

ВОЗРАСТНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВОСПРИЯТИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО РЕСПИРАТОРНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ

Бяловский Ю.Ю.¹, Ракитина И.С.¹

¹ФГБОУ ВО «РязГМУ» Минздрава России, Рязань, e-mail: b_uu@mail.ru

Сведений об изменении восприятия дополнительного респираторного сопротивления у людей разного возраста недостаточно. Цель данного исследования состояла в том, чтобы оценить возрастные изменения восприятия дополнительного респираторного сопротивления. Исследовались две разные возрастные группы: 40 молодых (возраст от 16 до 20 лет) и 40 пожилых людей (возраст от 59 до 82 лет). Пороговое значение инспираторной резистивной нагрузки определяли как во время свободного дыхания, так и на фоне постоянного дополнительного респираторного сопротивления дыханию величиной 40, 60, 70, 80% P_{mmax}, где P_{mmax} – давление во рту при полностью перекрытых воздухоносных путях. В ходе исследования установлено, что у испытуемых старшей возрастной группы пороговое инспираторное сопротивление на фоне постоянного увеличенного дополнительного респираторного сопротивления было выше, чем у представителей молодой возрастной группы. Обе возрастные группы демонстрировали примерно одинаковую резистивную чувствительность в условиях свободного дыхания или дыхания на минимальной величине базового дополнительного респираторного сопротивления. Отмечено достоверное влияние факторов возраст и пол на изменение порогового респираторного сопротивления, при этом не обнаруживалось влияния таких факторов, как рост, вес, курение, наличие аллергических заболеваний, наличие хронических заболеваний системы дыхания.

Ключевые слова: дополнительное респираторное сопротивление, восприятие, порог резистивной нагрузки.

AGE FEATURES OF PERCEPTION OF ADDITIONAL RESPIRATORY RESISTANCE

Byalovsky Yu.Yu.¹, Rakitina I.S.¹

¹Ryazan State Medical University, Ryazan, e-mail: b_uu@mail.ru

Data on changes in the perception of additional respiratory resistance in people of different ages is not enough. The aim of this study was to assess age-related changes in the perception of additional respiratory resistance. Two different age groups were studied: 40 young people (ages 16 to 20) and 40 older people (ages 59 to 82). The threshold value of the inspiratory resistive load was determined both during free breathing and against the background of constant additional respiratory resistance to breathing of 40, 60, 70, 80% P_{mmax}, where P_{mmax} is the pressure in the mouth with completely blocked airways. In the course of the study, it was found that in the subjects of the older age group, the threshold inspiratory resistance against the background of a constantly increased additional respiratory resistance was higher than in the representatives of the young age group. Both age groups demonstrated approximately the same resistive sensitivity under conditions of free breathing or breathing at the minimum value of the basic additional respiratory resistance. A significant influence of the factor age and gender on the change in threshold respiratory resistance was noted, while the influence of such factors as height, weight, smoking, the presence of allergic diseases, the presence of chronic diseases of the respiratory system was not detected.

Keywords: additional respiratory resistance, perception, resistive load threshold.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансовая поддержка статьи отсутствует.

Хотя большинство здоровых людей в основном дышат носом, нарушение проходимости дыхательных путей, вызванное аллергией или инфекцией, приводит к изменению как носового, так и ротового дыхания. Комбинированное носовое и ротовое дыхание также возникает при физической нагрузке, при дыхании более холодным воздухом [1] или в положении лежа [2]. Кроме того, дополнительное респираторное сопротивление

(ДРС) возникает в связи с отеком слизистой оболочки из-за аллергического воспаления. Переключение с носового на носовое и ротовое дыхание происходит, когда носовое сопротивление достигает порогового уровня, который незначительно различается у разных людей и в зависимости от возраста [3]. Для определения порогов восприятия ДРС использовались различные методы, включая плетизмографию тела и риноманометрию. Увеличение размера носовых дыхательных путей с возрастом у детей было зарегистрировано в нескольких исследованиях в разных группах населения. По достижении совершеннолетия размер носовых дыхательных путей мало меняется, хотя существуют несоответствия между сопротивлением носовых дыхательных путей и возрастом [4]. Другие параметры дыхания при старении менее изучены.

