

ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ИНСПИРАТОРНЫХ МЫШЦ У БОЛЬНЫХ САХАРНЫМ ДИАБЕТОМ 2-ГО ТИПА

¹Кунарбаева А.К., ¹Иванов К.М., ²Мирошниченко А.И.

¹ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава России,
Оренбург, e-mail: office@orgma.ru;

²Институт Фундаментальной медицины и здоровьесбережения ФГАОУ ВО «СевГУ»,
Севастополь, e-mail: info@sevsu.ru

Цель исследования: оценить функциональное состояние инспираторных мышц у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа посредством поверхностной электромиографии, используя функциональную пробу со статическим инспираторным усилием. В исследование, одобренное локальным этическим комитетом, были включены 47 больных сахарным диабетом 2-го типа и 40 пациентов без нарушений углеводного обмена. Всем обследуемым была проведена поверхностная биполярная электромиография инспираторных мышц в состоянии покоя и при выполнении функциональной респираторной пробы мощностью 30% от максимального инспираторного усилия. Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью непараметрических методов. Наиболее выраженная динамика изменений электрической активности наблюдалась на грудино-ключично-сосцевидной мышце. Диафрагма менее подвержена развитию утомления среди исследуемых инспираторных мышц в обеих группах. Электрическая активность инспираторных мышц у больных сахарным диабетом 2-го типа характеризовалась отсутствием статистически значимых отличий параметров электромиограммы в покое и замедленной динамикой изменения параметров электромиограммы при выполнении функциональной респираторной пробы, выражающейся снижением частоты электромиограммы на наружных межреберных мышцах и ростом амплитуды электромиограммы на диафрагме к 10-й секунде респираторной пробы, по сравнению с пациентами без сахарного диабета.

Ключевые слова: сахарный диабет, электромиография, инспираторные мышцы.

ELECTRICAL ACTIVITY OF INSPIRATORY MUSCLES IN PATIENTS WITH TYPE 2 DIABETES MELLITUS

¹Kunarbaeva A.K., ¹Ivanov K.M., ²Miroshnichenko A.I.

¹Orenburg State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation,
Orenburg, e-mail: office@orgma.ru;

²Institute of Fundamental Medicine and Health Preservation of SevSU,
Sevastopol, e-mail: info@sevsu.ru

The aim of the study was to assess the functional state of inspiratory muscles in patients with type 2 diabetes mellitus by means of surface electromyography using a functional test with static inspiratory force. The study, approved by the local ethics committee, included 47 patients with type 2 diabetes mellitus and 40 patients without impaired carbohydrate metabolism. All subjects underwent superficial bipolar electromyography of inspiratory muscles at rest and when performing a functional respiratory test with a capacity of 30% of the maximum inspiratory force. Statistical processing of the obtained results was carried out using nonparametric methods. The most pronounced dynamics of changes in electrical activity was observed on the sternocleidomastoid muscle. The diaphragm is less prone to fatigue among the inspiratory muscles studied in both groups. The electrical activity of inspiratory muscles in patients with type 2 diabetes mellitus was characterized by the absence of statistically significant differences in the parameters of the electromyogram at rest and the slow dynamics of changes in the parameters of the electromyogram during a functional respiratory test compared with patients without diabetes mellitus, expressed by a decrease in the frequency of the electromyogram on the external intercostal muscles and an increase in the amplitude of the electromyogram on the diaphragm by 10 s. respiratory test.

Keywords: diabetes mellitus, electromyography, inspiratory muscles.

