



DOI: 10.18413/2658-6533-2023-9-3-0-8

УДК 612.135:611.77:616.397.008.6-053

Биологический возраст как фактор риска офтальмологических осложнений при сахарном диабете 2-го типа

Н.М. Агарков^{1,2} , И.В. Лев² , А.Е. Копылов² 

¹ Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Юго-Западный государственный университет», ул. 50 лет Октября, д. 94, г. Курск, 305040, Российская Федерация

² Федеральное государственное автономное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова», Рассказовское шоссе, д. 1, г. Тамбов, 392000, Российская Федерация
Автор для переписки: Н.М. Агарков (vitalaxen@mail.ru)

Резюме

Актуальность: Увеличение заболеваемости сахарным диабетом 2-го типа во многих странах одновременно сопровождается повышением частоты диабетической ретинопатии, представляющей наиболее опасное осложнение сахарного диабета 2-го типа. Одним из способствующих факторов развития диабетической ретинопатии может выступать биологический возраст, но последний остается неизученным у таких пациентов. **Цель исследования:** Изучение биологического возраста как фактора риска офтальмологических осложнений при сахарном диабете 2-го типа. **Материалы и методы:** Среди 580 пациентов 45-59 лет с диабетической ретинопатией при сахарном диабете 2-го типа определяли биологический возраст по методике Войтенко В. П. и др. [1984]. Сформировано три группы: пациенты с соответствием биологического и хронологического возраста ($n=124$), с превышением биологического возраста хронологического ($n=357$) и с превышением хронологического возраста биологического ($n=99$). В последующем анализе рассматривались первые две группы. В работе использованы критерий χ^2 и дискриминантный метод. **Результаты:** Среди пациентов 45-59 лет с сахарным диабетом 2-го типа с превышением биологического возраста величины хронологического распространенность диабетической ретинопатии составляла $19,82 \pm 1,32$ случаев на 100 обследованных, тогда как среди пациентов 45-59 лет с сахарным диабетом 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста – $10,24 \pm 1,51$ случаев на 100 обследованных. Хронологический возраст диагностирования диабетической ретинопатии в группе пациентов с превышением биологического возраста над хронологическим оказался более молодым – $47,69 \pm 1,24$ лет против $50,23 \pm 0,92$ лет в группе с соответствием биологического и хронологического возраста ($p < 0,01$). Напротив, биологический возраст диагностирования диабетической ретинопатии в группе с превышением биологического возраста хронологического достоверно больше – $56,13 \pm 0,83$ лет, чем в группе сравнения – $49,61 \pm 1,11$ лет ($p < 0,001$). Посредством дискриминантного метода и с учетом параметров биологического возраста разработаны дискриминантные модели, обеспечивающие дифференциацию названных пациентов. **Заключение:** Превышение биологического возраста хронологического является значимым фактором риска

офтальмологических осложнений сахарного диабета 2-го типа – диабетической ретинопатии в 45-59 лет.

Ключевые слова: биологический возраст; хронологический возраст; сахарный диабет; зрелый возраст; офтальмологическое осложнение; диабетическая ретинопатия; факторы риска

Для цитирования: Агарков НМ, Лев ИВ, Копылов АЕ. Биологический возраст как фактор риска офтальмологических осложнений при сахарном диабете 2-го типа. Научные результаты биомедицинских исследований. 2023;9(3):383-392. DOI: 10.18413/2658-6533-2023-9-3-0-8

Biological age as a risk factor for ophthalmological complications in type 2 diabetes mellitus

Nikolay M. Agarkov¹ , Inna V. Lev² , Andrey E. Kopylov² 

¹ Southwest State University,

94 50 Let Oktyabrya St., Kursk, 305040, Russia

² Academician S.N. Fyodorov Eye Microsurgery State Institution,

1 Rasskazovskoe highway, Tambov, 392000, Russia

Corresponding author: Nikolay M. Agarkov (vitalaxen@mail.ru)

