Дата публикации: 01.09.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_7
УДК 612.11

Publication date: 01.09.2025
DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_7
UDC 612.11

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ВОЗРАСТА КОСМОНАВТОВ И ВЛИЯНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПОЛЕТА НА НЕГО

Т.Б. Кукоба[1,2], К.В. Латарцев[3], А.А. Кулишенко[3], К.С. Киреев[1]

[1]Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский испытательный центр подготовки космонавтов имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок, Московская область, Россия

[2]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный социальный университет», г. Москва, Россия

[3]Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова», г. Москва, Россия

Аннотация. ***Введение.*** Оценка биологического возраста космонавтов имеет большое значение для сохранения их здоровья и работоспособности как в процессе подготовки к космическому полету, так и после его завершения. Цель исследования – провести сравнительный анализ методов определения биологического возраста космонавтов и оценить влияние космического полета на него. ***Методы.*** Биологический возраст определяли тремя методами. Методы Белозеровой Л.М. и Горелкина А.Г. основаны на показателях физического развития. Метод, разработанный в Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского, основан на показателях крови. ***Результаты.*** Сравнительный анализ показал, что методы, основанные на показателях физического развития, согласованы между собой и дополняют друг друга, а с методом, основанным на показателях крови, эти методы согласованы слабо. До космического полета биологический возраст космонавтов был значительно ($p<0,05$) ниже календарного. Выявлено, что после космического полета биологический возраст космонавтов, рассчитанный по показателям крови, на первые сутки реадаптации увеличивался и практически соответствовал календарному, а к исходным значениям биологический возраст возвращался к шестидесятым суткам после полета. ***Заключение.*** Биологический возраст, как интегральный показатель здоровья, физического развития и психоэмоционального состояния, может являться маркером профессионального долголетия космонавтов и использоваться во время отбора, на всех этапах подготовки к космическому полету и в период послеполетной реабилитации.

Ключевые слова: космонавт, профессиональное долголетие, биологический возраст, космический полет, реадаптация, показатели крови, физическое развитие.

COMPARATIVE ANALYSIS OF METHODS FOR ASSESSING THE BIOLOGICAL AGE OF COSMONAUTS AND SPACEFLIGHT INFLUENCE ON IT

T.B. Kukoba[1,2], K.V. Latartsev[3], A.A. Kulishenko[3], K.S. Kireev[1]

[1]Gagarin Research & Test Cosmonaut Training Center, Zvezdnyj Gorodok, Moscow Region, Russia

[2]Russian State Social University, Moscow, Russia

[3]Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. ***Introduction.*** Estimation of biological age of cosmonauts has a great significance in terms of preserving their health and performance both in the process of preparing to spaceflight and after. Aim of the study – to conduct a comparative analysis of methods to identify biological age of cosmonauts and estimate the influence of spaceflight on it. ***Methods.*** Biological age was determined using three methods. The methods of L.M. Belozerova and A.G. Gorelkin are based on physical development indicators. The method developed at the N.I. Lobachevsky State University of Nizhny Novgorod is based on blood indicators. ***Results.*** The comparative analysis of the methods has shown that the methods based on physical development indicators are consistent with each other and complement each other, while these methods are poorly consistent with the method based on blood indicators. Before the spaceflight, the biological age of the cosmonauts was significantly ($p<0,05$) lower than the calendar age. It was revealed that after the spaceflight, the biological age of the cosmonauts, calculated according to the blood indicators, increased on the first day of readaptation and practically corresponded to the calendar age, and the biological age returned to its original values by the sixtieth day after the flight. ***Conclusion.*** Biological age, as an integral indicator of health, physical development and psychoemotional state, can be a marker of the professional longevity of cosmonauts and can be used during selection, at all stages of preparation for space missions and during the post-flight rehabilitation period.

Keywords: cosmonaut, professional longevity, biological age, spaceflight, readaptation, blood parameters, physical development.