Реакции дыхания на ДРС подробно изучались экспериментально на животных, у пациентов с повышенным сопротивлением дыхательных путей или неврологическими расстройствами [5]. Medeiros da Fonsêca J.D. et al. [6] показали, что у молодых людей среднее значение неэластического сопротивления воздухоносных путей составляло 1,5–3,4 см H₂O/л/с. Здоровый испытуемый может определить прирост ДРС на уровне 0,4-0,7 см H₂O/л/с. Данные исследования показывают, что изучение возрастных особенностей восприятия ДРС может составить диагностическую базу для целого ряда заболеваний органов дыхания.

Цель исследования – оценка возрастных изменений восприятия дополнительного респираторного сопротивления.

Материал и методы исследования. Сравнивались две разные возрастные группы: 40 молодых и 40 пожилых людей. В младшую группу вошли 21 девушка и 19 юношей, средний возраст которых составил 17,6±2,1 года, а возрастной диапазон - от 16 до 20 лет. Группа пожилых людей была представлена 29 женщинами и 11 мужчинами, средний возраст которых составлял 69,9±5,9 года в диапазоне от 59 до 82 лет. У участников собиралась информация об аллергии, назальных симптомах, привычке к курению и хронических заболеваниях, включая бронхиальную астму, болезни сердца, ревматизм, диабет, для чего использовали опросник диагностических симптомов (DSQ) [7]. В младшей группе 11 человек имели сезонную аллергию и 8 человек пристрастие к курению, в старшей группе соответствующие цифры составили 9 и 4 человека соответственно. В младшей группе хронических заболеваний не было, в то время как в старшей группе 13 человек имели такие заболевания, контролируемые лекарственными препаратами. Главное условие включения испытуемых в исследование – отсутствие насморка и сезонных аллергий во время измерений.

На рисунке приведена схема устройства (1) оригинальной конструкции [8], в котором канал вдоха мог перекрываться с помощью пневматического затвора (3). Испытуемый соединялся с помощью мундштука и клапанной развязки (2) с трубкой Флейша (5)

пневмотахографа (6). Пневматический затвор (3) регулировал сопротивление вдоху с помощью нагнетателя с манометром (4), а контроль внутриротового давления осуществлялся с помощью моновакууметра (7). Все измерения проводились в положении сидя с интервалом в 10 секунд. После регистрации дыхания в состоянии покоя (0% P_{mmax}) создавалось ДРС с базовой величиной 40, 60, 70, 80% P_{mmax} , где P_{mmax} – максимальное внутриротовое давление при полном перекрытии воздухоносных путей. Пороговые значения резистивной нагрузки определяли в исходном состоянии и на каждой базовой величине ДРС. Испытуемых просили указать, когда они почувствовали изменение сопротивления. Одно и то же значение прироста сопротивления должно было быть обнаружено три раза подряд, чтобы его можно было принять в качестве порогового значения.

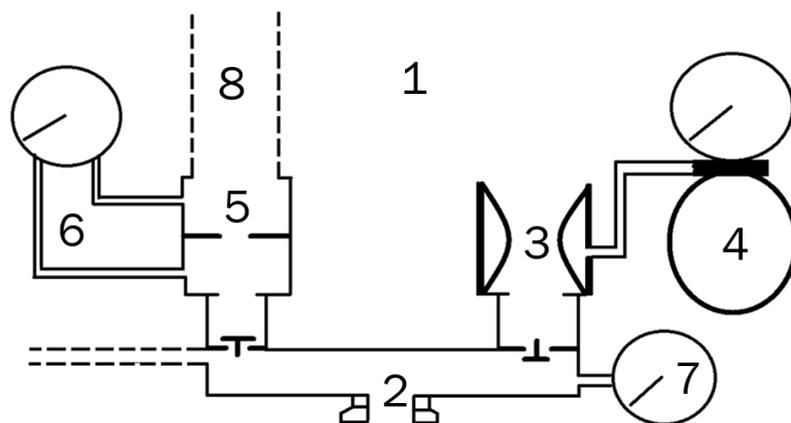


Схема устройства для предъявления дозированного дополнительного респираторного сопротивления. Обозначения элементов приведены в тексте