Abstract

Background: An increase in the incidence of type 2 diabetes mellitus in many countries is simultaneously accompanied by an increase in the frequency of diabetic retinopathy, which is the most dangerous complication of type 2 diabetes mellitus. Biological age may be one of the contributing factors in the development of diabetic retinopathy, but the latter remains unexplored in such patients. **The aim of the study:** To study the biological age as a risk factor for ophthalmic complications in type 2 diabetes mellitus. **Materials and methods:** Among 580 45-59-year-old patients with diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus, the biological age was determined by the method of Voitenko V.P. et al. [1984]. Three groups were formed: patients with matching biological and chronological age (n=124), with exceeding the chronological biological age (n=357) and with exceeding the biological chronological age (n=99). In the subsequent analysis, the first two groups were considered. The X2 criterion and the discriminant method were used in the work. **Results:** Among 45-59-year-old patients with type 2 diabetes mellitus with an excess of the biological age of the chronological value, the prevalence of diabetic retinopathy was 19.82±1.32 cases per 100 examined, whereas among 45-59-year-old patients with type 2 diabetes mellitus with a correspondence of biological and chronological age – 10.24±1.51 cases per 100 examined. The chronological age of diagnosis of diabetic retinopathy in the group of patients with an excess of biological age over chronological age was younger – 47.69±1.24 years versus 50.23±0.92 years in the group with a correspondence of biological and chronological age (p<0.01). On the contrary, the biological age of diagnosis of diabetic retinopathy in the group with an excess of the chronological biological age is significantly greater – 56.13±0.83 years than in the comparison group – 49.61±1.11 years (p<0.001). By means of the discriminant method and taking into account the parameters of biological age, discriminant models have been developed to ensure the differentiation of these patients. **Conclusion:** Exceeding the chronological biological age is a significant risk factor for ophthalmological complications of type 2 diabetes mellitus – diabetic retinopathy in 45-59 years.

Keywords: biological age; chronological age; diabetes mellitus; mature age; ophthalmological complication; diabetic retinopathy risk factors

For citation: Agarkov NM, Lev IV, Kopylov AE. Biological age as a risk factor for ophthalmological complications in type 2 diabetes mellitus. Research Results in Biomedicine. 2023;9(3):383-392. Russian. DOI: 10.18413/2658-6533-2023-9-3-0-8

Ведение. Увеличение заболеваемости сахарным диабетом (СД) 2-го типа среди взрослого трудоспособного населения происходит в настоящее время во многих странах. Согласно опубликованным данным Международной федерации диабета, количество пациентов с СД в мире достигло 463 миллионов, что опередило ранее прогнозируемые темпы прироста на 10-12 лет и к 2045 г. ожидается прирост на 51% – до 700 миллионов пациентов, среди которых доминируют лица с СД 2-го типа [1]. Распространенность СД 2-го типа в нашей стране также возрастает и в 2021 г. в среднем составляла 3148,5 на 100 000 населения со значительной вариабельностью в различных регионах и возрастных группах [2].

СД 2-го типа считается одним из ведущих факторов риска серьезных осложнений, связанных со здоровьем, и негативно влияющих на продолжительность и качество жизни в такой популяции [3]. Особенно опасными являются офтальмологические осложнения СД 2-го типа и, прежде всего, диабетическая ретинопатия (ДР), выступающая основной причиной нарушения зрения и слепоты, которая встречается среди людей с СД 2-го типа от 33,0% до 34,6% [3, 4]. Другими значимыми и хорошо изученными факторами риска ДР при СД 2-го типа называются продолжительность диабета, уровень контроля гликемии, артериальная гипертензия, липидный профиль, индекс массы тела, возраст, пол и социально-экономический статус пациента [5, 6, 7, 8].

Среди вышеперечисленных факторов риска ДР при СД 2-го типа исследователями особое внимание отводится хронологическому возрасту, поскольку с его повышением увеличивается частота ДР [9, 10], но при этом не анализируется биологиче-

ский возраст пациентов с данным офтальмологическим осложнением СД 2-го типа. Биологический возраст как фактор риска ДР при СД 2-го типа в отечественных и зарубежных публикациях до настоящего времени не рассматривался, что определяет новизну и актуальность настоящей работы.

Цель исследования. Изучение биологического возраста как фактора риска офтальмологических осложнений при СД 2-го типа.