Введение. Профессиональная деятельность оказывает выраженное влияние на жизненные ценности человека, формирующие систему его мировоззрения, определяемую социальными, экономическими и бытовыми факторами. Космонавт – экстремальная профессия, которая предъявляет к организму человека повышенные требования, в то же время профессиональное долголетие космонавта зависит от состояния здоровья, определенного уровня физической подготовленности, психоэмоциональной устойчивости и т.д. [1].

Ранее проведенные исследования показали, что у членов экипажей длительных космических экспедиций после возвращения на Землю появляются различные изменения состояния здоровья, которые характерны для пожилых людей. Изменения затрагивают сердечно-сосудистую, иммунную, костно-мышечную, зрительную, вестибулярную и другие системы организма [2].

Оценить величину возрастных изменений космонавтов в процессе профессиональной деятельности и влияние космического полета (КП) на них, на наш взгляд, возможно, если определить биологический возраст (БВ). БВ – интегральный показатель здоровья, отражающий резервный потенциал, биологические и адаптационные возможности организма человека. БВ используют во многих областях: в возрастной физиологии, геронтологии, спортивной деятельности [3]. Понятие БВ возникло в результате осознания неравномерности развития, зрелости и старения у разных людей, это одна из важнейших закономерностей онтогенеза, которая служит причиной расхождения между биологическим и календарным (хронологическим) возрастом (КВ) организма [4]. На сегодняшний день насчитывается более ста теорий старения [5]. Считается, что для определения БВ наиболее оптимально использовать методы, охватывающие различные системы и органы, поскольку это лучше отражает возрастную физиологию человека. В то же время, в организме человека есть константы, которые изменяются с возрастом, по их значениям можно более точно определить «износ» функциональных систем. Например, длина теломер и активность теломеразы мононуклеарных клеток периферической крови служат маркером биологического возраста в теории пептидного старения [6, 7]. Для адекватной оценки БВ необходимо тщательно отбирать методы, которые информативны, не требуют сложной дорогостоящей аппаратуры, временных затрат, большого количества трудно получаемых параметров, просты в применении и т.д.

Выполняемые и предстоящие пилотируемые КП диктуют необходимость поддержания космонавтами отличного здоровья и оптимального физического состояния. Подготовка к КП осуществляется на уникальных испытательно-тренировочных комплексах и тренажерах (гидролаборатория, самолет-лаборатория, центрифуга, барокамера и т.д.) и оказывает на организм космонавта специфическое воздействие. Открытым остается вопрос количественной оценки влияния подготовки к КП и самого КП на функциональные возможности космонавтов и биологическое старение организма.

Оценка БВ космонавтов имеет большое значение для сохранения их здоровья и работоспособности как в процессе подготовки к КП, так и после его завершения. Учет индивидуальных характеристик космонавта, таких как возраст, пол, генетические факторы, использование лонгитюдных исследований для отслеживания изменений БВ в период профессиональной деятельности позволят вносить направленную на оптимизацию БВ коррекцию в медико-биологическое обеспечение, процесс физической подготовки, восстановительные мероприятия, образ жизни.

Цель исследования – провести сравнительный анализ методов определения биологического возраста космонавтов и оценить влияние космического полета на него.

Методы и организация исследования. В исследовании проведен ретроспективный анализ антропометрических показателей и показателей общего и биохимического анализа крови 13 космонавтов-мужчин, КВ которых составлял 41,8±4,3 год. Для определения БВ были использованы показатели космонавтов, полученные до КП. БВ определяли тремя методами:

1. По методу Белозеровой Л.М. [4] БВ определяли по формуле (1):

$$БВ = 82{,}0902 + 0{,}3029М - 0{,}7726ЭГК - 0{,}0097С - 0{,}2332ДП - 0{,}1761ДЛ, (1)$$

где БВ – биологический возраст (условные годы); М – масса тела (кг); ЭГК – экскурсии грудной клетки (см); С – жизненная емкость легких (мл); ДП – динамометрия правой кисти (кг); ДЛ –динамометрия левой кисти (кг).