Пороговое значение прироста ДРС при обнаружении разницы для каждого человека рассчитывали как фракцию Вебера: $WF=(R_i-R_o)/R_o$, где R_i - сопротивление системы, соответствующее едва заметному сопротивлению во время действия ДРС, плюс собственное сопротивление дыхательных путей во время дыхания в покое, а R_o - сопротивление регистрирующей системы, соответствующее максимальному открытию пневматического затвора, плюс собственное сопротивление дыхательных путей во время дыхания в состоянии покоя каждого человека. Этическое одобрение этого исследования было предоставлено локальным комитетом по этике Рязанского государственного медицинского университета, установленные формы информированного согласия были подписаны участниками исследования.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программного пакета IBM SPSS Statistics, версия 17.0 (США). Возрастные различия между пороговыми значениями сопротивления при свободном дыхании и четырех базовых градациях ДРС оценивали с помощью U-критерия Манна - Уитни. С помощью однофакторного теста ANOVA

для количественных переменных оценивалось влияние ряда изучаемых показателей испытуемых на порог инспираторной резистивной нагрузки. Для всех анализов р-значения 0,05 считались статистически значимыми.

Результаты исследования и их обсуждение. В таблице 1 приведены медианные значения (Me, Q1-Q3) внутриротового давления и пороговой инспираторной резистивной нагрузки – фракция Вебера (см. H₂O/л/с) среди молодых (16–20 лет) и пожилых (59–82 лет) исследуемых групп при различных уровнях базового дополнительного респираторного сопротивления.

Таблица 1

Возрастные различия между значениями внутриротового давления, пороговой инспираторной резистивной нагрузки среди молодых и пожилых в исследуемых группах при различных уровнях базового дополнительного респираторного сопротивления

Показатель	Молодые люди, 40 чел.		Пожилые люди, 40 чел.	
	Pm	WF	Pm	WF
Свободное дыхание	2,1 [1,9-2,4]	1,72 [1,5-2,0]	2,34 [2,1-2,5]	1,85 [1,6-2,0]
ДРС 0%Pmmax	3,18 [2,9-3,4]	2,18 [1,9-2,4]	4,32 [4,0-4,7]	2,78 [2,5-3,0]
ДРС 40%Pmmax	12,6 [10,6-14,7]	4,6[4,4-4,8]	14,3 [11,2-17,3]	5,7 [5,4-5,9]*
ДРС 60%Pmmax	23,5 [19,4-26,1]	6,5 [6,0-6,9]	27,4 [24,2-29,8]	7,9 [7,2-8,0]*
ДРС 70%Pmmax	38,6 [32,1-43,7]	9,6 [8,1-10,4]	41,8 [36,7-44,3]	11,4 [9,7-12,9]*
ДРС 80%Pmmax	54,3 [47,8-56,8]	16,7 [14,6-18,5]	59,5[52,8-67,4]	20,3 [18,5-22,4]*

Pm – среднее внутриротовое давление на вдохе, см.H₂O/л/с, WF – фракция Вебера; * - вероятность различий показателей молодых и пожилых испытуемых p<0,05 (U-критерий Манна - Уитни).

Как следует из данных, приведенных в таблице 1, при сравнении возрастных показателей внутриротового давления (Pm) во время свободного дыхания и разных градаций базового ДРС (0-80% Pmmax) нам не удалось показать статистически значимых различий (p>0,05). Разница была статистически значимой в отношении фракции Вебера (WF) при дыхании на базовых значениях ДРС 40% Pmmax и выше. У лиц в возрасте 59–82 лет пороговое инспираторное сопротивление было значительно выше при дыхании на фоне ДРС (p<0,05).

В таблице 2 приведены результаты однофакторного дисперсионного анализа влияния ряда изучаемых показателей: возраст, пол, рост, вес, курение, наличие аллергических заболеваний, наличие хронических заболеваний системы дыхания, на порог инспираторной резистивной нагрузки.

Таблица 2

Влияние изучаемых показателей на пороговое значение инспираторной резистивной нагрузки (данные однофакторного дисперсионного анализа)

Исследуемый показатель	Источник вариации	MS	F	P _F	η ² _F
Возраст	Между группами	464,14	8,04	0,0087	18,6
	Внутри групп	57,66			

Пол	Между группами	0,16	4,09	0,042	6,7
	Внутри групп	0,069			
Рост	Между группами	354,67	0,76	0,26	1,53
	Внутри групп	6300,09			
Вес	Между группами	57,66	0,042	0,87	0,06
	Внутри групп	464,14			
Курение (в настоящее время или в прошлом)	Между группами	3,57	0,054	0,81	0,08
	Внутри групп	65,40			
Наличие аллергических заболеваний	Между группами	41,28	1,14	0,29	0,21
	Внутри групп	36,17			
Хронические заболевания системы дыхания	Между группами	0,38	0,0044	0,94	0,07
	Внутри групп	87,27			

MS – математическое ожидание факторного отклика; F - критерий Фишера; P_F – вероятность ошибочного суждения о достоверности критерия Фишера; η^2_F – сила влияния организованного фактора (%).

