

С.И. Вдовенко

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СИСТЕМЫ ВНЕШНЕГО ДЫХАНИЯ У ЖИТЕЛЕЙ-СЕВЕРЯН В ВОЗРАСТНОМ АСПЕКТЕ

DOI 10.25789/YMJ.2024.86.16

УДК 612.216.2; 612.66

С целью выявления онтогенетических особенностей в работе респираторной системы проведено комплексное исследование мужчин 15-74 лет – постоянных жителей г. Магадана. Установлена значимая возрастная динамика по большинству показателей внешнего дыхания. Максимальные значения наблюдались в группе юношей, после чего следовало их существенное снижение у мужчин старших возрастных групп. Обнаруженные сдвиги указывают на понижение резервных возможностей респираторной системы с увеличением продолжительности проживания в условиях Севера и могут свидетельствовать об уменьшении адаптационного потенциала организма вследствие хронического неблагоприятного воздействия природно-климатических факторов среды.

Ключевые слова: Север, адаптация, респираторная система, мужчины.

This study aimed at the specific performance of respiration system based on the ontogeny. Four hundred and fifty-two male residents of Magadan aged 15-74. Most indicators of external respiration proved to be significantly age specific. The maximum values were observed in the early adulthood followed by a fall in men of older age groups. The revealed changes indicated lowered reserve capabilities of the respiration performance with increasing duration of residence under the North conditions and suggested reduced adaptabilities of the body owing to the chronic adverse effects of natural and climatic environmental factors.

Keywords: North, adaptation, respiration system, men.

Введение. Суровость эколого-климатических факторов Северо-Востока России определяется не только длительным периодом пониженных температур атмосферного воздуха, но и, в первую очередь, совокупностью абиотических факторов среды (температурно-влажностный и ветровой режим, изменения суточной и сезонной светопериодики, влияние гелиофизических факторов и т.д.). При этом в данном регионе (Магаданская область, Чукотка, Якутия) жесткость погодных проявлений достигает своего максимума [8]. Среди всех физиологических систем организма особое место по праву занимает система внешнего дыхания, которая ввиду непрерывного контакта с окружающей средой испытывает постоянное напряжение [9]. Данный процесс усиливается выраженными возрастными изменениями в работе респираторной системы, проявляющимися на различных уровнях – от дыхательной мускулатуры до проводящей и конвективной зоны легких [2, 6, 12, 13]. Оптимальное функциональное состояние дыхательной системы является залогом адекватного кислородообеспечения повышенных метаболических запросов организма в

условиях холода, что представляется особенно важным, поскольку на фоне возрастной динамики в работе легких возможно проявление гипоксических изменений в результате снижения интенсивности тканевого дыхания [7].

Исходя из вышесказанного, **целью** данного исследования является выявление изменений в работе системы внешнего дыхания у мужчин различных возрастных групп – постоянных жителей г. Магадана.

Материалы и методы исследования. Было обследовано 452 лица мужского пола из числа европеоидов, постоянно проживающих в г. Магадане. Все обследуемые были разделены на четыре группы: подростки, $n = 85$ (средний возраст $16,2 \pm 0,06$ лет, длина тела $179 \pm 0,75$ см, масса тела $66,5 \pm 1,27$ кг), юноши, $n = 235$ ($19,2 \pm 0,5$ лет, $178,9 \pm 0,7$ см, $66,4 \pm 1,2$ кг), мужчины зрелого возраста, $n = 89$ ($37,1 \pm 0,59$ лет, $180,3 \pm 0,68$ см, $84,1 \pm 0,9$ кг), мужчины пожилого возраста, $n = 43$ ($65,6 \pm 1,09$ лет, $174,1 \pm 1,16$ см, $86,1 \pm 2,18$ кг).

Функция внешнего дыхания (ФВД) мужчин оценивалась классическим и хорошо зарекомендовавшим себя методом индексации объемного давления и пневматического потока на медицинском спирографе «Диамант-С». Все базовые характеристики ФВД автоматически сравнивались с должными значениями, представляющими собой величины, рассчитанные для популяции жителей Центральной ча-

сти России [5]. Анализировался 21 показатель: жизненная и форсированная емкость легких (ЖЕЛ; ФЖЕЛ), объем форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁, л), пиковая объемная скорость (ПОС, л/с), время достижения ЖЕЛ, ФЖЕЛ, ПОС (с), мгновенные объемные скорости на участках 25%, 50 и 75% от ФЖЕЛ ($МОС_{25\%}$; $МОС_{50\%}$; $МОС_{75\%}$, л/с), средняя объемная скорость ($СОС_{25-75\%}$, л/с), а также два индекса бронхообструкции – Генслера и Тиффно (ИТ; ИГ, %).