Материалы и методы исследования. Исследование проведено в Тамбовском филиале «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Фёдорова» среди 580 пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа, проходивших стационарное обследование и лечение. Диагностика ДР и СД 2-го типа осуществлялась по результатам комплексного обследования и с учетом клинических рекомендаций Общероссийской ассоциации врачей-офтальмологов «Сахарный диабет: ретинопатия диабетическая, макулярный отёк диабетический» [11]. У включенных в исследование 580 пациентов фиксировался хронологический возраст, а затем рассчитывался биологический возраст по методике Войтенко В.П. и др. [12] с учётом гендерной принадлежности.

На основе определения разности между биологическим возрастом и хронологическим пациенты 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа разделены на три группы: с соответствием биологического возраста хронологическому при разнице от -2,9 до +2,9 лет, с превышением биологического возраста хронологического +3,0 и более лет, с превышением хронологического возраста биологического при разнице между биологическим и хронологическим возрастом от -3,0 и более лет [13]. В результате выпол-

ненной процедуры соответствие биологического и хронологического возраста установлено у 124 человек, превышение биологического возраста хронологического – у 357 человек, превышение хронологического возраста биологического – у 99 человек. В последующем анализе при рассмотрении биологического возраста в качестве фактора риска ДР при СД 2-го типа изучены пациенты с соответствием и превыше-

нием биологического возраста хронологического, а пациенты с превышением хронологического возраста биологического не исследовались.

Сведения об основных медико-демографических параметрах заимствованы из официальной медицинской документации пациентов, по которым сравниваемые клинические группы существенно не различались (Табл. 1). Все заболевания у пациентов находились в стадии компенсации.

Таблица 1

Медико-демографические параметры пациентов 45-59 лет с диабетической ретинопатией при сахарном диабете 2-го типа с соответствием биологического возраста и превышением биологического возраста хронологического (P±SD)

Table 1

Medical and demographic parameters of c patients with diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus with the corresponding biological age and exceeding the chronological biological age (P±SD)

Исследуемый параметр	Пациенты с соответствием биологического и хронологического возраста, n=124	Пациенты с превышением биологического возраста хронологического, n=357	X ²
Метаболический синдром, %	57,3±3,6	59,1±3,2	p>0,05
Индекс массы тела, кг/м ²	28,3±2,1	28,9±1,8	p>0,05
Артериальная гипертензия, %	43,5±3,6	46,8±3,9	p>0,05
Инфаркт миокарда в анамнезе, %	16,1±1,3	17,1±1,2	p>0,05
Гликированный гемоглобин, %	8,5±0,3	8,8±0,4	p>0,05
Хроническая болезнь почек, %	11,3±0,9	13,2±1,2	p>0,05

При выполнении исследования соблюдались принципы надлежащей клинической практики (Good Clinical Practice), а пациенты включались в исследование в случае получения от них письменного согласия.

При статистической обработке использовалась программа «Statistica 10.0», непараметрический критерий X² и дискриминантный анализ. Посредством последнего разрабатывались дискриминантные модели для дифференциации (классификации) пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста (класс G₁:0) и с превышением биологического возраста хронологического (класс G₂:1). Для оценки качества созданных дискриминантных моделей определялось расстояние Махаланобиса, диагностическая чувствительность и специфичность математических моделей.

Результаты и их обсуждение. Частота ДР при СД 2-го типа среди пациентов 45-59 лет, у которых наблюдалось совпадение биологического возраста хронологическому возрасту, составила в среднем 10,24±1,51 случаев на 100 обследованных. В группе пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с несовпадением биологического возраста величины хронологического возраста частота ДР оказалась практически в 2 раза выше с достоверным различием относительно предыдущей группы. При этом при СД 2-го типа среди пациентов 45-59 лет с несоответствием биологического возраста над хронологическим ДР развилась в более раннем возрасте – в 47,69±1,24 лет хронологического возраста. Среди же пациентов 45-59 лет с несоответствием биологического возраста хронологическому ДР при СД 2-го типа развилась статистически значимо позже – в 50,23±0,92 лет хронологического возраста.