Нами получено значительное и статистически значимое влияние возраста испытуемого на порог инспираторной резистивной нагрузки ($F=8,0$; $p=0,008$), при этом сила влияния фактора на 18,6% определяла изменения измеряемого признака. Данный факт указывает на существенное значение возраста при восприятии пороговых значений ДРС. Несколько меньший, но статистически достоверный факторный отклик наблюдался в отношении пола испытуемых ($F=4,0$; $p=0,04$), при этом влияние данного фактора на 6,7% определяло изменение порога восприятия. Рост, вес, привычка к курению, аллергия или другие хронические заболевания дыхания не оказывали статистически значимого влияния на порог инспираторной резистивной нагрузки ($p>0,05$, табл. 2).

Ощущения, связанные с дыханием на фоне ДРС, изучались психофизическими методами. Обнаружение резистивной нагрузки является одним из двух перцептивных процессов респираторной психофизиологии. Было показано, что порог для обнаружения резистивных нагрузок представляет собой постоянную долю базового сопротивления [9], известную как доля Вебера.

В настоящем исследовании мы определили, что размер выборки из 40 человек в каждой возрастной группе был достаточным для этого исследования, которое, хотя и было неинвазивное, требовало весьма много времени для каждого испытуемого. Более ранние исследования, посвященные измерению порогов восприятия ДРС [9], включали группы от 8 до 51 испытуемых, что зачастую было недостаточно для обеспечения статистической мощности. В настоящем исследовании все участники не имели назальных симптомов на момент проведения измерений. Предыдущие исследования показали, что основным фактором исключения из исследований подобного рода были лица с острой заложенностью носа [10].

В исследованиях, посвященных антропометрическим коррелятам дыхательной функции, параметры тела определяли ростом, весом или индексом массы тела (ИМТ). Мы получили, что

рост и вес испытуемых не влияли на резистивную чувствительность, что соответствует выводам O'Neill G., Tolley N.S. [11] в исследуемой группе от 2 до 19 лет. При этом сообщалось, что у 108 взрослых в возрасте 20–45 лет резистивная чувствительность уменьшалась при увеличении роста и веса, за исключением лиц с весом 85–95 кг [11]. Наши результаты совпадают с исследованиями с использованием индекса массы тела (ИМТ) у взрослого населения, а также с данными, полученными у испытуемых с апноэ во сне и ИМТ 30 кг/м², но противоречат исследованию на выборке широкого возрастного диапазона, от 16 до 82 лет [12]. При диагностике проблем с изменением сопротивления верхних дыхательных путей размер тела может иметь значение у испытуемых, страдающих ожирением [12].

В наших исследуемых группах гендерное распределение было равномерным среди подростков, в то время как большинство испытуемых старшего возраста составляли женщины, что типично для демографии пожилых людей в Российской Федерации. При этом фактор пола оказывал достоверное влияние на порог резистивной чувствительности.

Данное исследование показало, что пожилые люди обнаруживали дополнительную нагрузку на фоне действующей базовой ДРС при гораздо более высоком сопротивлении, нежели подростки, что указывает на меньшую чувствительность при восприятии резистивной нагрузки у пожилых людей. Примечательно, что обе группы демонстрировали примерно одинаковую резистивную чувствительность ($p > 0,05$) в условиях свободного дыхания или дыхания на минимальной величине базовой ДРС (0% P_{max}). Таким образом, несмотря на то что пожилые люди демонстрируют более высокие значения дифференциальных порогов резистивной чувствительности, отражающие их более низкое восприятие изменений сопротивления верхних дыхательных путей, восприятие абсолютных порогов было сходным в обеих возрастных группах.

