,99]		0,89 [0,81; 0,97]		1,02 [0,96; 1,09]	
Прием Вальсальвы								
1.1 подгруппа	0,83 [0,79; 0,87]		0,86 [0,78; 0,94]		0,84 [0,79; 0,89]		0,88 [0,79; 0,97]	
1.2 подгруппа	0,89 [0,85; 0,95]		0,93 [0,86; 0,99]		0,75 [0,71; 0,79]		0,80 [0,74; 0,86]	
2.1 подгруппа	0,74 [0,68; 0,80]		0,76 [0,68; 0,85]		0,68 [0,65; 0,72]		0,73 [0,66; 0,81]	
2.2 подгруппа	0,79 [0,75; 0,83]		0,79 [0,71; 0,88]		0,90 [0,85; 0,96]		0,96 [0,88; 1,01]	
Подгруппа	Пиковое давление (Pk), daPa				Градиент давления (Gr), daPa			
	правое ухо		левое ухо		правое ухо		левое ухо	
	До	После	До	После	До	После	До	После
«Барокамерная проба»								
1.1 подгруппа	-16 [-31; -2]	-18 [-37; 1]	-17 [-33; -1]	-20 [-38; -3]	77 [69; 85]	81 [69; 93]	75 [69; 81]	79 [69; 90]
1.2 подгруппа	-11 [-27; 6]	-6 [-30; 17]	-20 [-33; -6]	-13 [-29; 3]	73 [69; 78]	82 [73; 91]	78 [72; 94]	83 [73; 93]
2.1 подгруппа	-29 [-49; -8]	10 [-13; 33]*	-20 [-37; -3]	-3 [-12; 6]*	90 [81; 99]	80 [69; 92]	86 [79; 93]	83 [75; 92]
2.2 подгруппа	-11 [-21; 1]	10 [-3; 23]*	-15 [-33; 0]	18 [1; 36]*	77 [72; 82]	71 [63; 80]	75 [69; 82]	70 [59; 80]
Прием Вальсальвы								
1.1 подгруппа	-23 [-30; -16]	-13 [-24; -2]	-18 [-28; -10]	-9 [-30; 12]	79 [74; 84]	81 [73; 90]	78 [72; 84]	74 [65; 83]
1.2 подгруппа	-18 [-28; -8]	-16 [-29; 0]	-21 [-29; -13]	-11 [-23; 0]	87 [79; 95]	86 [76; 95]	85 [81; 89]	87 [80; 93]
2.1 подгруппа	-23 [-34; -11]	-1 [-15; 14]*	-38 [-53; -24]	-11 [-29; 7]*	82 [75; 90]	77 [69; 85]	81 [76; 86]	85 [74; 93]
2.2 подгруппа	0 [-20; 20] <sup>Δ0</sup>	17 [-2; 36]* <sup>Δ0</sup>	-1 [-15; 14] <sup>Δ0</sup>	23 [12; 35]* <sup>Δ0</sup>	86 [80; 91]	84 [75; 93]	80 [73; 87]	77 [67; 86]

*Примечание.* \* — статистическая значимость ( $p < 0,05$ ) при сравнении периода до и после воздействия («барокамерной пробы» или приема Вальсальвы); <sup>Δ</sup> — статистическая значимость ( $p < 0,05$ ) при сравнении 2.1 и 2.2 (1.1 и 1.2) подгрупп; <sup>Δ</sup> — статистическая значимость ( $p < 0,05$ ) при сравнении периодов до «барокамерной пробы» и до приема Вальсальвы.

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

**Этическая экспертиза.** Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ ВО

«Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» (протокол № 249 от 27.04.2021 г.).

