

# Биологический возраст как новый фактор риска диабетической ретинопатии у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа

Н.М. Агарков<sup>1,2,3</sup>О.Л. Фабрикантов<sup>3</sup>И.В. Лев<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
ул. 50 лет Октября, 94, Курск, 305040, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГАУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»  
ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Российская Федерация

<sup>3</sup> Тамбовский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТН «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Фёдорова»  
Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Рассказовское шоссе, 1, Тамбов, 392000, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

Офтальмология. 2024;21(2):348–353

Для профилактики диабетической ретинопатии важное значение имеет исследование факторов риска, среди которых, наряду с продолжительностью сахарного диабета 2-го типа, уровнем гликемии, ожирением, есть и хронологический возраст, но биологический возраст при этом не рассматривается в качестве потенциального фактора риска, хотя биологический возраст более объективно, чем хронологический, характеризует патологические изменения на клеточном уровне и процессы апоптоза. Цель исследования — изучение биологического возраста как нового фактора риска диабетической ретинопатии у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа. В исследовании на базе Тамбовского филиала ФГАУ НМИЦ «МНТН «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Фёдорова» приняли участие 580 пациентов 45–59 лет с диабетической ретинопатией на фоне сахарного диабета 2-го типа, у которых рассчитывался биологический возраст по методике В.П. Войтенко. Соответствие биологического и хронологического возраста установлено у 124 пациентов, превышение (ускорение) биологического возраста над хронологическим — у 357 пациентов и превышение хронологического возраста над биологическим — у 99 пациентов. В последующем анализе рассматривались первые две группы. Среди пациентов 45–59 лет с сахарным диабетом 2-го типа с превышением биологического возраста над хронологическим частота диабетической ретинопатии составила  $19,82 \pm 1,32$  случая на 100 обследованных, что статистически значимо выше ( $p < 0,001$ ) относительно пациентов того же возраста с сахарным диабетом 2-го типа с соответствием биологического возраста хронологическому:  $10,24 \pm 1,51$  случая на 100 обследованных. Достоверные различия в сравниваемых группах выявлены и в величинах хронологического возраста диагностированной диабетической ретинопатии при данном эндокринном заболевании:  $47,69 \pm 1,24$  года у пациентов с ускорением биологического возраста и  $50,23 \pm 0,92$  года у пациентов с соответствием биологического и хронологического возрастов ( $p < 0,01$ ). Биологический возраст диагностирования диабетической ретинопатии, соответственно, составлял  $56,13 \pm 0,83$  и  $49,61 \pm 1,11$  года ( $p < 0,001$ ). Разница развития диабетической ретинопатии у пациентов 45–59 лет с сахарным диабетом 2-го типа по биологическому возрасту составляла  $6,52 \pm 1,24$  года среди пациентов с ускорением биологического возраста и  $0,62 \pm 0,09$  года — среди пациентов с соответствием биологического и хронологического возрастов ( $p < 0,001$ ). Ускорение биологического возраста является значимым и новым фактором риска диабетической ретинопатии у пациентов 45–59 лет с сахарным диабетом 2-го типа.

**Ключевые слов :** диабетическая ретинопатия, сахарный диабет 2-го типа, хронологический возраст, биологический возраст, факторы риска диабетической ретинопатии, офтальмологические осложнения сахарного диабета 2-го типа

**Для цитирования:** Агарков Н.М., Фабрикантов О.Л., Лев И.В. Биологический возраст как новый фактор риска диабетической ретинопатии у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа. *Офтальмология*. 2024;21(2):348–353. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-2-348-353>

**Прозрачность финансовой деятельности:** никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах и методах.

**Конфликт интересов отсутствует.**



# Biological Age as a New Risk Factor for Diabetic Retinopathy in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus

N.M. Agarkov<sup>1,2,3</sup>, O.L. Fabrikantov<sup>3</sup>, I.V. Lev<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Southwest State University  
50 let Oktyabrya str., 94, Kursk, 305040, Russian Federation