Введение

Диабетическая миопатия – серьезное осложнение сахарного диабета (СД), затрагивающее скелетную мускулатуру. Данное осложнение характеризуется структурными изменениями в мышечных волокнах, приводящими к саркопении, снижению силы мышц и выносливости [1, 2, 3]. Эти нарушения являются многофакторными и включают в себя целый каскад патологических изменений, а именно нарушения структуры мышечной ткани, микроциркуляции и нервно-мышечной передачи импульсов [4, 5]. Особого внимания заслуживает влияние последствий СД на дыхательную мускулатуру, так как она также является скелетной. Поражение дыхательных мышц приводит к развитию нарушений вентиляции, что значительно ухудшает качество жизни пациентов [6, 7]. Предыдущее исследование, выполненное с помощью измерения статических давлений в ротовой полости, показало снижение силы инспираторных мышц у больных СД [8]. Однако более детальный анализ требует применения более совершенных методов исследования, таких как электромиография (ЭМГ), позволяющая оценить электрическую активность отдельных дыхательных мышц.

Цель исследования – оценить функциональное состояние инспираторных мышц у пациентов СД 2-го типа посредством поверхностной электромиографии, используя функциональную пробу со статическим инспираторным усилием.

Материалы и методы исследования Исследование было одобрено Локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный медицинский университет» Минздрава РФ. Были обследованы 47 мужчин с СД 2-го типа от 30 до 69 лет, которые составили основную группу. Группа сравнения включала 40 пациентов сопоставимого с основной группой возраста без нарушений углеводного обмена. Были установлены строгие критерии исключения, чтобы минимизировать влияние сопутствующих заболеваний на результаты исследования: они включали заболевания органов и систем в стадии декомпенсации, острые и хронические заболевания дыхательной системы; ожирение 3-й степени (индекс массы тела $>40 \text{ кг/м}^2$); отказ от участия в исследовании.

Электрическую активность инспираторных мышц (ИМ) исследовали с помощью биполярной поверхностной ЭМГ на аппарате «Нейро-ЭМГ-Микро» («Нейрософт», Россия). Проводилось исследование электрической активности трех ИМ с наложением электродов в следующих позициях: грудино-ключично-сосцевидной мышцы (ГКСМ) – на 2–3 см выше ключицы в области брюшка мышцы, наружных межреберных мышц (НММ) – в 3-е межреберье по среднеключичной линии, и диафрагмы (Д) – в 7-е межреберье на уровне наружного края прямой мышцы живота [9]. При этом регистрировались показатели средней амплитуды (мкВ) и средней частоты (1/с) в фоновом режиме и при выполнении функциональной нагрузочной инспираторной пробы. Для этого с помощью оригинального прибора определяли индивидуальную величину максимального инспираторного усилия, по

которой рассчитывали мощность вдоха в 30% от максимального значения. И затем пациент должен был удерживать инспираторное усилие мощностью 30% от максимального инспираторного усилия в течение 15 секунд. На 5-й, 10-й и 15-й секундах пробы проводили регистрацию показателей ЭМГ [10, 11].

Статистический анализ полученных данных проводили с помощью непараметрических методов в программном комплексе Statistica 10.0. Для показателей, используемых в работе, рассчитывали медиану, первый и третий квартили (Me [Q1;Q3]). Для оценки межгрупповых различий значений признаков применяли критерий Манна–Уитни; оценку генеральных эффектов влияния фактора проводили с использованием дисперсионного анализа Фридмана, апостериорный анализ проводили с помощью критерия Вилкоксона. Данные считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$.

Результаты исследования и их обсуждение. Сравнение абсолютных значений параметров ЭМГ между группами не выявило статистически значимых отличий показателей частоты и амплитуды (табл. 1).