Обработку полученного материала производили с использованием прикладного пакета статистического анализа. Результаты обработки представлены в виде среднего значения (М) и ошибки средней арифметической ($\pm m$). Статистическая значимость различий определялась с помощью критерия Шеффе. Критический уровень значимости (p) в работе принимался равным 0.05; 0.01; 0.001.

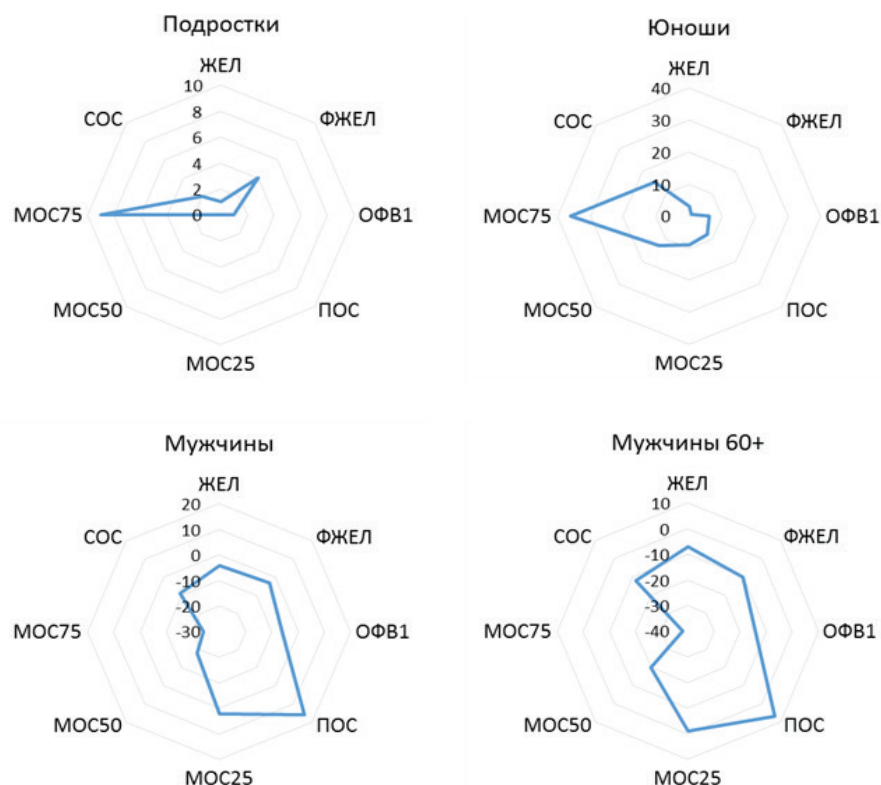
Все исследовательские работы проводились в соответствии с принципами Хельсинской декларации, протокол исследования был одобрен локальной комиссией по биоэтике НИЦ «Арктика» ДВО РАН. Дыхательным маневрам предшествовало обязательное детальное разъяснение всех нюансов предстоящих исследований и получение письменного согласия у каждого обследуемого.

Результаты и обсуждение. В таблице представлена возрастная дина-

Показатели функции внешнего дыхания у лиц мужского пола различного возраста (M±m)