<sup>2</sup> Belgorod State National Research University  
Pobedy str., 85, Belgorod, 308015, Russian Federation

<sup>3</sup> Tambov branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Rasskazovskoe Highway, 1, Tambov, 392000, Russian Federation

## ABSTRACT

## Ophthalmology in Russia. 2024;21(2):348–353

For the prevention of diabetic retinopathy, it is important to study risk factors, among which, along with the duration of type 2 diabetes mellitus, the level of glycemia, obesity, chronological age is indicated, but biological age is not considered as a potential risk factor, although biological age more objectively than chronological characterizes pathological changes at the cellular level and processes apoptosis. Purpose: to study biological age as a new risk factor for diabetic retinopathy in patients with type 2 diabetes mellitus. 580 patients aged 45–59 years with diabetic retinopathy and type 2 diabetes mellitus, whose biological age was calculated according to the Voitenko V.P. et al. methodology, took part in the study on the basis of the S.N. Fedorov National medical research center "MNTK Eye Microsurgery". The correspondence of biological and chronological age was established in 124 patients, the excess (acceleration) of the chronological biological age in 357 patients and the excess of the biological chronological age in 99 patients. In the subsequent analysis, the first two groups were considered. Among 45–59-year-old patients with type 2 diabetes mellitus, the incidence of diabetic retinopathy was  $19.82 \pm 1.32$  cases per 100 examined, which is statistically significantly higher ( $p < 0.001$ ) compared to patients of the same age with type 2 diabetes mellitus with a chronological biological age —  $10.24 \pm 1.51$  cases per 100 examined. Significant differences in the compared groups were also revealed in the values of the chronological age of diagnosis of diabetic retinopathy in this endocrine disease —  $47.69 \pm 1.24$  years in patients with accelerated biological age and  $50.23 \pm 0.92$  years in patients with matching biological and chronological age ( $p < 0.01$ ). The biological age of diagnosis of diabetic retinopathy, respectively, was  $56.13 \pm 0.83$  years and  $49.61 \pm 1.11$  years ( $p < 0.001$ ). The difference in the development of diabetic retinopathy in patients 45–59 years old with type 2 diabetes mellitus by biological age was  $6.52 \pm 1.24$  years among patients with accelerated biological age and  $0.62 \pm 0.09$  years among patients with matching biological and chronological age ( $p < 0.001$ ). Consequently, the acceleration of biological age is a significant and new risk factor for diabetic retinopathy in patients aged 45–59 years with type 2 diabetes mellitus.

**Keywords:** diabetic retinopathy, type 2 diabetes mellitus, chronological age, biological age, risk factors for diabetic retinopathy, ophthalmological complications of type 2 diabetes mellitus

**For citation:** Agarkov N.M., Fabrikantov O.L., Lev I.V. Biological Age as a New Risk Factor for Diabetic Retinopathy in Patients with Type 2 Diabetes Mellitus. *Ophthalmology in Russia*. 2024;21(2):348–353. <https://doi.org/10.18008/1816-5095-2024-2-348-353>

**Transparency of financial activities:** no author has a financial or property interest in any material or method mentioned.

**There is no conflict of interest.**

Диабетическая ретинопатия (ДР) является частым микрососудистым осложнением сахарного диабета 2-го типа и занимает первое место среди причин необратимой потери зрения у лиц трудоспособного возраста. Глобальный метаанализ показал, что почти у трети пациентов с СД 2-го типа была диагностирована ДР [1]. Считается, что ДР коррелирует с более высоким риском системных сосудистых осложнений, таких как нефропатия, периферическая невропатия и сердечно-сосудистые события, которые приводят к ухудшению качества жизни [2]. В соответствии с этим изучение сопутствующих факторов риска способствует прогнозированию течения ДР и ее профилактике.