Таблица 1

Показатели частоты (1/с) и амплитуды (мкВ) ЭМГ инспираторных мышц при выполнении функциональной пробы с инспираторным усилием мощностью 30% от максимального инспираторного усилия

Показатель	Обследованные группы больных					
	Частота у больных СД (n=47)	Частота в группе сравнения (n=40)	p	Амплитуда у больных СД (n=47)	Амплитуда в группе сравнения (n=40)	p
ГКСМ						
0с	330,9 [284,0; 352,87]	318,07 [246,97; 347,77]	0,408	2,55 [2,42; 2,65]	2,61 [2,51; 2,78]	0,265
5с	226,1* [167,37; 278,9]	192,20* [153,83; 228,0]	0,116	3,8* [3,10; 5,96]	4,63* [3,6; 6,26]	0,159
10с	207,35* [143,3; 269,9]	181,95* [144,60; 208,0]	0,174	4,28* [3,31; 7,61]	5,08* [3,94; 7,96]	0,263
15с	186,95* [143,3; 269,9]	172,18* [144,60; 208,0]	0,424	5,52* [3,31; 7,61]	5,48* [3,94; 7,96]	0,519

	[132,68; 264,5]	[143,95;212,07]		[3,38; 12,49]	[4,2;13,65]	
HMM						
0с	319,33 [2529,33;3 640,3]	321,2 [2979,67; 3576]	0,628	2,67 [2,52; 2,93]	2,66 [2,59; 2,77]	0,683
5с	304,53 [232,93; 357,77]	283,13* [215,3; 340,8]	0,350	3,12* [2,61;3,64]	3,09* [2,74;3,62]	0,803
10с	288,92* [197,7; 363,62]	256,9* [190,03; 334,62]	0,274	3,24* [2,60; 4,0]	3,23* [2,81; 4,49]	0,484
15с	290,75* [196,1; 367,33]	254,6* [182,200;312,43]	0,142	3,35* [2,62; 4,06]	3,39* [2,83; 4,68]	0,298
Д						
0с	365,83 [345,37; 374,97]	371,9 [326,45; 390,8]	0,631	2,51 [2,42; 2,77]	2,47 [2,43; 2,57]	0,335
5с	366,63 [343,40; 389,6]	374,55 [340,50; 392,97]	0,727	2,6 [2,47; 2,75]	2,57* [2,46; 2,74]	0,743
10с	359,43 [334,43; 387,77]	354,53 [318,30; 393,53]	0,743	2,61* [2,46; 2,92]	2,67* [2,47; 2,91]	0,958
15с	367,1 [303,73; 389,73]	334,4 [290,0; 389,2]	0,728	2,62* [2,46; 2,92]	2,74* [2,49; 3,07]	0,915
Примечание: * – статистически значимая разница между группами (p≤0,05)						

При анализе результатов функциональной пробы с инспираторным усилием мощностью 30% от максимального усилия было выявлено, что изменения показателей ЭМГ в обеих группах были однонаправленными, однако динамика была различной интенсивности.

При выполнении функциональной пробы наиболее выраженные изменения показателей ЭМГ ГКСМ наблюдались у всех обследованных пациентов (рис. 1). У больных СД частота

ЭМГ ГКСМ при удержании инспираторного усилия уменьшалась ($\chi^2=63,9$, $df=3$, $p<0,001$). При проведении апостериорных сравнений, выполненных с помощью критерия Вилкоксона, было выявлено статистически значимое уменьшение показателя частоты от фона к 5-й секунде на 31,7% ($p<0,001$), к 10-й секунде на 37,3% ($p<0,001$), к 15-й секунде – на 43,5% ($p<0,001$). В группе сравнения регистрировалось уменьшение частоты ЭМГ ГКСМ от фона к 5-й секунде на 39,6%, к 10-й секунде – на 42,8%, к 15-й секунде – на 45,9% ($\chi^2=58,5$, $df=3$, $p<0,001$; $p_5<0,001$, $p_{10}<0,001$, $p_{15}<0,001$).