Биологический возраст проявления ДР при СД 2-го типа у пациентов 45-59 лет с несоответствием биологического возраста хронологического статистически значимо выше по сравнению с пациентами аналогичного возраста с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста. Это указывает на то, что рассогласование биологического и хронологического возраста способствует проявлению ДР при СД 2-го типа в более позднем биологическом, но в более раннем хронологическом возрасте. Об этом свидетельствуют также статистически значимые различия в разнице возраста проявления обсуждаемого офтальмологического осложнения СД 2-го типа между группами с соот-

ветствием и рассогласованием хронологического и биологического возраста по величине хронологического возраста с разницей в $2,54 \pm 1,15$ лет, а по величине биологического возраста – в $6,52 \pm 1,24$ лет.

Все эти результаты показывают, что биологический возраст выступает фактором риска, повышающим частоту развития ДР при СД 2-го типа. Кроме того, биологический возраст, а именно опережение биологического возраста хронологического способствует проявлению (развитию) ДР при СД 2-го типа в более раннем хронологическом возрасте – на 8,44 лет раньше и в более позднем биологическом возрасте – на 6,52 лет позже. Поэтому скрининг ДР при СД 2-го типа в зрелом возрасте рекомендуется начинать с 47 лет (Табл. 2).

Таблица 2

Влияние биологического возраста на частоту и время выявления диабетической ретинопатии при сахарном диабете второго типа в 45-59 лет (M±SD)

Table 2

Influence of biological age on the frequency and time of detection of diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus at 45-59 years (M±SD)

Исследуемый показатель	Пациенты зрелого возраста с ДР при СД 2-го типа с совпадением хронологического и биологического возраста (а)	Пациенты зрелого возраста с ДР при СД 2-го типа с несовпадением биологического возраста хронологического (б)	Величина χ^2 и достоверность различий
Частота диабетической ретинопатии (на 100 обследованных) (1)	10,24±1,51	19,82±1,32	$\chi^2_{1a-1б}=8,52$ $p_{1a-1б}<0,001$
Хронологический возраст манифестации диабетической ретинопатии при сахарном диабете 2-го типа, лет (2)	50,23±0,92	47,69±1,24	$\chi^2_{2a-2б}=11,84$ $p_{2a-2б}<0,01$
Биологический возраст манифестации диабетической ретинопатии при сахарном диабете 2-го типа, лет (3)	49,61±1,11 $\chi^2_{2a-3a}=0,4$ $p_{2a-3a}>0,05$	56,13±0,83 $\chi^2_{2б-3б}=10,7$ $p_{2б-3б}<0,001$	$\chi^2_{3a-3б}=7,18$ $p_{3a-3б}<0,001$
Биологический – хронологический возраст, лет (4)	-0,62±0,09	+8,44±1,86	$\chi^2_{4a-4б}=37,64$ $p_{4a-4б}<0,001$
Разница выявления диабетической ретинопатии при сахарном диабете 2-го типа по хронологическому возрасту, лет (5)	0,62±0,09	2,54±1,15	$\chi^2_{5a-5б}=9,08$ $p_{5a-5б}<0,001$
Разница выявления диабетической ретинопатии при сахарном диабете 2-го типа по биологическому возрасту, лет (6)	0,62±0,09	6,52±1,24	$\chi^2_{6a-6б}=7,89$ $p_{6a-6б}<0,001$

Для поддержки принятия решений по скринингу ДР при СД 2-го типа на основе биологического возраста и с учётом представленных в таблице 2 результатов нами посредством дискриминантного метода разработаны дискриминантные модели для пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста и для пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с несоответствием биологического возраста хронологическому. Дискриминантная модель для пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с несоответствием биологического и хронологического возраста имеет вид:

$$y_1 = 12,096x_3 + 1,152x_2 - 3,267,$$

где y_1 – пациенты 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с несоответствием биологического и хронологического возраста,

x_2 – величина биологического возраста,

x_3 – величина разницы биологического и хронологического возраста.