В нескольких эпидемиологических исследованиях, включая серию проспективных и когортных исследований, сообщалось о необходимости учитывать факторы риска при профилактике и лечении заболеваний [3–5]. Тем не менее эпидемиологические данные о ДР среди

населения различных стран все еще довольно скудны, а факторы риска ДР противоречивы из-за различий в дизайне исследований, стандартов классификации и популяционных выборок. Предыдущие исследования подтвердили, что с развитием ДР связаны различные факторы риска, включая СД 2-го типа в анамнезе, уровни гликозилированного гемоглобина A1c (HbA1c), гипергликемию, дислипидемию, гипертонию и ожирение [6, 7]. В частности, более длительная продолжительность СД 2-го типа и более высокие уровни HbA1c были признаны ключевыми факторами риска развития ДР в глобальном исследовании ДР [1].

Появляется все больше данных, свидетельствующих о множественности и сложности влияния половых гормонов на органы-мишени, особенно при СД 2-го типа [7]. Некоторые данные свидетельствуют о том, что половые гормоны играют важную роль в патологии зрительного

нерва и других заболеваний глаз [6]. Более того, недавние результаты показали, что женщины, по-видимому, подвержены более высокому риску диабетических микрососудистых осложнений, но их последствия могут быть более выраженными у мужчин [7].

Однако, независимо от гендерных особенностей, среди факторов риска развития ДР при СД 2-го типа неизвестным остается влияние биологического возраста, а также опережение биологическим возрастом значения хронологического или календарного возраста, несмотря на то что у пациентов с СД 2-го типа показана сильная ассоциация различных параметров микроциркуляции только с биологическим возрастом и отсутствие связи с хронологическим возрастом [8]. Биологический возраст как фактор риска ДР у пациентов 45–59 лет с СД 2-го типа до настоящего времени не рассматривался как в отечественных, так и зарубежных научных публикациях, хотя при СД 2-го типа, наряду с ранее указанным исследованием [8], установлено негативное влияние ускорения биологического возраста на течение и прогрессирование данной эндокринной патологии и значение биологического возраста в качестве маркера и индуктора преждевременного старения таких пациентов [9, 10].

**Цель исследования** — изучение биологического возраста как нового фактора риска развития ДР у пациентов с СД 2-го типа.

## ПАЦИЕНТЫ И МЕТОДЫ

В исследовании, выполненном в Тамбовском филиале ФГАУ НМИЦ «МНТК “Микрохирургия глаза” им. академика С.Н. Фёдорова», приняли участие 580 пациентов зрелого возраста с ДР при СД 2-го типа, проходивших стационарное обследование и лечение в 2021–2022 гг. Верификация диагноза ДР осуществлялась в соответствии с Клиническими рекомендациями Общероссийской ассоциации врачей-офтальмологов «Сахарный диабет: ретинопатия диабетическая, макулярный отек диабетический» [11] и результатами комплексного офтальмологического обследования, включавшего изучение сетчатки цифровой камерой Topson TRC NW 6s (Япония),

3872×2892 пикселя, биомикроскопию с помощью щелевой лампы и офтальмоскопию, оптическую когерентную томографию прибором RTVue XR, Optovue (США).

У 580 пациентов фиксировали хронологический, или паспортный, возраст, а в дальнейшем по методике В.П. Войтенко и соавт. [12] рассчитывали биологический возраст с учетом гендерной принадлежности обследованных пациентов 45–59 лет.

По величине разности между биологическим и хронологическим возрастом пациенты 45–59 лет с ДР при СД 2-го типа были распределены на три группы: с соответствием биологического и хронологического возрастов при разнице от –2,9 до +2,9 года; с превышением биологического возраста над хронологическим в +3,0 и более года; с превышением хронологического возраста над биологическим при разнице между биологическим и хронологическим возрастaми в –3,0 и более года [12]. По результатам выполненного анализа соответствие биологического и хронологического возрастов выявлено у 124 человек, превышение биологического возраста над хронологическим — у 357 человек, превышение хронологического возраста над биологическим — у 99 человек. При дальнейшем анализе в процессе рассмотрении биологического возраста в качестве фактора риска ДР у пациентов с СД 2-го типа приняли участие пациенты с соответствием биологического и хронологического возрастов, с превышением (ускорением) биологического возраста, а пациенты с превышением хронологического возраста над биологическим не изучались, так как ускорение хронологического возраста свидетельствует о замедлении темпов старения и считается благоприятным процессом.