Наряду с уменьшением показателя частоты ЭМГ у пациентов с СД при выполнении функциональной пробы происходило увеличение амплитуды ЭМГ ИМ. Наиболее выраженная динамика изменения показателей амплитуды, как и частоты, наблюдалась на ГКСМ. Амплитуда ЭМГ ГКСМ у больных СД увеличивалась от фона к 5-й секунде на 49%, к 10-й секунде – на 67,8%, к 15-й секунде – на 116,4% ($\chi^2=69,3$, $df=3$, $p<0,001$; $p_5<0,001$, $p_{10}<0,001$, $p_{15}<0,001$). У больных группы сравнения на ГКСМ происходило увеличение амплитуды к 5-й секунде пробы на 77,4%, к 10-й секунде – на 94,6%, к 15-й секунде пробы – на 110% ($\chi^2=68,6$, $df=3$, $p<0,001$; $p_5<0,001$, $p_{10}<0,001$, $p_{15}<0,001$).

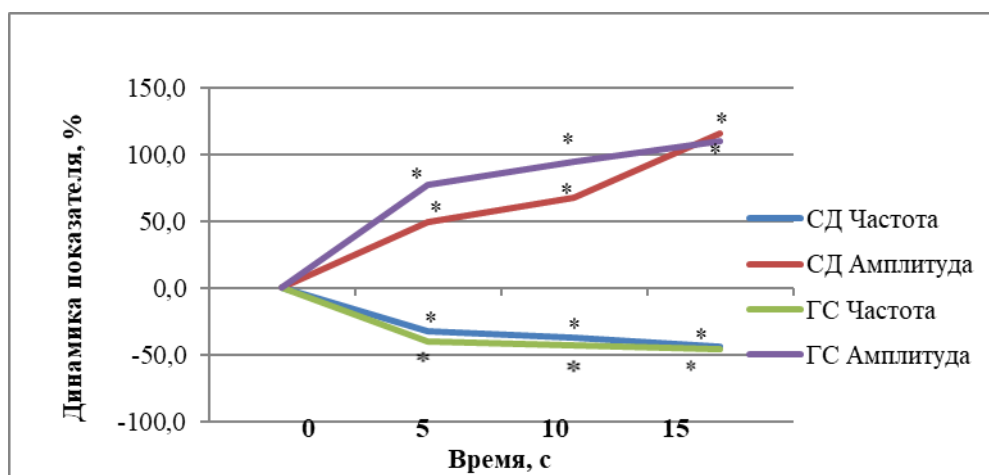


Рис. 1. Динамика изменения частоты и амплитуды ЭМГ ГКСМ при выполнении функциональной пробы от фона к 5-й, 10-й и 15-й секундам

Примечание: * – статистически значимая разница изменений показателей по сравнению с исходным значением ($p<0,05$); СД – сахарный диабет, ГС – группа сравнения

Изменение частоты ЭМГ НММ в группе больных СД характеризовалось ее уменьшением от фона к 5-й секунде на 4,6%, к 10-й секунде – на 9,5% и к 15-й секунде – на 8,9% ($\chi^2=28,4$, $df=3$, $p<0,001$; $p_5>0,05$, $p_{10}=0,008$, $p_{15}=0,005$) (рис. 2). В группе сравнения частота ЭМГ НММ также уменьшалась к 5-й секунде в сравнении с исходным значением на 11,8%, к 10-й секунде – на 20%, к 15-й секунде – на 20,7% ($\chi^2=60,1$, $df=3$, $p<0,001$; $p_5<0,001$, $p_{10}<0,001$, $p_{15}<0,001$).

У больных СД на НММ прирост амплитуды при удержании инспираторного усилия от фона к 5-й секунде составил 16,9%, к 10-й секунде – 21,3%, к 15-й секунде – 25,5% ($\chi^2=37,6$, $df=3$, $p<0,001$; $p_5<0,001$, $p_{10}<0,001$, $p_{15}<0,001$). У пациентов без СД амплитуда ЭМГ НММ выросла к 5-й секунде на 16,2%, к 10-й секунде – на 21,4%, к 15-й секунде – на 27,4% ($\chi^2=55,3$, $df=3$, $p<0,001$; $p_5<0,001$, $p_{10}<0,001$, $p_{15}<0,001$).