Для пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста дискриминантная модель определяется выражением:

$$y_2 = 17,254x_3 + 2,146x_2 - 7,801,$$

где y_2 – пациенты 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста,

x_2 – величина биологического возраста,

x_3 – величина разницы биологического и хронологического возраста.

Проверка качества классификации (дифференциации) пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с несоответствием биологического и хронологического возраста и пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста на основе синтезированных математических моделей по расстоянию Махаланобиса показала, что процент, ошибочно отнесённых пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с несоот-

ветствием биологического и хронологического возраста к группе пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста, составляет 10,82%. Удельный вес пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста, ошибочно классифицированных в группу пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с несоответствием биологического и хронологического возраста, составляет 11,69%. Это указывает, что созданные дискриминантные модели на необходимом для медицинских исследований уровне обеспечивают скрининг рассматриваемого офтальмологического осложнения СД 2-го типа у пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с несоответствием биологического и хронологического возраста и могут применяться в гериатрической практике (Табл. 3).

Определение адекватности дискриминантных моделей по величинам диагностической чувствительности и диагностической специфичности с учётом использования биологического возраста показало, что диагностическая чувствительность при классификации пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием и несоответствием биологического и хронологического возраста составляет 0,91, а диагностическая специфичность – 0,90. Это говорит о высоком качестве классификации (дифференциации) указанных групп пациентов по величине биологического возраста.

Превышение биологического возраста величины хронологического у пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа, отражающее преждевременное старение и, установленное нами впервые, способствует увеличению частоты ДР, которая в указанной группе практически в 2 раза выше по сравнению с пациентами 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста. Это позволяет однозначно считать ускорение биологического возраста фактором риска развития данного офтальмологического осложнения при СД-2-го типа. Биологический возраст,

по мнению специалистов, отражает индивидуальные особенности процессов старения на клеточном уровне и объективизирует физиологический резерв человека, что осо-

бенно важно при несовпадении его с хронологическим, который не позволяет адекватно оценить степень возрастных изменений в организме [14, 15].

Таблица 3

Проверка адекватности дискриминантных моделей по критерию Махаланобиса при выполнении скрининга диабетической ретинопатии при сахарном диабете второго типа

Table 3

Verification of the adequacy of discriminant models according to the Mahalanobis criterion when screening for diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus

Код признака	Observed	G 1:0	G 2:1
1	G 1:0	2,366	4635,241
2*	G 1:0	3,984	4523,786
3	G 1:0	2,115	4241,708
4	G 1:0	2,008	3872,257
5	G 1:0	1,742	3604,224
6	G 1:0	1,254	3893,721
7	G 1:0	0,983	3427,538
8	G 1:0	0,625	3256,642
9*	G 2:1	3451,248	2,692
10	G 2:1	3582,326	1,945
11	G 2:1	3891,403	1,872
12	G 2:1	3427,582	0,924
13	G 2:1	4000,294	1,352
14	G 2:1	3852,708	2,489
15	G 2:1	4152,497	3,875
16	G 2:1	4347,562	3,914

Примечание: *Ошибочная классификация.

Note: *Misclassified.

У пациентов 20-80 лет с СД 2-го типа без ДР биологический возраст в среднем на 12,02 года больше, чем у людей без СД ($p < 0,001$) [16], что указывает на связь СД 2-го типа с увеличением биологического возраста. В нашем исследовании превышение биологического возраста над хронологическим у пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа было значительным и составляло $+8,41 \pm 1,86$ лет, что указывает на преждевременное старение.

Однако меньшее различие между биологическим и хронологическим возрастом – увеличение всего на 2,69 года по сравнению с людьми без СД 2-го типа выявлено у пациентов с преддиабетом, что позволило авторам [16] предположить о наиболее значительном повышении биологического возраста относительно хронологического, происходящем после диагности-

рования СД 2-го типа. Кроме того, обнаружена умеренная прямая корреляция ($r=0,65$, $p < 0,001$) между биологическим и хронологическим возрастом у людей без СД 2-го типа. Эти результаты показывают значительное увеличение биологического возраста при СД независимо от возраста постановки диагноза. Однако эти данные не в полной мере можно экстраполировать на пациентов 45-59 лет с ДР при СД 2-го типа с ускорением биологического возраста, изученных нами, так как предыдущими авторами рассматривались пациенты 20-80 лет с СД 2-го типа и без ДР.