2. По методу Горелкина А.Г. [8] для определения БВ сначала рассчитывали коэффициент скорости старения для мужчин (КСС) (формула 2):

$$КСС = \frac{ОТ \times МТ}{ОБ \times Р^2 \times (17{,}2 + 0{,}31 \times РЛ + 0{,}0012 \times РЛ^2)}, (2)$$

при этом (формула 3):

$$РЛ = ХВ - 21, (3)$$

где КСС – коэффициент скорости старения для мужчин; РЛ – разница между календарным возрастом и возрастом онтогенетической нормы для мужчин (лет); ОТ – окружность талии (см); МТ – масса тела (кг), ОБ – окружность бедер (см); Р – рост (м); ХВ – хронологический возраст.

Затем определяли БВ по следующей формуле (4), справедливой для мужчин:

$$БВ = КСС \times (КВ - 21) + 21, (4)$$

3. Третьим методом определения БВ был метод, основанный на показателях крови [9]. В данном методе используются десять переменных – показатели общего и биохимического анализа крови и хронологический возраст индивидуума.

Сначала рассчитывали риск смертности j-го индивидуума по следующей формуле (5):

$$\text{MortalityScore}_j = 1 - e^{-e^{x_j b}(\exp(120 \cdot \gamma) - 1)/\gamma}, (5)$$

где xb – линейная комбинация показателей крови (табл. 1).

Таблица 1

Показатели крови и их коэффициенты регрессии

Показатель	Коэффициент регрессии
Альбумин, г/л	-0,0336
Креатинин, мкмоль/л	0,0095
Сывороточная глюкоза, ммоль/л	0,1953
С-реактивный белок (log), мг/дл	0,0954
Доля лимфоцитов, %	-0,0120
Средний объем клеток, Фл	0,0268
Ширина распределения эритроцитов, %	0,3306
Щелочная фосфатаза, ед/л	0,0019
Количество лейкоцитов, 1000 клеток/мкл	0,0554
Возраст, лет	0,0804
Константа	-19,9067
Гамма (γ)	0,0077

Затем полученный риск смертности использовали для определения биологического возраста при помощи уравнения (формула 6):

$$\text{PhenotypicAge}_j = 141.50225 + \frac{\ln(-0.00553 \cdot \ln(1 - \text{MortalityScore}_j))}{0.090165} (6)$$

Для выявления влияния КП на БВ проведен ретроспективный анализ показателей крови, полученной за тридцать суток (L-30) до КП и на первые (R+1), седьмые (R+7), шестидесятые (R+60) сутки после КП.

Обработка результатов исследования выполнена с использованием общепринятых методов математической статистики. Для каждого из исследуемых показателей рассчитывали среднее значение (X) и стандартное отклонение (σ). Значения КВ и БВ, полученные тремя разыми методами, имели нормальное распределение (тест Шапиро-Уилка). Оценка достоверности различий КВ с БВ и БВ по показателям крови до и после КП осуществлялась на основе расчетов t-критерия Стьюдента в программе Microsoft Excel 10.

Тест на согласованность выбранных методов проведен с помощью критерия W Кендалла.

Результаты исследования и их обсуждение. КВ космонавтов на момент начала обследования составлял 41,8±4,3 год. Определение БВ методом Белозеровой Л.М. показало, что средний БВ космонавтов был значительно ниже КВ и составлял 31,6±5,1 год, разница между КВ и БВ в среднем

составляла 10,2±6,6 лет. Определение БВ методом Горелкина А.Г. показало, что средний БВ космонавтов практически соответствовал КВ, был ниже его на 0,8±7,8 года и составлял 41,0±6,1 год. Определение БВ по показателям крови показало, что БВ космонавтов в среднем составлял 36,2±5,9 лет и был ниже КВ на 5,6±4,0 лет.