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семенцов В.Н., Иванов И.В. Функциональные тесты для профессионального отбора водолазов и кессонщиков // *Известия Российской военно-медицинской академии*. 2019, Т. 38, № 3, С. 207–216.
2. Юнкин И.П., Апанасенко Г.Л., Соколов Г.М. Основные принципы профессионального отбора водолазов. В сб.: *Человек и животные в гипербарических условиях. Функциональное состояние организма и пути повышения его резистентности* / Под ред. В.Н. Черниговского и др. Л.: Наука, 1980. С. 148–180.
3. Физиология подводного плавания и аварийно-спасательного дела: Учебник / Под ред. проф. И.А. Сапова. Л.: ВМедА, 1972. 447 с.
4. Щеголев В.А., Попов С.В. Несчастные случаи, возникающие с водолазами в связи с особенностями водной среды и несоблюдением мер безопасности // *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2013. № 2. С. 27–31. DOI: 10.25016/2541-7487-2013-0-2-27-31
5. Мацнев Э.И., Сигалева Е.Э. Клинико-физиологические аспекты баротравмы среднего и внутреннего уха у дайверов // *Российская оториноларингология*. 2014. № 3(70). С. 72–83.
6. Мясников А.А. Устойчивость организма к декомпрессионной болезни и методы ее повышения: лекция. СПб.: Изд-во СПбМАПО, 2009. 45 с.
7. Мясников А.А., Шитов А.Ю., Чернов В.И., и др. Определение устойчивости водолазов к декомпрессионному газообразованию // *Военно-медицинский журнал*. 2013. Т. 334, № 2. С. 45–50.
8. Зверев Д.П., Кленков И.Р., Мясников А.А., и др. Устойчивость организма человека к действию высоких парциальных давлений азота и методические аспекты ее оценки // *Морская медицина*. 2020. Т. 6, № 4. С. 44–53. DOI: 10.22328/2413-5747-2020-6-4-44-53
9. Шитов А.Ю., Чернов В.И., Зверев Д.П., и др. Устойчивость водолазов к неблагоприятным факторам гипербарии // *Морская медицина*. 2015. Т. 1, № 3. С. 34–40.
10. Бобошко М.Ю., Лопотко А.И. *Слуховая труба: монография*. СПб.: Диалог, 2014. 384 с.
11. Приказ министра обороны Российской Федерации от 20.10.2014 г. № 770 «О мерах по реализации в Вооруженных силах Российской Федерации правовых актов по вопросам проведения военно-врачебной экспертизы» // *Российская газета*. 2015. № 24/1, 06 февраля.
12. Сапожников Я.М., Дайхес Н.А., Мачалов А.С., и др. Возможности широкополосной тимпанометрии в дифференциальной диагностике некоторых форм тугоухости // *Российская оториноларингология*. 2019. Т. 18, № 6 (103). С. 59–65.
13. Ревской Ю.К. Усачев В.И., Филимонов С.В., Жуков С.И. Баротравма ЛОР-органов: методические рекомендации. Л., 1989. 22 с.
14. Михеев А.В. Место внутреннего контроля качества и безопасности медицинской деятельности в формировании и функционировании системы менеджмента качества в медицинской организации // *Экономика, менеджмент и маркетинг в военном и гражданском здравоохранении: Тезисы докладов*. Санкт-Петербург, 24 октября 2013 года. СПб.: ВМедА им. С.М. Кирова, 2014. С. 123–124.