Изучаемый показатель	Группа обследованных				Уровень значимости различий					
	Подростки (1)	Юноши (2)	Мужчины (3)	Мужчины 60+ (4)	1-2	1-3	1-4	2-3	2-4	3-4
Тжел (с)	1,95±0,07	1,88±0,04	2,31±0,09	2,1±0,12	p=0,39	p<0,05	p=0,29	p<0,001	p=0,09	p=0,17
ЖЕЛ (л)	4,97±0,07	5,03±0,04	5,1±0,07	3,8±0,08	p=0,46	p=0,2	p<0,001	p=0,47	p<0,001	p<0,001
ЖЕЛ (%)	101±1,69	103±0,75	96±1,01	93±1,99	p=0,29	p<0,05	p<0,05	p<0,001	p<0,001	p=0,19
Тфжел (с)	1,92±0,08	1,42±0,03	3,15±0,1	3,2±0,21	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p=0,83
ФЖЕЛ (л)	4,93±0,06	4,84±0,05	5,03±0,08	3,6±0,13	p=0,26	p=0,33	p<0,001	p=0,07	p<0,001	p<0,001
ФЖЕЛ (%)	104±1,44	101±0,81	97±1,24	90±2,38	p=0,08	p<0,001	p<0,001	p<0,01	p<0,001	p<0,05
ОФВ ₁ (л)	4,2±0,07	4,43±0,04	4,03±0,07	2,8±0,11	p<0,01	p=0,01	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
ОФВ ₁ (%)	101±1,6	106±0,73	94±1,34	86±2,55	p<0,01	p<0,01	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,01
Тпос (с)	0,16±0,01	0,17±0,01	0,12±0,01	0,1±0,01	p=0,49	p<0,01	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p=0,17
ПОС (л/с)	8,87±0,18	9,68±0,1	11,13±0,18	8,4±0,32	p<0,001	p<0,001	p=0,21	p<0,001	p<0,001	p<0,001
ПОС (%)	100±2,05	108±0,97	116±1,8	107±3,18	p<0,001	p<0,001	p=0,07	p<0,01	p=0,77	p<0,05
МОС _{25%} (л/с)	7,91±0,19	8,73±0,1	8,97±0,22	7,2±0,33	p<0,001	p<0,001	p=0,07	p=0,33	p<0,001	p<0,001
МОС _{25%} (%)	100±2,37	109±1,32	102±2,35	99±3,88	p<0,01	p=0,55	p=0,83	p<0,05	p<0,05	p=0,51
МОС _{50%} (л/с)	5,52±0,16	6,38±0,09	4,94±0,15	3,7±0,3	p<0,001	p<0,01	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
МОС _{50%} (%)	100±2,94	113±1,54	82±2,37	80±4,94	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p=0,72
МОС _{75%} (л/с)	3,03±0,1	3,78±0,06	2,1±0,08	1,2±0,1	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
МОС _{75%} (%)	109±3,69	136±2,3	76±2,7	62±5,57	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,05
СОС _{25-75%} (л/с)	5,5±0,14	6,24±0,08	5,34±0,14	4±0,23	p<0,001	p=0,43	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
СОС _{25-75%} (%)	102±2,54	115±1,29	91±2,22	88±4,14	p<0,001	p<0,01	p<0,01	p<0,001	p<0,001	p=0,53
ИТ, %	84±1,04	88±0,53	78±0,83	71±1,55	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001	p<0,001
ИГ, %	85±1,07	92±0,45	80±0,77	78±1,77	p<0,001	p<0,001	p<0,01	p<0,001	p<0,001	p=0,31

мика показателей системы внешнего дыхания в ряду от подростков до мужчин пожилого возраста, а на рисунке – относительное (в %) отклонение от должных величин. По приведенным данным видно, что наибольшее количество различий наблюдалось между группами юношей и мужчин трудоспособного и пожилого возраста, а наименьшее – между мужчинами двух старших возрастных групп. Отметим тот факт, что для всех без исключения групп были обнаружены значимые различия в отношении показателей форсированного выдоха за первую секунду, проходимости мелких бронхиол и индекса бронхообструкции Тиффно. Если рассматривать отдельные показатели внешнего дыхания, можно увидеть сходные тенденции для времени спокойного и форсированного выдоха – минимальные значения в обоих случаях были характерны для юношей, а максимальные – для мужчин средней и старшей возрастных групп. Показатель жизненной емкости легких, который ввиду своей воспроизводимости является ценным физиологическим показателем оценки состояния легочной ткани в целом [4], как в фактиче-



Положительная и отрицательная динамика показателей внешнего дыхания обследованных лиц мужского пола, %.

ских (л), так и относительных (%) величинах, был значимо ниже у мужчин старшего возраста относительно большинства других возрастных групп. Точно такая же картина была установлена и для форсированной емкости легких; самые высокие значения были у подростков и юношей, значимых межгрупповых различий для которых установлено не было. Полученные результаты в целом согласуются с данными Л.Б. Ким [6], указывающими на возрастное снижение ЖЕЛ, однако в нашем случае это происходит в более широком диапазоне и несколько позже – не с 30 до 50, а с 35 до 65 лет.