Сравнение БВ, определенного тремя разными методами (рис. 1.), показало, что БВ, полученный методом Белозеровой Л.М., был достоверно меньше КВ (p=0,04) и БВ, полученного двумя другими методами (p<0,05). БВ, рассчитанный по показателям крови, был больше БВ, полученного методом Белозеровой Л.М. (p=0,04), меньше КВ (p=0,02) и меньше БВ, полученного методом Горелкина А.Г.

Результаты проверки согласованности использованных в исследовании методов определения БВ возраста космонавтов представлены в таблице 2.

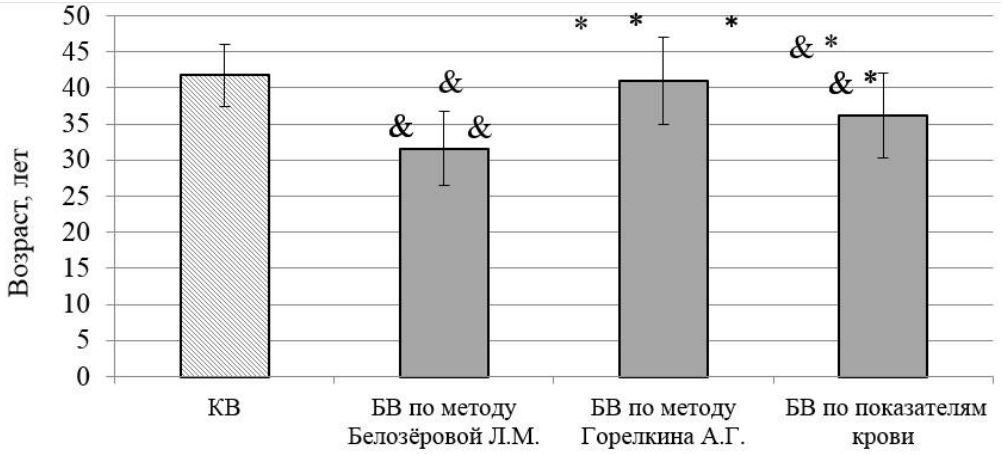


Рис. 1. Биологический возраст космонавтов, рассчитанный тремя разными методами
Примечание: КВ – календарный возраст; БВ – биологический возраст; & – различия достоверны с КВ при p≤0,05; * – различия достоверны с биологическим возрастом, полученным методом Белозеровой Л.М. при p≤0,05.

Таблица 2

Проверка методов определения биологического возраста (БВ) на согласованность

Методы определения БВ / Методы проверки на согласованность	Методы Белозеровой и Горелкина	Методы Горелкина и по показателям крови	Методы Белозеровой и по показателям крови
W Кендалла	1,000	0,309	0,309
Асимптотическая значимость	0,001	0,096	0,096

Анализ результатов показал, что методы Белозеровой Л.М. и Горелкина А.Г., основанные на параметрах физического развития, максимально согласованы между собой и не противоречат, а дополняют друг друга. Если БВ по результатам двух методов значительно различается, можно определить «слабые стороны» физического развития или физической подготовленности обследуемого. Методы Белозеровой Л.М. и Горелкина А.Г. слабо согласованы с методом определения БВ, основанного на показателях крови.

Таким образом, существенные различия в результатах определения БВ разными методами указывают на отсутствие их взаимозаменяемости.

В дальнейшем мы определяли БВ космонавтов по показателям крови до КП и в период реадаптации к условиям Земли после его завершения (рис. 2).

БВ космонавтов, рассчитанный по показателям крови, за 30 суток до КП (L-30) был ниже КВ в среднем на 5,6±4 лет (p=0,02) и составил 36,2±5,9 лет. На первые сутки реадаптации (R+1) БВ значительно увеличился в сравнении с БВ L-30 (p=0,02), прирост составил 6±4,1 лет, и БВ достиг 42,3±5,7 лет. На седьмые сутки реадаптации БВ снизился в среднем на 2,4 года и составил 39,9±5,4 лет, но был достоверно выше БВ L-30. К шестидесятым суткам реадаптации БВ практически достиг дополетных значений и составлял в среднем 37,7±5,2 лет.