Сравниваемые две группы пациентов не имели статистически значимых различий по основным медико-демографическим параметрам, которые могли бы исказить результаты настоящего исследования (табл. 1). Все заболевания находились в стадии компенсации.

Исследование проводилось с соблюдением этических норм и принципов Хельсинкской декларации.

**Т блиц 1.** Основные медико-демографические параметры пациентов 45–59 лет с ДР при СД 2-го типа ( $M \pm SD$ )

**Table 1.** The main medical and demographic parameters of patients aged 45–59 years with DR with type 2 diabetes ( $M \pm SD$ )

Показатель / Indicator	Пациенты с соответствием биологического и хронологического возрастов / Patients with matching biological and chronological age	Пациенты с превышением биологического возраста над хронологическим / Patients with excess of biological age chronological	p
Мужчины/Женщины, % / Men/Women, %	46,4 ± 2,3 / 53,6 ± 1,9	48,2 ± 2,5 / 51,8 ± 2,3	>0,05
Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup> / Body mass index, kg/m <sup>2</sup>	28,3 ± 2,1	28,9 ± 1,8	>0,05
Курение, % / Smoking, %	32,9 ± 1,7	30,8 ± 1,9	>0,05
Продолжительность диабета, лет / Duration of diabetes, years	7,8 ± 1,4	8,1 ± 1,6	>0,05
Гликированный гемоглобин, % / Glycated hemoglobin, %	8,5 ± 0,3	8,8 ± 0,4	>0,05
Артериальная гипертензия, % / Arterial hypertension, %	43,5 ± 3,6	46,8 ± 3,9	>0,05
Инфаркт миокарда в анамнезе более 1 года, % / A history of myocardial infarction for more than 1 year, %	16,1 ± 1,3	17,2 ± 1,3	>0,05
Хроническая болезнь почек, % / Chronic kidney disease, %	11,3 ± 0,9	13,2 ± 1,2	>0,05

При статистической обработке применялась программа «Statistica 10.0», непараметрический критерий  $\chi^2$ , производился расчет среднеарифметических величин и их ошибок, относительных величин и стандартных отклонений (SD). Различие принималось статистически значимым при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

ДР у пациентов 45–59 лет с СД 2-го типа и с превышением биологического возраста над хронологическим выявлена практически в 2 раза чаще по сравнению с пациентами аналогичного возраста с СД 2-го типа и соответствием биологического и хронологического возрастов ( $p < 0,001$ ) (табл. 2). Кроме того, среди пациентов с СД 2-го типа с превышением биологического возраста над величиной хронологического ДР развивается статистически значимо раньше по хронологическому возрасту — в 47,69 года, тогда как в группе пациентов с СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возрастов существенно позже — в 50,23 года ( $p < 0,01$ ).

Однако биологический возраст диагностирования ДР у пациентов 45–59 лет с СД 2-го типа с ускорением биологического возраста был достоверно выше относительно пациентов того же возраста с СД 2-го типа, имеющих совпадение биологического и хронологического возрастов. Превышение биологическим возрастом величины хронологического оказалось значительным, составляя  $+8,44 \pm 1,86$  года, что указывает однозначно на преждевременное старение пациентов 45–59 лет с опережением биологическим возрастом

параметра хронологического и является фактором риска ДР при СД 2-го типа. При этом разница между биологическим и хронологическим возрастaми у пациентов с соответствием вышеназванных показателей невысока и составляет  $-0,62 \pm 0,09$  года с достоверным различием относительно одноименной величины пациентов с СД 2-го типа с ускорением биологического возраста.