Среди обширной группы данных объемно-скоростных величин показатели работы бронхолегочной системы все без исключения указывали на значимую межгрупповую динамику. Величина форсированного выдоха за первую секунду является важнейшим показателем, так как первой реагирует и указывает на возможные обструктивные нарушения проходимости легких, и в норме она должна составлять не менее 0,8 от жизненной емкости легких [17]. Так, ОФВ₁ значимо повышаясь до 106 % у юношей, далее опускался до 94 % и 86 % у мужчин средней и старшей возрастных групп соответственно. Время достижения ПОС также уменьшалось в ряду от юношей к пожилым мужчинам. Начальная часть экспираторной кривой (25-33% объема легких) в большей степени зависит от прилагаемого мышечного усилия, а не механических свойств легочной ткани [10]. В наших исследованиях ПОС как начальная составляющая данной кривой достигала своих наивысших значений в абсолютных и относительных величинах у мужчин трудоспособного возраста. В данном случае можно с большой долей уверенности предположить, что именно наибольшее развитие экспираторных мышц у мужчин трудоспособного возраста способствует достижению максимального значения по показателю ПОС в данной группе.

Пройодимость крупных, средних и мелких бронхов демонстрировала схожую тенденцию изменений с возрастом, когда наивысшие значения фиксировались для лиц из группы юношей – для них наблюдалось повышение относительно подростков, а далее шло снижение к группе мужчин пожилого возраста. Следует отметить, что если в подростковом возрасте значения проходимости бронхов в основном соответствовали возрастным должным величинам, то у юношей отклонения

происходили в сторону расширения воздухоносных путей, а у старших возрастных групп – в сторону значительного сужения бронхов. На возросшее сопротивление экспираторному потоку также указывают более высокие значения Тжел и Тфжел (Т - время достижения ЖЕЛ/ФЖЕЛ) у лиц данных групп. О снижении с возрастом показателей функции внешнего дыхания указано и в исследованиях других авторов [14, 15], оно обусловлено изменениями как в самой легочной ткани, так и в дыхательных мышцах, что оказывает влияние на легочную функцию.

Обращают на себя внимание показатели МОС_{50%} и МОС_{75%}, изолированное снижение которых может быть ранним признаком наличия бронхообструкции [11]. При этом чем меньше были легочные структуры, тем радикальнее обнаруженное межгрупповое падение бронхиальной проходимости. Наибольшая вариативность была установлена для показателя проходимости мелких (дистальных) бронхиол, для которых диапазон отклонений составил 74% при максимуме у юношей и минимуме у мужчин старшего возраста. Учитывая, что МОС_{75%} отражает раскрытие мелких бронхиол, способствующих увеличению остаточного объема и приросту массы теплого воздуха в легочном дереве после выдоха [3], обнаруженный факт существенного снижения значений данного показателя с возрастом представляется весьма тревожным. В работе J.F.Morris с соавт. отмечена отрицательная корреляционная связь показателя проходимости бронхиол данного типа с возрастом [16]. Обращает на себя внимание, что в исследованиях И.В. Аверьяновой общеизвестный факт возрастного снижения тонуса блуждающего нерва дополнен данными для мужчин-северян, у которых установлена идентичная тенденция уменьшения активности парасимпатического звена ВНС, что смещает симпатовагальный баланс в относительное состояние симпатической активности [1]. В данном аспекте установленное изменение бронхопроходимости нельзя объяснить с точки зрения смещения баланса ВНС, так как 20-40 %-ное сужение бронхов явно противоречит представлению о влиянии возрастной симпатикотонии. Очевидно, что причинно-следственные связи подобной легочной динамики следует искать в плоскости комплексных межсистемных адаптационных механизмов, что будет являться предметом наших будущих исследований.

Межгрупповая динамика индексов бронхообструкции (ИТ, ИГ) имела сходный характер – значимое повышение до максимальных уровней от группы подростков к лицам юношеского возраста и постепенное снижение к старшей возрастной группе.

Заключение. Проведенные исследования показали выраженную межгрупповую динамику в работе бронхолегочной системы мужчин-северян, прежде всего трудоспособного и старшего возраста, указывающую на ограничения проходимости бронхов различного диаметра, что может свидетельствовать о потенциальной вероятности развития бронхообструктивных нарушений и уменьшении адаптационного потенциала организма. Данные изменения на фоне хронического неблагоприятного воздействия природно-климатических факторов среды указывают на возрастное повышение напряжения в работе легких, проявляющееся наиболее выражено в отношении мелких бронхиол, когда возрастает риск ограничения доступа кислородобогащенной воздушной смеси в дистальные отделы легких, где происходит основная часть газообмена в перфузированных альвеолах ацинусов. Подобная картина может быть следствием перенапряжения в работе респираторной системы (после достижения пика в юношеском возрасте), ведущего к рассогласованию и ослаблению регуляторных механизмов, что требует дальнейшего детального изучения.