Похожие результаты в оценке порогов субъективного выявления ДРС при спокойном дыхании в покое в пожилом возрасте у пациентов с хронической обструктивной болезнью легких (ХОБЛ) и у здоровых людей получены в работе S.C. Allen et al. [5]. Среднее значение порогов ДРС составило 11,11 кПа л/с у пациентов с ХОБЛ по сравнению с 5,93 у здоровых людей ($p < 0,001$) в том же возрастном диапазоне. Достоверной связи между порогом ДРС и возрастом в группе ХОБЛ не было ($r = -0,182$, $p = 0,326$), хотя у здоровых людей была обнаружена значимая связь с возрастом ($r = 0,591$, $p < 0,001$). Пороги резистивной чувствительности у пациентов с ХОБЛ достоверно коррелировали с соотношением FEV1/FVC ($r = 0,367$, $p = 0,048$), но не с другими показателями спирометрии, ростом, массой тела, ИМТ, насыщением крови кислородом или стажем курения. Авторы предположили, что пороги ДРС у пожилых пациентов с ХОБЛ повышаются, возможно, из-за измененной центральной

регуляции порога или как следствие влияния податливости легких, отдачи и изменений объема на афферентный вход от механорецепторов при ХОБЛ [5].

Хотя в литературе широко обсуждалась перцепция инспираторных нагрузок, механизмы восприятия ДРС изучены недостаточно. В легких и нижних дыхательных путях расположено множество механорецепторов, которые иннервируются блуждающими нервами. Афферентная информация от этих рецепторов, связанная с дыхательными механическими изменениями при нагруженном дыхании, может способствовать обнаружению внешних нагрузок. Настоящее исследование показало, что на фоне нагруженного дыхания группа пожилых людей имела значительно более высокий порог обнаружения резистивной нагрузки, чем группа молодых. Эти результаты позволяют предположить, что с возрастом легочные афференты блуждающего нерва могут снижать свою чувствительность, что затрудняет обнаружение пороговой резистивной нагрузки на фоне увеличенного ДРС.

В настоящем исследовании для описания восприятия едва заметного увеличения сопротивления дыханию использовалась фракция Вебера. Отмечено, что закон Вебера, выражающий отношение порога приращения к фоновой интенсивности, подтвержден в исследованиях восприятия базовой ДРС к пороговому сопротивлению вдоху [13]. Сообщалось, что у людей с бронхиальной астмой пороговые значения обнаружения широко варьируют и обычно намного выше по сравнению с контрольной группой, возможно, из-за долговременной адаптации к повышенному сопротивлению дыхательных путей. В этом исследовании закон Вебера оказался вполне применимым, если не использовалась лекарственная бронходилатация. W. Wu et al. [14] сообщили о парадоксальных результатах при обследовании больных хронической обструктивной болезнью легких, а именно о более низких значениях порогов восприятия ДРС у этой категории больных по сравнению со здоровыми испытуемыми. В нашем исследовании закон Вебера был достаточно хорошо применим к подросткам, но не к старшей группе. Фракция Вебера была явно выше у пожилых людей, чем у подростков, что указывает на снижение чувствительности к изменениям сопротивления дыхательных путей с возрастом.

Роль афферентной обратной связи от легких и нижних дыхательных путей, которая является одной из сенсорных систем, участвующих в восприятии ДРС, остается спорной. Были приняты две стратегии для определения роли легочных рецепторов в восприятии респираторной нагрузки: либо избирательно блокируется главный афферентный нерв (блуждающий нерв); либо, альтернативно, все другие возможные источники устраняются, остаются нетронутыми только блуждающие нервы [15]. Пациенты с параличом нижних конечностей и трахеостомой представляют определенные доказательства роли легочных афферентов в дыхательной чувствительности, потому что и афференты дыхательных мышц, и

рецепторы верхних дыхательных путей обходятся, оставляя нетронутыми только легочные рецепторы. Сообщалось, что эти больные могли надежно обнаруживать изменения дыхательного объема всего на 100 мл, что было сопоставимо с таковым у нормальных испытуемых. Эти данные свидетельствуют о том, что рецепторы растяжения легких могут обеспечить восприятие дополнительного дыхательного объема по крайней мере в отсутствие всех других сигналов. Интересно, что на порог обнаружения ДРС не влияла ни двусторонняя блокада блуждающего нерва [15], ни анестезия верхних и нижних дыхательных путей у здоровых людей. Однако возможно, что некоторые рецепторы растяжения легких могут избегать анестезии, потому что анестетики не могут проникнуть в гладкую мускулатуру.

В целом более высокий порог восприятия инспираторной резистивной нагрузки на фоне базового увеличения ДРС у пожилых людей может представлять опасность для здоровья у лиц с сердечно-сосудистыми или респираторными заболеваниями во время физических нагрузок или стрессовых состояний.