Средняя разница развития ДР у пациентов 45–59 лет с СД 2-го типа с ускорением биологического возраста статистически значимо отличается от группы пациентов с соответствием биологического и хронологического возрастов. Более существенное различие установлено в разнице развития ДР по биологическому возрасту 45–59 лет с СД 2-го типа с превышением биологического возраста по сравнению с пациентами с соответствием биологического и хронологического возрастов, которая значительно выше среди пациентов с ускорением биологического возраста, составляя 6,52 года, против 0,62 года в группе сравнения.

Полученные результаты показывают, что ускорение биологического возраста у пациентов 45–59 лет с СД 2-го типа способствует повышению частоты ДР и ее развитию в более раннем хронологическом возрасте при одинаковой величине последнего в сравниваемых группах. Сказанное свидетельствует о важности определения у пациентов 45–59 лет с ДР при СД 2-го типа биологического возраста, рассматриваемого многими специалистами в качестве более адекватного и объективного критерия происходящих в организме пациентов с СД 2-го типа патологических отклонений, чем хронологического возраста [13–17].

**Т блиц 2.** Ассоциация биологического возраста с ДР пациентов с СД 2-го типа в 45–59 лет ( $M \pm SD$ )

**Table 2.** Association of biological age with DR of patients with type 2 diabetes at 45–59 years ( $M \pm SD$ )

Исследуемый показатель / Parametr	Пациенты 45–59 лет с ДР при СД 2-го типа с соответствием биологического возраста хронологическому (а) / Patients 45–59-year old with DR with type 2 diabetes with correspondence of biological age to chronological (a)	Пациенты 45–59 лет с ДР при СД 2-го типа с превышением биологического возраста над хронологическим (б) / Patients 45–59 years old with DR with type 2 diabetes with exceeding the biological age of chronological (b)	Величина $\chi^2$ и достоверность различий / The value of $\chi^2$ and the validity of the differences
Частота ДР (на 100 обследованных) (1) / Frequency of DR (per 100 examined) (1)	10,24 $\pm$ 1,51	19,82 $\pm$ 1,32	$\chi^2_{1a-1b} = 8,52$ $p_{1a-1b} < 0,001$
Хронологический возраст диагностирования ДР при СД 2-го типа, лет (2) / Chronological age of diagnosis of DR in type 2 diabetes, years (2)	50,23 $\pm$ 0,92	47,69 $\pm$ 1,24	$\chi^2_{2a-2b} = 11,84$ $p_{2a-2b} < 0,01$
Биологический возраст диагностирования (развития) ДР при СД 2-го типа, лет (3) / Biological age of diagnosis (development) DR with type 2 diabetes, years (3)	49,61 $\pm$ 1,11 $\chi^2_{2a-3a} = 0,4$ $p_{2a-3a} > 0,05$	56,13 $\pm$ 0,83 $\chi^2_{2b-3b} = 10,7$ $p_{2b-3b} < 0,001$	$\chi^2_{3a-3b} = 7,18$ $p_{3a-3b} < 0,001$
Биологический возраст — хронологический возраст, лет (4) / Biological age — chronological age, years (4)	-0,62 $\pm$ 0,09	+8,44 $\pm$ 1,86	$\chi^2_{4a-4b} = 37,64$ $p_{4a-4b} < 0,001$
Разница развития ДР при СД 2-го типа по хронологическому возрасту, лет (5) / The difference in the development of DR in type 2 diabetes by chronological age, years (5)	0,62 $\pm$ 0,09	2,54 $\pm$ 1,15	$\chi^2_{5a-5b} = 9,08$ $p_{5a-5b} < 0,001$
Разница развития ДР при СД 2-го типа по биологическому возрасту, лет (6) / The difference in the development of DR in type 2 diabetes by biological age, years (6)	0,62 $\pm$ 0,09	6,52 $\pm$ 1,24	$\chi^2_{6a-6b} = 7,89$ $p_{6a-6b} < 0,001$