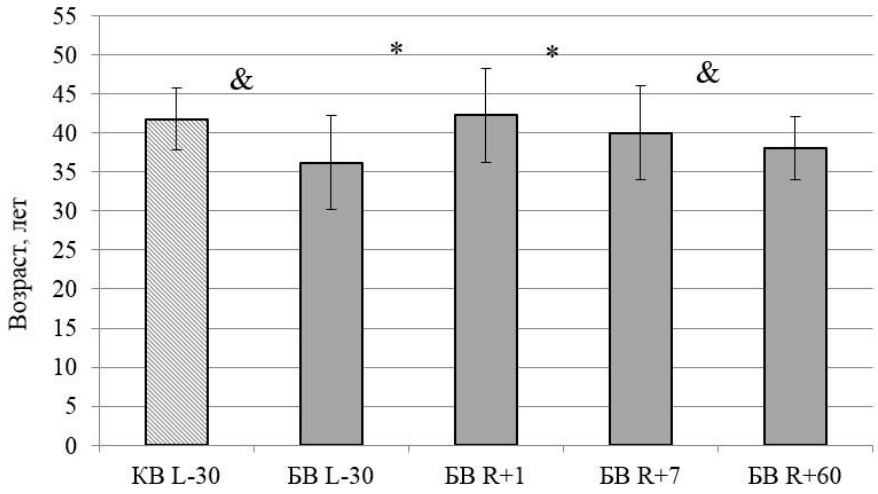


Рис. 2. Динамика биологического возраста космонавтов, рассчитанного по показателям крови, до и после космического полета

Примечание: КВ L-30 – календарный возраст за 30 суток до космического полета; БВ L-30 – биологический возраст за 30 суток до космического полета; БВ R+1 – биологический возраст на первые сутки реадаптации; БВ R+7 – биологический возраст на седьмые сутки реадаптации; БВ R+60 – биологический возраст на шестидесятые сутки реадаптации; & – различия достоверны с КВ L-30 при $p<0,05$; * – различия достоверны с БВ L-30 при $p<0,01$.

Отставание БВ от КВ до КП в очередной раз подтверждает эффективность существующей системы отбора и медико-биологической подготовки космонавтов. «Старение» организма по показателям крови в раннем периоде реадаптиции после КП требует дальнейшего изучения. Предстоит выяснить, что влияет на показатели крови – сам КП или только его заключительный этап. Проведение индивидуальных мероприятий послеполетной реабилитации приводят к достаточно быстрому возврату БВ к предполетным значениям.

Заключение. БВ как интегральный показатель здоровья, физического развития и психоэмоционального состояния может являться маркером профессионального долголетия космонавтов и использоваться во время отбора, на всех этапах подготовки к КП и в период послеполетной реабилитации.

Проверка трех избранных методов на согласованность показала, что методы, основанные на показателях физического развития, можно использовать самостоятельно, т.к. они дополняют друг друга, а метод с использованием показателей крови рекомендуется применять в совокупности с другими методами.

До КП БВ, полученный всеми тремя методами, был ниже КВ. Выявлено увеличение БВ космонавтов после КП, что свидетельствует об ускоренном «старении» космонавтов в раннем периоде реадаптации. В то же время к шестидесятым суткам реадаптации БВ возвращается до предполетных значений, что указывает на общую обратимость изменений, произошедших во время КП. Увеличение БВ в острый период реадаптации необходимо учитывать при планировании и проведении мероприятий послеполетной реабилитации.