## REFERENCES

1. Sementsov VN, Ivanov IV. Functional tests for professional screening of divers and caissons. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2019;38(3):207–216. (In Russ.)
2. Yunkin IP, Apanasenko GL, Sokolov GM. Basic principles of professional selection of divers. In: Chernigovsky VN, ed. *Man and animals in hyperbaric conditions. The functional state of the body and ways to increase its resistance*. Leningrad: Nauka Publ.; 1980. P. 148–180. (In Russ.)
3. Sapov IA, ed. *Physiology of scuba diving and emergency rescue: Textbook*. Leningrad: VMedA Publishing House; 1972. 447 p. (In Russ.)
4. Shchegolev VA, Popov SV. Accidents that occur with divers due to the characteristics of the aquatic environment and non-compliance with safety measures. *Medico-Biological and Socio-Psychological Problems of Safety in Emergency Situations*. 2013;(2):27–31. (In Russ.) DOI: 10.25016/2541-7487-2013-0-2-27-31
5. Matsnev EI, Sigaleva EE. Clinical and physiological aspects of middle and inner ear barotrauma among divers. *Russian otorhinolaryngology*. 2014;(3(70)):72–83. (In Russ.)
6. Myasnikov AA. *Body resistance to decompression sickness and methods of increasing it: lection*. Saint Petersburg: Publishing House of SPbMAPO; 2009. 45 p. (In Russ.)
7. Myasnikov AA, Shitov AYu, Chernov VI, et al. Determination of diver resistance to decompression gassing. *Military Medical Journal*. 2013;334(2):45–50. (In Russ.)
8. Zverev DP, Klenkov IR, Myasnikov AA, et al. Resistance of a human body to the impact of high partial pressures of nitrogen and methodological aspects of its assessment. *Morskaya medicina*. 2020;6(4):44–53. (In Russ.) DOI: 10.22328/2413-5747-2020-6-4-44-53
9. Shitov AYu, Chernov VI, Zverev DP, et al. Resistance of divers to adverse factors of hyperbaria. *Morskaya medicina*. 2015;1(3):34–40. (In Russ.)
10. Boboshko MYu, Lopotko AI. *Eustachian tube: monograph*. Saint Petersburg: Dialog Publ.; 2014. 384 p. (In Russ.)
11. Order of the Ministry of Defense of Russian Federation of 20.10.2014 No. 770 "On measures to implement in the Armed Forces of the Russian Federation legal acts on military-medical examination". *Rossiyskaya Gazeta*. 2015;(24/1), February 6. (In Russ.)
12. Sapozhnikov YaM, Daykhes NA, Machalov AS, et al. Possibilities of broadband tympanometry in the differential diagnosis of some forms of hearing loss. *Russian otorhinolaryngology*. 2019;18(6 (103)):59–65. (In Russ.)
13. Revskoy YuK, Usachev VI, Filimonov SV, Zhukov SI. *Barotrauma of ENT organs: guidelines*. Leningrad; 1989. 22 p. (In Russ.)
14. Mikheev AV. The place of internal control of quality and safety of medical activity in the formation and functioning of the quality management system in a medical organization. *Economics, Management and Marketing in Military and Civil Health Care: Abstracts of reports*, Saint Petersburg, October 24, 2013. Saint Petersburg: Military Medical Academy Publishing House; 2014. P. 123–124. (In Russ.)



## ОБ АВТОРАХ

**Павел Рашидович Хакимов**; e-mail: pavelkhakimov@mail.ru

**\*Ильяс Рифатьевич Кленков**, канд. мед. наук; адрес: Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6;  
ORCID: 0000-0002-1465-1539; eLibrary SPIN: 9827-8535;  
Author ID: 857686; e-mail: klen.ir@mail.ru

**Дмитрий Павлович Зверев**, канд. мед. наук, доцент;  
ORCID: 0000-0003-3333-6769; eLibrary SPIN: 7570-9568;  
Author ID: 563791; e-mail: z.d.p@mail.ru

**Алексей Анатольевич Мясников**, докт. мед. наук, профессор;  
ORCID: 0000-0002-7427-0885; eLibrary SPIN: 2590-0429;  
Author ID: 210706; e-mail: a\_mjasnikov@mail.ru

**Арсений Юрьевич Шитов**, канд. мед. наук;  
ORCID: 0000-0002-5716-0932 ; eLibrary SPIN: 7390-1240;  
Author ID: 704707; Researcher ID: O-3730-2017;  
e-mail: arseniyshitov@mail.ru

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## AUTHORS' INFO

**Pavel R. Khakimov**; e-mail: pavelkhakimov@mail.ru

**\*I'yas R. Klenkov**, M.D., Ph.D. (Medicine); address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;  
ORCID: 0000-0002-1465-1539; eLibrary SPIN: 9827-8535;  
Author ID: 857686; e-mail: klen.ir@mail.ru

**Dmitriy P. Zverev**, M.D., Ph.D. (Medicine), Associate Professor;  
ORCID: 0000-0003-3333-6769; eLibrary SPIN: 7570-9568;  
Author ID: 563791; e-mail: z.d.p@mail.ru

**Aleksey A. Myasnikov**, M.D., D.Sc. (Medicine), Professor;  
ORCID: 0000-0002-7427-0885; eLibrary SPIN: 2590-0429;  
Author ID: 210706; e-mail: a\_mjasnikov@mail.ru

**Arseniy Yu. Shitov**, M.D., Ph.D. (Medicine);  
ORCID: 0000-0002-5716-0932; eLibrary SPIN: 7390-1240;  
Author ID: 704707; Researcher ID: O-3730-2017;  
e-mail: arseniyshitov@mail.ru