Показано, что развитие СД 2-го типа коррелирует с биологическим возрастом пациентов, а именно с превышением биологического возраста над хронологическим [15]. Расчет биологического возраста по идентифицированным биомаркерам у людей с СД 2-го типа 20–80 лет выявил его превышение на +12,02 года по сравнению с пациентами с преддиабетом, что значительно ниже биологического возраста, выявленного нами у пациентов с ДР. В когорте пациентов с диагнозом СД 2-го типа уровень биологического возраста был выше, чем хронологического возраста. У пациентов с преддиабетом превышение биологического возраста над хронологическим оказалось менее существенным и составляло +2,69 года. Авторы считают, что одним из основных факторов риска развития СД 2-го типа является превышение биологического возраста над хронологическим независимо от возраста постановки диагноза.

Опережение биологическим возрастом величины хронологического среди пациентов с СД 2-го типа обусловлено хронической гипергликемией, ускоряющей старение сосудов и апоптоз эндотелиальных клеток [18]. Именно клеточное старение в настоящее время рассматривается как ведущий механизм развития и прогрессирования таких метаболических заболеваний, как СД 2-го типа [9, 16, 17]. Стареющие клетки могут стимулировать развитие заболеваний и потенциально создавать среду, ускоряющую старение клеток в тканях организма, что будет проявляться ускорением биологического возраста.

Превышение биологического возраста над хронологическим у пациентов с СД 2-го типа зарегистрировано

в 59,0 % случаев с коэффициентом скорости старения 1,05 [13]. Ускорение биологического возраста среди жителей Израиля сопровождается тем, что средний возраст начала развития СД 2-го типа составляет 57 лет против 68 лет у евреев того же географического района с замедленным темпом старения [10]. Подобно этим пациентам с СД 2-го типа с превышением биологического возраста, у которых заболевание развивается на 11 лет раньше, нами впервые установлено раннее начало развития ДР у пациентов 45–59 лет с СД 2-го типа. Однако, несмотря на определенную изученность биологического возраста у пациентов с СД 2-го типа, ускорение биологического возраста и его связь с ДР в 45–59 лет у пациентов с СД 2-го типа показано впервые в настоящем исследовании.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациентов 45–59 лет с СД 2-го типа с превышением биологического возраста над хронологическим наблюдается более высокая частота ДР, которая практически в 2 раза выше относительно пациентов такого же возраста с СД 2-го типа с соответствием биологического и хронологического возрастов. При ускорении биологического возраста у пациентов с СД 2-го типа ДР развивается на  $2,54 \pm 1,15$  года раньше, чем при соответствии биологического и хронологического возрастов. Поэтому биологический возраст следует рассматривать как новый значимый фактор риска развития ДР при СД 2-го типа.

## УЧАСТИЕ АВТОРОВ:

Агарков Н.М. — концепция и дизайн исследования;  
Фабрикантов О.Л. — научное редактирование;  
Лев И.В. — сбор и анализ данных; написание текста.

## ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Liu Y, Yang J, Tao L, Lv H, Jiang X, Zhang M, Li X. Risk factors of diabetic retinopathy and sight-threatening diabetic retinopathy: a cross-sectional study of 13 473 patients with type 2 diabetes mellitus in mainland China. *BMJ Open*. 2017;7(9):e016280. doi: 10.1136/bmjopen-2017-016280.
- Агарков Н.М., Лев И.В., Таныгин М.О., Коровин Е.Н. Социальная функциональная активность пациентов с диабетической ретинопатией. Научные результаты биомедицинских исследований. 2022;8(4):516–523. Agarkov NM, Lev I.V., Tanygin M.O., Korovin E.N. Social functional activity of patients with diabetic retinopathy. *Research Results in Biomedicine*. 2022;8(4):516–523 (In Russ.). doi: 10.18413/2658-6533-2022-8-4-0-9.
- Zhang X, Saaddine JB, Chou CF, Cotch MF, Cheng YJ, Geiss LS, Gregg EW, Albright AL, Klein BE, Klein R. Prevalence of diabetic retinopathy in the United States, 2005–2008. *JAMA*. 2010;304(6):649–656. doi: 10.1001/jama.2010.1111.
- Sun Q, Jing Y, Zhang B, Gu T, Meng R, Sun J, Zhu D, Wang Y. The Risk Factors for Diabetic Retinopathy in a Chinese Population: A Cross-Sectional Study. *J Diabetes Res*. 2021;2021:5340453. doi: 10.1155/2021/5340453.
- Ting DS, Cheung GC, Wong TY. Diabetic retinopathy: global prevalence, major risk factors, screening practices and public health challenges: a review. *Clin Exp Ophthalmol*. 2016;44(4):260–277. doi: 10.1111/ceo.12696.
- Kuo JZ, Wong TY, Rotter JL. Challenges in elucidating the genetics of diabetic retinopathy. *JAMA Ophthalmol*. 2014;132(1):96–107. doi: 10.1001/jamaophthalmol.2013.5024.
- Maric-Bilkan C. Sex differences in micro- and macro-vascular complications of diabetes mellitus. *Clin Sci (Lond)*. 2017;131(9):833–846. doi: 10.1042/CS20160998.
- Глазкова П.А., Красулина К.А., Глазков А.А., Куликов Д.А., Логина В.Е., Ковалева Ю.А., Куликов А.В. Корреляция параметров кожной циркуляции крови с биологическим возрастом у пациентов с сахарным диабетом. Успехи геронтологии. 2021;34(6):863–869. Glazkova PA, Krasulina KA, Glazkov AA, Kulikov DA, Logina VE, Kovaleva YuA, Kulikov AV. Correlation of parameters of skin blood circulation with biological age in patients with diabetes mellitus. *Advances in Gerontology* 2021;34(6):863–869 (In Russ.). doi: 10.34922/AE.2021.34.6.007.
- Burton DG, Faragher RG. Obesity and type-2 diabetes as inducers of premature cellular senescence and ageing. *Biogerontology*. 2018;19(6):447–459. doi: 10.1007/s10522-018-9763-7.
- Toperoff G, Kark JD, Aran D, Nassar H, Ahmad WA, Sinnreich R, Azaiza D, Glaser B, Hellman A. Premature aging of leukocyte DNA methylation is associated with type 2 diabetes prevalence. *Clin Epigenetics*. 2015;7(1):35. doi: 10.1186/s13148-015-0069-1.
- Solomon SD, Chew E, Duh EJ, Sobrin L, Sun JK, Vanderbeek BL, Wyckoff CC, Gardner TW. Diabetic Retinopathy: A Position Statement by the American Diabetes Association. *Diabetes Care*. 2017;40(3):412–418. doi: 10.2337/dcl16-2641.
- Касаткина Ю.И., Петрова Е.А. Сравнительная характеристика методик по определению биологического возраста человека по В.П. Войтенко и по А.Г. Горелкину. *Международный научный студенческий вестник*. 2018;5:6. Kasatkina YuI, Petrova EA. Comparative characteristics of methods for determining the biological age of a person according to V.P. Voitenko and A.G. Gorelkin. *International Student Scientific Bulletin* 2018;5:6 (In Russ.).
- Клѣсова Е.Ю., Азарова Ю.Э., Суняйкина О.А., Полоников А.В. 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. Klesova EYu, Azarova YuE, Sunyagina OA, Polonikov AV. Validation of a short questionnaire to assess the contribution of environmental risk factors to the development of age-dependent diseases on the example of type 2 diabetes mellitus and coronary heart disease. *Research Results in Biomedicine* 2022;8(1):130–137 (In Russ.). doi: 10.18413/2658-6533-2022-8-1-0-10.
- Лев И.В. Биологический возраст снижает возрастную жизнеспособность пациентов зрелого возраста с диабетической ретинопатией при сахарном диабете 2-го типа. *Интегративные тенденции в медицине и образовании*. 2023;1:160–164. Lev IV. Biological age reduces the age viability of mature patients with diabetic retinopathy in type 2 diabetes mellitus. *Integrative trends in medicine and education* 2023;1:160–164 (In Russ.).
- Bahour N, Cortez B, Pan H, Stah H, Doria A, Aguayo-Mazzucato C. Diabetes mellitus correlates with increased biological age as indicated by clinical biomarkers. *Geroscience*. 2022;44(1):415–427. doi: 10.1007/s11357-021-00469-0.
- Liu Z, Kuo PL, Horvath S, Crimmins E, Ferrucci L, Levine M. A new aging measure captures morbidity and mortality risk across diverse subpopulations from NHANES IV: A cohort study. *PLoS Med*. 2018;15(12):e1002718. doi: 10.1371/journal.pmed.1002718.