Литература

1. Аверьянова И.В. Особенности показателей вариабельности сердечного ритма в популяции жителей-северян юношеского, зрелого и пожилого возраста // Успехи геронтологии. 2023. Т. 36, № 1. С. 36-42.
2. Аверьянова И.В. Features of heart rate variability indicators in the population of Northerners of youthful, able-bodied and elderly age // Successes of gerontology. 2023. Vol. 36, No. 1. P. 36-42.
3. Белозерова Л.М., Одегова Т.В. Метод определения биологического возраста по спирографии // Клинич. геронтология. 2006. Т. 12, № 3. С. 53-56.
4. Belozeroval L.M., Odegova T.V. The method of determining biological age by spirometry // Clinical gerontology. 2006. Vol. 12, No. 3. P. 53-56.
5. Вдовенко С.И., Аверьянова И.В. Сравнительные особенности метаболизма и функции внешнего дыхания у юношей-постоянных жителей различных климатогеографических зон Северо-Востока России // Якутский медицин. журнал. 2019. № 2 (66). С. 28-31. DOI: 10.25789/YMJ.2019.66.08
6. Vdovenko S.I., Averyanova I.V. Comparative features of metabolism and functioning of the external respiration in young male residents of different climatic and geographical areas of Russian

North-East // Yakut medical journal. 2019. Vol. 2, No. 66. P. 28-31/ DOI: 10.25789/YMJ.2019.66.08

4. Возрастные изменения внешнего дыхания у человека / Михайлов П.В., Осетров И.А., Ахапкина А.А., Муравьев А.А. // Ярославский педагогический вестник. 2012. № 4. С. 172-175.

Age-related changes in human external respiration / Mihajlov P.V., Osetrov I.A., Ahapkina A.A., Murav'ov A.A. // Yaroslavl Pedagogical Bulletin. 2012. Vol. 4. P. 172-175.

5. Инструкция по применению формул и таблиц должных величин основных спирографических показателей / Клемент Р.Ф. [и др.], М.-Л.: МЗ СССР, ВНИИ пульмонологии, 1986. 79 с.

Instructions for the use of formulas and tables of proper values of the main spiographic indicators / Klement R.F. [et al.]. M-Leningrad, 1986. 79 p.

6. Ким Л.Б. Состояние внешнего дыхания у жителей Крайнего Севера в зависимости от возраста и полярного стажа // Бюлл. СО РАМН. 2010. Т. 30, № 3. С. 18-23.

Kim L.B. The state of external respiration in the inhabitants of the Far North, depending on age and polar experience // Bulletin of Siberian Medicine. 2010. Vol. 30, No. 3. P. 18-23.

7. Колчинская А.З., Лябах Е.Г., Филиппов М.М. Общие представления о гипоксии нагрузки, ее генезе и компенсации. Вторичная тканевая гипоксия / под ред.

А.З. Колчинской. К., 1983. С. 183-191. Kolchinskaya A.Z., Ljabah E.G., Filippov M.M. General ideas about load hypoxia, its genesis and compensation. Secondary tissue hypoxia / edited by A.Z. Kolchinskaya. K., 1983. P. 183-191.

8. Механизмы влияния атмосферных загрязнений на течение заболеваний легких / Луценко М.Т. [и др.] // Пульмонология. 1992. № 1. С. 6-10.

Mechanisms of influence of atmospheric pollution on the course of lung diseases / Lucenko M.T. [et al.] // Pulmonology. 1992. Vol. 1. P. 6-10.

9. Резервы организма и здоровье студентов из различных климатогеографических регионов / Агаджанян Н.А. [и др.] // Вестник Российского ун-та Дружбы народов. Серия: Медицина. 2006. № 2. С. 37-41.

Body reserves and health of students from different climatogeographic regions / Agadzhanjan N.A. [et al.]. // RUDN Journal of Medicine. 2006. Vol. 2. P. 37-41.

10. Черняк В.А., Неклюдова Г.В. Спирометрия: как избежать ошибок и повысить качество исследования // Практич. пульмонология. 2016. № 2. С. 47-55.

Chernyak V.A., Nekljudova G.V. Spirometry: how to avoid mistakes and improve the quality of research // Practical pulmonology. 2016. Vol. 2. P. 47-55.