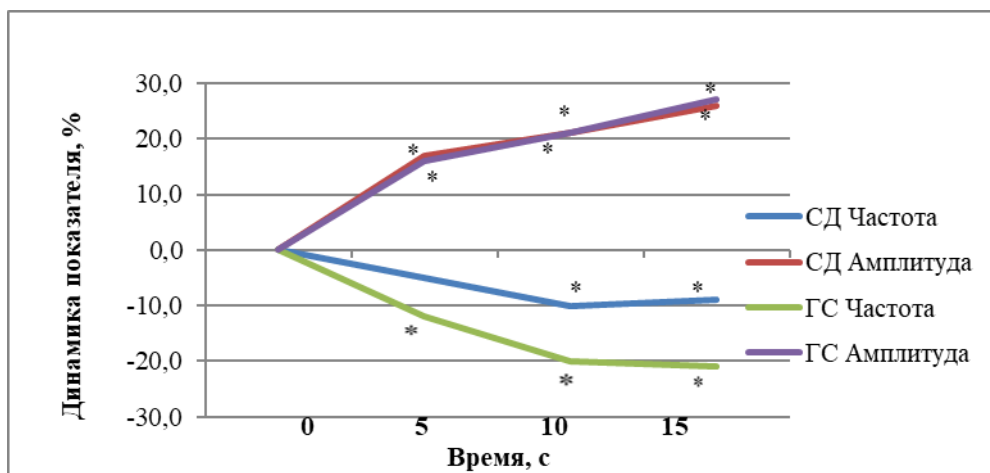


Рис. 2. Динамика изменения частоты и амплитуды ЭМГ НММ при выполнении функциональной пробы от фона к 5-й, 10-й и 15-й секундам

Примечание: * – статистически значимая разница изменений показателей по сравнению с исходным значением ($p<0,05$); СД – сахарный диабет, ГС – группа сравнения

При выполнении пробы с удержанием инспираторного усилия изменения показателей частоты ЭМГ Д от фона к 15-й секунде были минимальны и статистически не значимы в обеих группах (рис. 3). Прирост амплитуды ЭМГ на Д был самым низким из исследованных ИМ и составил у больных СД к 5-й секунде 3,5% от исходного значения, к 10-й секунде – 3,9%, к 15-й секунде – 4,4% ($\chi^2=28,9$, $df=3$, $p<0,001$; $p_5>0,05$, $p_{10}=0,035$, $p_{15}=0,01$). В группе сравнения на Д к 5-й секунде инспираторного усилия амплитуда увеличилась на 4%, к 10-й секунде – на 8,1%, к 15-й секунде – на 10,9% ($\chi^2=30,8$, $df=3$, $p<0,001$; $p_5=0,02$, $p_{10}=0,004$, $p_{15}=0,007$).