Н.М. Агарков, О.Л. Фабрикантов, И.В. Лев

Контактная информация: Агарков Николай Михайлович vitalaxen@mail.ru

17. Логина В.Е., Глазкова П.А., Куликов Д.А., Глазков А.А., Козлова К.А., Рогаткин Д.А. Взаимосвязь изменений реактивности кожной микроциркуляции и биологического возраста у больных сахарным диабетом. Пилотное исследование. Российский журнал гериатрической медицины. 2021;2:264.  
Logina VE, Glazkova PA, Kulikov DA, Glazkov AA, Kozlova KA, Rogatkin DA. Interrelation of changes in skin microcirculation reactivity and biological age in patients with diabetes mellitus. Pilot study. Russian Journal of Geriatric Medicine. 2021;2:264 (In Russ.). doi: 10.37586/2686-8636-2-2021-254.
18. Yokoi T, Fukuo K, Yasuda O, Hotta M, Miyazaki J, Takemura Y, Kawamoto H, Ichijo H, Ogihara T. Apoptosis signal-regulating kinase 1 mediates cellular senescence induced by high glucose in endothelial cells. Diabetes. 2006;55(6):1660–1665. doi: 10.2337/db05-1607.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет»  
ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»  
Тамбовский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Агарков Николай Михайлович  
доктор медицинских наук, профессор кафедры биомедицинской инженерии  
ул. 50 лет Октября, 94, Курск, 305040, Российская Федерация  
ул. Победы, 85, Белгород, 308015, Российская Федерация  
Рассказовское шоссе, 1, Тамбов, 392000, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0000-0002-4821-3692>

Тамбовский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Фабрикантов Олег Львович  
доктор медицинских наук, профессор, директор  
Рассказовское шоссе, 1, Тамбов, 392000, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0000-0002-8991-0910>

Тамбовский филиал ФГАУ НМИЦ «МНТК «Микрохирургия глаза» им. академика С.Н. Федорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации  
Лев Инна Валерьевна  
кандидат медицинских наук, заведующая первым хирургическим отделением  
Рассказовское шоссе, 1, Тамбов, 392000, Российская Федерация  
<https://orcid.org/0000-0002-6793-7362>

## ABOUT THE AUTHORS

Southwest State University  
Belgorod State National Research University  
Tambov branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery Federal State Institution  
Agarkov Nikolay M.  
MD, Professor of the of Biomedical Engineering Department  
50 let Oktyabrya str., 94, Kursk, 305040, Russian Federation  
Pobedy str., 85, Belgorod, 308015, Russian Federation  
Rasskazovskoe Highway, 1, Tambov, 392000, Russian Federation  
<https://orcid.org/0000-0002-4821-3692>

Tambov branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery  
Federal State Institution  
Fabrikantov Oleg L.  
MD, Professor, head  
Rasskazovskoe Highway, 1, Tambov, 392000,  
Russian Federation

Tambov branch of S. Fyodorov Eye Microsurgery  
Federal State Institution  
Lev Inna V.  
PhD, head of the First surgical department  
Rasskazovskoe Highway, 1, Tambov, 392000,  
Russian Federation