В другом исследовании [17], анализируемом пациентах с СД 2-го типа без ДР со средним хронологическим возрастом 57 лет биологический возраст составил 64 года, то есть наблюдалось превышение на +7 лет. Кроме того, авторами показана сильная ас-

социация биологического возраста с параметрами микроциркуляции у пациентов с СД 2-го типа и отсутствие ее с хронологическим. Это указывает на большую информативность биологического возраста, чем хронологического.

В нашем исследовании доказаны не только превышение биологического возраста хронологического и влияние биологического возраста на увеличение частоты ДР при СД 2-го типа в 45-59 лет, но и разработаны дискриминантные модели с учётом биологического возраста, обладающие высокой диагностической чувствительностью и диагностической специфичностью, что позволяет их использовать для поддержки принятия решений по скринингу ДР при СД 2-го типа.

Заключение. Превышение биологического возраста хронологического у пациентов 45-59 лет с СД 2-го типа способствует увеличению частоты ДР, которая практически в 2 раза чаще встречается в этой группе по сравнению с пациентами 45-59 лет с СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возраста. При ускорении биологического возраста ДР возникает на $2,54 \pm 1,15$ лет раньше, чем при соответствии биологического и хронологического возраста. Поэтому биологический возраст необходимо рассматривать как фактор риска таких опасных офтальмологических осложнений СД 2-го типа как ДР.

Информация о финансировании

Финансирование данной работы не проводилось.

Financial support

No financial support has been provided for this work.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors have no conflict of interest to declare.

Список литературы

1. Дедов ИИ, Шестакова МВ, Викулова ОК, и др. Эпидемиологические характеристики

сахарного диабета в Российской Федерации: клинико-статистический анализ по данным регистра сахарного диабета на 01.01.2021. Сахарный диабет. 2021;24(3):204-221. DOI: <https://doi.org/10.14341/DM12759>

2. Дедов ИИ, Мокрышева НГ, Шестакова МВ, и др. Контроль гликемии и выбор антигипергликемической терапии у пациентов с сахарным диабетом 2 типа и COVID-19: консенсусное решение совета экспертов Российской академии эндокринологов. Сахарный диабет. 2022;25(1):27-49. DOI: <https://doi.org/10.14341/DM12873>

3. Ting DSW, Cheung CY, Nguyen Q, et al. Deep learning in estimating prevalence and systemic risk factors for diabetic retinopathy: a multi-ethnic study. npj Digital Medicine. 2019;2:24. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0097-x>

4. Murthy GVS. Situational analysis of diabetic retinopathy screening in India: How has it changed in the last three years? Indian Journal of Ophthalmology. 2021;69(11):2944-2950. DOI: https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_1242_21

5. Xie Y, Gunasekeran DV, Balaskas K, et al. Health Economic and Safety Considerations for Artificial Intelligence Applications in Diabetic Retinopathy Screening. Translational Vision Science and Technology. 2020;9(2):22. DOI: <https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.22>

6. Barkmeier AJ. Toward Optimal Screening for Diabetic Retinopathy: Balancing Precision and Pragmatism. Mayo Clinic Proceedings. 2021;96(2):282-284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.12.008>

7. Клёсова ЕЮ, Азарова ЮЭ, Суняйкина ОА, и др. Валидация краткого опросника для оценки вклада средовых факторов риска в развитие возраст-зависимых заболеваний на примере сахарного диабета 2 типа и ишемической болезни сердца. Научные результаты биомедицинских исследований. 2022;8(1):130-138. DOI: <https://doi.org/10.18413/2658-6533-2022-8-1-0-10>

8. Kang Q, Yang C. Oxidative stress and diabetic retinopathy: Molecular mechanisms, pathogenetic role and therapeutic implications. Redox Biology. 2020;37:101799. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101799>

9. Mansour SE, Browning DJ, Wong K, et al. The Evolving Treatment of Diabetic Retinopathy. Clinical Ophthalmology. 2020;14:653-678. DOI: <https://doi.org/10.2147/OPTH.S236637>

10. Augustine J, Troendle EP, Barabas P, et al. The Role of Lipoxidation in the Pathogenesis of Diabetic Retinopathy. *Frontiers in Endocrinology*. 2021;11:621938. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.621938>

11. Астахов ЮС, Нероев ВВ, Шестакова МВ, и др. Клинические рекомендации «Сахарный диабет: ретинопатия диабетическая, макулярный отек диабетический». М.: Общероссийская общественная организация «Ассоциация врачей-офтальмологов»; 2020.