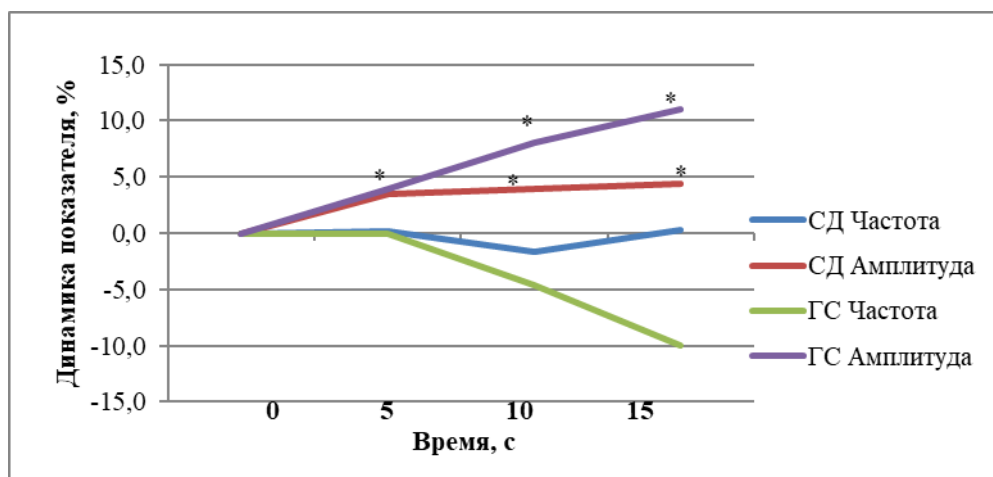


Рис. 3. Динамика изменения частоты и амплитуды ЭМГ Д при выполнении функциональной пробы от фона к 5-й, 10-й и 15-й секундам

Примечание: * – статистически значимые изменения показателей по сравнению с исходным значением ($p < 0,05$); СД – сахарный диабет, ГС – группа сравнения

Таким образом, несмотря на отсутствие статистически значимых различий абсолютных значений показателей ЭМГ между двумя исследуемыми группами, были выявлены отличия изменения частотно-амплитудных показателей при выполнении функциональной пробы с инспираторным статическим усилием. При этом наблюдался однонаправленный характер изменений показателей ЭМГ, выражающийся уменьшением частоты ГКСМ и НММ и увеличением амплитуды ГКСМ, НММ и Д, однако динамика параметров ЭМГ несколько различалась между группами. Увеличение амплитуды ЭМГ свидетельствует о включении в мышечное сокращение дополнительных двигательных единиц, а уменьшение показателей частоты ЭМГ происходит при развитии мышечного утомления [12]. В связи с тем, что обследуемые удерживали инспираторное усилие на уровне 30% от максимального инспираторного усилия в течение всей пробы, увеличение амплитуды ЭМГ, происходившее одновременно с уменьшением частоты ЭМГ, свидетельствовало о компенсации развивающегося утомления.

В обеих исследуемых группах наблюдались наиболее выраженные изменения показателей ЭМГ ГКСМ, свидетельствующие о ее компенсированном утомлении. Анализ ЭМГ НММ и Д у больных СД показал более медленную динамику изменений показателей ИМ в ответ на нагрузку с удержанием инспираторного усилия по сравнению с пациентами без СД. При этом утомление НММ, несмотря на более медленную динамику ее изменений у больных СД, было компенсированным в обеих группах.

При выполнении нагрузочной пробы у всех обследованных не было зарегистрировано развития утомления Д. Однако наблюдалось статистически значимое увеличение амплитуды ЭМГ Д, свидетельствующее о ее участии в удержании инспираторного усилия и компенсации развивающегося утомления других исследуемых групп ИМ. Следует отметить, что у больных СД активация Д для удержания инспираторного усилия происходила медленнее, чем в группе сравнения, о чем свидетельствует регистрация увеличения амплитуды ЭМГ в основной группе лишь на 10-й секунде пробы.

Выводы

1. У больных сахарным диабетом 2-го типа происходит замедление изменения параметров ЭМГ по сравнению с больными без нарушений углеводного обмена.

2. В выполнении инспираторной нагрузки у всех обследуемых пациентов большее участие принимает грудино-ключично-сосцевидная мышца.

3. Диафрагма менее подвержена развитию утомления среди исследуемых инспираторных мышц.