Выводы

1. У испытуемых старшей возрастной группы пороговое инспираторное сопротивление на фоне постоянного увеличенного дополнительного респираторного сопротивления было выше, чем у представителей молодой возрастной группы.
2. Обе возрастные группы демонстрировали примерно одинаковую резистивную чувствительность в условиях свободного дыхания или дыхания на минимальной величине базового дополнительного респираторного сопротивления.
3. Отмечено достоверное влияние факторов возраст и пол на изменение порогового респираторного сопротивления, при этом не обнаруживалось влияния таких факторов, как рост, вес, курение, наличие аллергических заболеваний, наличие хронических заболеваний системы дыхания.

Список литературы

1. Bailey R.S., Casey K.P., Pawar S.S., Garcia G.J. Correlation of Nasal Mucosal Temperature with Subjective Nasal Patency in Healthy Individuals // JAMA Facial. Plast. Surg. 2017. № 19. P.46-52.
2. Van Holsbeke C.S., Verhulst S.L., Vos W.G. Change in upper airway geometry between upright and supine position during tidal nasal breathing // J. Aerosol. Med. Pulm. Drug. Deliv. 2014. № 7. P.51–57.
3. Faull O.K., Cox P.J., Pattinson K.T. Cortical processing of breathing perceptions in the athletic brain // Neuroimage. 2018. № 179. P.92-101.

4. Ciprandi G., Schiavetti I., Ricciardolo F.L. The impact of aging on outpatients with asthma in a real-world setting // *Respir. Med.* 2018. № 136. P.58-64.
5. Allen S.C., Tanner A., Khattab A. The threshold for detecting a rise in airflow resistance during tidal breathing is lower in older patients with COPD than in healthy people of similar age // *Adv. Respir. Med.* 2020. № 88. P.313-319.
6. Medeiros da Fonsêca J.D., Aliverti A., Benício K., de Farias Sales V.S., Fontes Silva da Cunha Lima L., Resqueti V.R., de Freitas Fregonezi G.A. Breathing pattern and muscle activity using different inspiratory resistance devices in children with mouth breathing syndrome // *ERJ Open. Res.* 2022. № 8(2). P.00480-2021.
7. Hanania N.A., O'Donnell D.E. Activity-related dyspnea in chronic obstructive pulmonary disease: physical and psychological consequences, unmet needs, and future directions // *Int. J. Chron. Obstruct., Pulmon., Dis.* 2019. № 14. P.1127-1138.
8. Бяловский Ю.Ю., Булатецкий С.В. Физиологические механизмы резистивного дыхания человека. М.: РИТМ, 2018. 412 с. - ISBN 978-5-6041754-4-6.
9. Li L.Y., Yan T.S., Yang J., Li Y.Q., Fu L.X., Lan L., Liang B.M., Wang M.Y., Luo F.M. Impulse oscillometry for detection of small airway dysfunction in subjects with chronic respiratory symptoms and preserved pulmonary function // *Respir. Res.* 2021. № 22(1). P.68.
10. Straszek S.P., Schlunssen V., Sigsgaard T., Pedersen O. Reference values for acoustic rhinometry in decongested school children and adults: the most sensitive measurement for change in nasal patency // *Rhinology* 2017. № 45. P.36–39.
11. O'Neill G., Tolley N.S. The complexities of nasal airflow: theory and practice // *J. Appl. Physiol.* 2019. № 127. P.1215-1223.
12. Rodrigues M.M., Carvalho P.H., Gabrielli M.F. Lopes R.N., Garcia Junior O.A., Pereira Filho V.A., Passeri L.A. Braz J Nasal airway evaluation in obstructive sleep apnoea patients: volumetric tomography and endoscopic findings // *Otorhinolaryngol.* 2022. № 88. P.296-302.
13. Taylor-Clark T.E. Molecular identity, anatomy, gene expression and function of neural crest vs. placode-derived nociceptors in the lower airways // *Neurosci. Lett.* 2021. № 742. P.135505.
14. Wu W., Zhang X., Lin L., Ou Y., Li X., Guan L., Guo B., Zhou L., Chen R. Transdiaphragmatic pressure and neural respiratory drive measured during inspiratory muscle training in stable patients with chronic obstructive pulmonary disease // *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2017. № 12. P.773-781.
15. Convertino VA. Mechanisms of inspiration that modulate cardiovascular control: the other side of breathing // *J. Appl. Physiol.* 2019. № 127. P. 1187-1196.