12. Маркина ЛД. Определение биологического возраста человека методом В.П. Войтенко. Владивосток: Владивостокский государственный медицинский университет; 2001.

13. Тренева ЕВ, Булгакова СВ, Курмаев ДП, и др. Анализ циркадианных ритмов секреции кортизола у мужчин с признаками ускоренного старения и их клиничко-организационное значение. *Современные проблемы здравоохранения и медицинской статистики*. 2022;1:208-219. DOI: <https://doi.org/10.24412/2312-2935-2022-1-213-224>

14. Бенберин ВВ, Танбаева ГЗ, Исакова СА, и др. Изучение факторов, влияющих на биологический возраст долгожителей Алматы. *Успехи геронтологии*. 2017;30(1):27-30.

15. Дубашевский РА. Биологический возраст и темпы старения людей старческой группы и долгожителей с полиморбидностью. *Научное обозрение. Педагогические науки*. 2019;5(4):49-52.

16. Bahour N, Cortez B, Pan H, et al. Diabetes mellitus correlates with increased biological age as indicated by clinical biomarkers. *GeroScience*. 2022;44(1):415-427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11357-021-00469-0>

17. Глазкова ПА, Красулина КА, Глазков АА, и др. Корреляция параметров кожной микроциркуляции крови с биологическим возрастом у пациентов с сахарным диабетом. *Успехи геронтологии*. 2021;34(6):863-839. DOI: <https://doi.org/10.34922/AE.2021.34.6.007>

References

1. Dedov II, Shestakova MV, Vikulova OK, et al. Epidemiological characteristics of diabetes mellitus in the Russian Federation: clinical and statistical analysis according to the Federal diabetes register data of 01.01.2021. *Diabetes mellitus*. 2021;24(3):204-221. Russian. DOI: <https://doi.org/10.14341/DM12759>

2. Dedov II, Mokrysheva NG, Shestakova MV, et al. Glycemia control and choice of antihyperglycemic therapy in patients with type 2 diabetes mellitus and COVID-19: a consensus decision of the board of experts of the Russian association of endocrinologists. *Diabetes mellitus*. 2022;25(1):27-49. Russian. DOI: <https://doi.org/10.14341/DM12873>

3. Ting DSW, Cheung CY, Nguyen Q, et al. Deep learning in estimating prevalence and systemic risk factors for diabetic retinopathy: a multi-ethnic study. *npj Digital Medicine*. 2019;2:24. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41746-019-0097-x>

4. Murthy GVS. Situational analysis of diabetic retinopathy screening in India: How has it changed in the last three years? *Indian Journal of Ophthalmology*. 2021;69(11):2944-2950. DOI: https://doi.org/10.4103/ijo.ijo_1242_21

5. Xie Y, Gunasekeran DV, Balaskas K, et al. Health Economic and Safety Considerations for Artificial Intelligence Applications in Diabetic Retinopathy Screening. *Translational Vision Science and Technology*. 2020;9(2):22. DOI: <https://doi.org/10.1167/tvst.9.2.22>

6. Barkmeier AJ. Toward Optimal Screening for Diabetic Retinopathy: Balancing Precision and Pragmatism. *Mayo Clinic Proceedings*. 2021;96(2):282-284. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mayocp.2020.12.008>

7. Klyosova EYu, Azarova IE, Sunyaykina OA, et al. Validity of a brief screener for environmental risk factors of age-related diseases using type 2 diabetes and coronary artery disease as examples. *Research Results in Biomedicine*. 2022;8(1):130-137. Russian. DOI: <https://doi.org/10.18413/2658-6533-2022-8-1-0-10>