Список литературы

1. Anbalagan V.P., Venkataraman V., Pradeepa R., Deepa M., Anjana R.M., Mohan V. The prevalence of presarcopenia in Asian Indian individuals with and without type 2 diabetes // *Diabetes Technol Ther.* 2013. Vol. 15. Is. 9. P. 768-775. DOI: 10.1089/dia.2013.0068.
2. Balducci S., Sacchetti M., Orlando G., Salvi L., Pugliese L., Salerno G., D'Errico V., Iacobini C., Conti F.G., Zanuso S., Nicolucci A., Pugliese G. Correlates of muscle strength in diabetes: The study on the assessment of determinants of muscle and bone strength abnormalities in diabetes SAMBA investigators // *Nutr Metab Cardiovasc Dis.* 2014. Vol. 24. Is. 1. P. 18-26. DOI: 10.1016/j.numecd.2013.04.010.
3. Senefeld, J.W., Keenan K.G., Ryan K.S., D'Astice S.E., Negro F., Hunter S.K. Greater fatigability and motor unit discharge variability in human type 2 diabetes // *Physiol. Rep.* 2020. Vol. 8. Is. 13. P. e14503. DOI: 10.14814/phy2.14503.
4. Mori. H., Kuroda A., Ishizu M., Ohishi M., Takashi Y., Otsuka Y., Taniguchi S., Tamaki M., Kurahashi K., Yoshida S., Endo I., Aihara K.I., Funaki M., Akehi Y., Matsuhisa M. Association of accumulated advanced glycation end-products with a high prevalence of sarcopenia and dynapenia in patients with type 2 // *J. Diabetes Investig.* 2019. Vol. 10. Is. 5. P. 1332-1340. DOI: 10.1111/jdi.13014.
5. O'Neill B.T., Lee K.Y., Klaus K., Softic S., Krumpoch M.T., Fentz J., Stanford K.I., Robinson M.M., Cai W., Kleinridders A., Pereira R.O., Hirshman M.F., Abel E.D., Accili D., Goodyear L.J., Nair K.S., Kahn C.R. Insulin and IGF-1 receptors regulate FoxO-mediated signaling in muscle proteostasis // *The Journal of clinical investigation.* 2016. Vol. 126. Is. 9. P. 3433-3446. DOI: 10.1172/JCI86522.
6. Sonoda N., Morimoto A., Tatsumi Y., Asayama K., Ohkubo T., Izawa S., Ohno Y. A prospective study of the impact of diabetes mellitus on restrictive and obstructive lung function impairment: the Saku study // *Metabolism.* 2018. Is. 82. P. 58-64. DOI: 10.1016/j.metabol.2017.12.006.
7. Uz-Zaman A., Banerjee J., Singhamahapatra A., Dey P.K., Roy A., Roy K., Roy (Basu) K. Assessment of lung function by spirometry and diffusion study and effect of glycemic control on pulmonary function in type 2 diabetes mellitus patients of the eastern India // *J. Clin. Diagn. Res.* 2014. Vol. 8. Is. 11. P. BC01-BC4. DOI:10.7860/JCDR/2014/9756.5076.

8. Кунарбаева А.К., Иванов К.М., Петрова А.А., Красиков С.И., Мирошниченко И.В. Особенности изменения силы дыхательных мышц и процессов перекисного окисления липидов у больных сахарным диабетом 2 типа // Терапия. 2021. № 5. С. 47–50.
DOI: 10.18565/therapy.2021.5.47-50
9. Ершов С. П., Перельман Ю. М. Электрофизиологическая характеристика дыхательных мышц у больных хроническим бронхитом // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 1999. Вып. 5. С.28–35.
10. Кунарбаева А.К., Мирошниченко А.И., Иванов К.М., Мирошниченко И.В. Электрическая активность экспираторных мышц при сахарном диабете 2 типа // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2021. Вып. 82. С. 80-86. DOI: 10.36604/1998-5029- 2021-82-80-86.
11. Мирошниченко А.И., Сидорова М.А., Кунарбаева А.К., Иванов К.М., Мирошниченко И.В. Особенности электрической активности инспираторных мышц в разных возрастных группах // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2020. Вып. 75. С. 40-46.
DOI: 10.36604/1998-5029-2020-75-40-46.
12. Солнушкин С.Д., Чихман В.Н., Сегизбаева М.О., Погодин М.А., Александров В.Г. Аппаратно-программный комплекс для регистрации и анализа электромиограммы дыхательных мышц человека // Физиология человека. 2014. Т. 40. № 2. С.119–122.
DOI: 10.7868/S0131164614010184.