11. Assessment of respiratory function in stu-

dents, residing in different Industrial areas / Konkabaeva A.E. [et al.] // European Researcher. 2013. Vol. 56, No. 8-1. P. 2017-2022.

12. Crapo R.O. The role of reference values in interpreting lung function tests // Eur. Respir. J. 2004. Vol. 24, No. 3. P. 341-342. DOI: 10.1183/09031936.04.00063804

13. Guenette J.A., Witt J.D., McKezie D.C. Respiratory mechanics during exercise in endurance-trained men and women // J. Physiol. 2007. Vol. 581, No. 3. P. 1309-1322. DOI: 10.1113/jphysiol.2006.126466

14. Janssens J.P., Pache J.C., Nicod L.P. Physiological changes in respiratory function associated with ageing // Eur Respir J. 1999. Vol. 13. P. 197-205. DOI: 10.1183/09031936.99.14614549

15. Kim J., Sapienza C.M. Implications of expiratory muscle strength training for rehabilitation of the elderly: Tutorial // J Rehabil Res Dev. 2005. Vol. 42. P. 211-224. DOI: 10.1682/jrrd.2004.07.0077

16. Morris J.F., Koski A., Breese J.D. Normal values and evaluation of forced end-expiratory flow // Am Rev Respir Dis. 1975. Vol. 111, No. 6. P. 755-62. DOI: 10.1164/arrd.1975.111.6.755. PMID: 1137244

17. References values for forced spirometry / Roca J. [et al.] // Eur. Respir. J. 1998. Vol. 11, No. 4. P. 1354-1362. DOI:10.1183/09031936.9.11061354

НАУЧНЫЕ ОБЗОРЫ

DOI 10.25789/YMJ.2024.86.17

УДК 611.08\$=57.08

С.Э. Аветисов, А.К. Дзамихова, А.В. Шитикова,
Ю.М. Ефремов, П.С. Тимашев

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ОЦЕНКИ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РОГОВИЦЫ

В обзоре представлены описание методов и результаты различных экспериментальных исследований биомеханических свойств роговицы: методика растяжения образцов, способ индентации, а также атомно-силовая микроскопия. В качестве «источников» образцов рассмотрены роговицы экспериментальных животных и человека (в частности, донорских глаз и материала, полученного в результате кератопластики). Селективная оценка отдельных структур роговицы с помощью классических механических тестов на растяжение в известной степени лимитирована из-за достаточно малой толщины этих структур и, как следствие, сложностей фиксации образца. В реальной практике перспективным остается использование более адаптированных для проведения подобных исследований индентации и атомно-силового микроскопа, с одной стороны, исключающих необходимость механической фиксации образца, а с другой – обеспечивающих возможность исследования различных участков и поверхностей последнего.

Ключевые слова: роговица, биомеханические свойства, методы экспериментальной оценки.

The review presents a description of methods and results of various experimental studies of corneal biomechanical properties: the technique of tensile testing, the indentation method, and atomic force microscopy. Corneas of experimental animals and humans (in particular, donor eyes and material obtained as a result of keratoplasty) are considered as "sources" of samples. Selective evaluation of individual corneal structures using classical mechanical tensile tests is limited to a certain extent due to the rather small thickness of these structures and, as a consequence, difficulties in fixing the specimen. In real practice, it remains promising to use indentation and AFM, which are more adapted for such studies, on the one hand, eliminating the need for mechanical fixation of the specimen, and on the other hand, providing the possibility of studying various areas and surfaces of the latter.

Keywords: cornea, biomechanical properties, methods of experimental evaluation.

АВETISOB Сергей Эдуардович – д.м.н., проф., акад. РАН, научн. руковод. НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова, зав. кафедрой Первого МГМУ им. И.М. Сеченова, ORCID: 0000-0001-7115-4275; **ДЗАМИХОВА Асият Касумовна** – аспирант НИИ глазных болезней им. М.М. Краснова, asiabukerimova@yandex.ru, ORCID: 0000-0002-2245-6346.

Первый МГМУ им. И.М. Сеченова: **ШИТИКОВА Алина Викторовна** – ассистент кафедры, ORCID: 0000-0001-8249-9703, **ЕФРЕМОВ Юрий Михайлович** – к.б.н., зав. отделом Ин-та регенеративной медицины Первого МГМУ, ORCID: 0000-0001-7040-253X, **ТИМАШЕВ Петр Сергеевич** – д.х.н., проф., научн. руковод. Ин-та регенеративной медицины, ORCID: 0000-0001-7773-2435.