8. Kang Q, Yang C. Oxidative stress and diabetic retinopathy: Molecular mechanisms, pathogenetic role and therapeutic implications. *Redox Biology*. 2020;37:101799. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101799>

9. Mansour SE, Browning DJ, Wong K, et al. The Evolving Treatment of Diabetic Retinopathy. *Clinical Ophthalmology*. 2020;14:653-678. DOI: <https://doi.org/10.2147/OPTH.S236637>

10. Augustine J, Troendle EP, Barabas P, et al. The Role of Lipoxidation in the Pathogenesis of Diabetic Retinopathy. *Frontiers in Endocrinology*. 2021;11:621938. DOI: <https://doi.org/10.3389/fendo.2020.621938>

11. Astakhov YuS, Neroyev VV, Shestakova MV, et al. Clinical recommendations "Diabetes mellitus: diabetic retinopathy, diabetic macular edema". Moscow: Obshcherossiyskaya obshchestvennaya organizatsiya «Assotsiatsiya vrachey-oftalmologov»; 2020. Russian.

12. Markina LD. Determination of the biological age of a person by the method of V.P. Voitenko. Vladivostok: Vladivostok State Medical University; 2001. Russian.

13. Treneva EV, Bulgakova SV, Kurmaev DP, et al. Analysis of circadian rhythms of cortisol secretion in men with signs of accelerated aging and their clinical and organizational significance. Current problems of health care and medical statistics. 2022;1:208-219. Russian. DOI: <https://doi.org/10.24412/2312-2935-2022-1-213-224>

14. Benberin VV, Tanbayeva GZ, Iskakova SA, et al. Studying the factors influencing biological age of long-livers of Almaty. Advances in Gerontology. 2017;30(1):27-30. Russian.

15. Dubashevsky RA. Biological age and aging rates of senile people and centenarians with polymorbidity. Scientific Review. Pedagogical Sciences. 2019;5(4):49-52. Russian.

16. Bahour N, Cortez B, Pan H, et al. Diabetes mellitus correlates with increased biological age as indicated by clinical biomarkers. GeroScience. 2022;44(1):415-427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11357-021-00469-0>

17. Glazkova PA, Krasulina KA, Glazkov A, etc. Correlation of parameters of skin microcirculation of blood with biological age in patients with diabetes mellitus. Advances in Gerontology. 2021;34(6):863-839. Russian. DOI: <https://doi.org/10.34922/AE.2021.34.6.007>

Статья поступила в редакцию 17 ноября 2022 г.
Поступила после доработки 16 января 2023 г.
Принята к печати 3 февраля 2023 г.

Received 17 November 2022

Revised 16 January 2023

Accepted 3 February 2023

Информация об авторах

Николай Михайлович Агарков, доктор медицинских наук, профессор кафедры биомедицинской инженерии ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, E-mail: vitalaxen@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4821-3692>.

Инна Валерьевна Лев, кандидат медицинских наук, заведующий первым офтальмологическим отделением, Тамбовский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова», г. Тамбов, Российская Федерация, E-mail: mihina.inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3436-4059>.

Андрей Евгеньевич Копылов, кандидат медицинских наук, заведующий отделением лазерного рефракционного центра, Тамбовский филиал ФГАУ «НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова», г. Тамбов, Российская Федерация, E-mail: mntk@mntk-tambov.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3536-1645>.

Information about the authors

Nikolay M. Agarkov, Doct. Sci. (Medicine), Professor at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk, Russia, E-mail: vitalaxen@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4821-3692>.

Inna V. Lev, Cand. Sci. (Medicine), Head of the First Ophthalmological Department, Tambov Branch of the S.N. Fyodorov Eye Microsurgery State Institution, Tambov, Russia, E-mail: mihina.inna@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3436-4059>.

Andrey E. Kopylov, Cand. Sci. (Medicine), Head of the Department of Laser Refractive Center, Tambov Branch of the S.N. Fyodorov Eye Microsurgery State Institution, Tambov, Russia, E-mail: mntk@mntk-tambov.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3536-1645>.