Контроль за динамикой БВ даст возможность разработки персонифицированных рекомендаций по:

- применению средств профилактики преждевременного биологического старения;
- применению способов оптимизации БВ космонавтов на всех этапах подготовки к КП и в период послеполетной реабилитации;
- продлению профессионального (космического) долголетия в части коррекции медико-биологического обеспечения, процесса физической подготовки, восстановительных мероприятий и образа жизни космонавтов.

Конфликт интересов. Авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ
1. Ушаков, И.Б. Стресс. Пандемии. Конфликты. Долголетие / И.Б. Ушаков, П.С. Турзин, В.И. Попов. – М.: Наука, 2023. – 272 с.
2. Recent progress in space physiology and aging / F. Strollo, S. Gentile, S. Strollo [et al.] // Frontiers in physiology. – 2018. – No. 9. – 1551 p.
3. Чупина, М.С. Определение биологического возраста у пенсионеров / М.С. Чупина, Н.В. Гудовских, Д.А. Толмачев // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 5-1(83). – С. 108-110.
4. Белозерова, Л.М. Онтогенетический метод определения биологического возраста человека / Л.М. Белозерова // Успехи геронтологии. – 1999. – Т. 3. – С. 143-149.
5. Плакуев, А.Н. Современные концепции старения и оценка биологического возраста человека / А.Н. Плакуев, М.Ю. Юрьева, Ю.Ю. Юрьев // Экология человека. – 2011. – № 4. – С. 17-25.
6. The nature of telomere fusion and a definition of the critical telomere length in human cells / R. Capper, B. Britt-Compton [et al.] // Genes & development. – 2007. – Vol. 21. – No. 19. – P. 2495-2508.
7. Спивак, И.М. Длина теломер, активность теломеразы, стресс и старение / И.М. Спивак, В.М. Михельсон, Д.Л. Спивак // Успехи геронтологии. – 2015. – Т. 28. – № 3. – С. 441-448.
8. Патент RU 2387374 C2 Способ определения биологического возраста человека и скорости старения: N 2008144791/14; заявлено 10.11.2008: опубл. 27.04.2010 / А.Г. Горелкин, Б.Б. Пинхасов.
9. An epigenetic biomarker of aging for lifespan and healthspan / M.E. Levine, A.T. Lu [et al.] // Aging (Albany NY). – 2018. – Vol. 10. – No. 4. – P. 573-591.

REFERENCES
1. Ushakov I.B., Turzin P.S., Popov V.I. Stress. Pandemics. Conflicts. Longevity. Moscow: Nauka, 2023. 272 p. (in Russ.)
2. Strollo F. et al. Recent progress in space physiology and aging. *Frontiers in Physiology*, 2018, no. 9, 1551 p.
3. Chupina M.S. et al. Determination of biological age in pensioners. *International Research Journal*, 2019, no. 5-1(83), pp. 108-110. (in Russ.)
4. Belozerova L.M. Ontogenetic method of people biological age determination. *Advances in Gerontology*, 1999, vol. 3, pp. 143-149. (in Russ.)
5. Plakuev A.N. et al. Modern concepts of ageing and assessment of human biological age. *Human Ecology*, 2011, no. 4, pp. 17-25. (in Russ.)
6. Capper R., Britt-Compton B. et al. The nature of telomere fusion and a definition of the critical telomere length in human cells. *Genes & Development*, 2007, vol. 21, no. 19, pp. 2495-2508.
7. Spivak I.M., Mikhelson V.M., Spivak D.L. Telomere length, telomerase activity, stress and aging. *Advances in Gerontology*, 2015, vol. 28, no. 3, pp. 441-448. (in Russ.)
8. Gorelkin A.G., Pinkhasov B.B. Method for determining biological age and aging rate. Patent for invention RU 2387374 C2, 2010. (in Russ.)
9. Levine M.E., Lu A.T., Quach A. et al. An epigenetic biomarker of aging for lifespan and healthspan. *Aging (Albany NY)*, 2018, vol. 10, no. 4, pp. 573-591.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:
Татьяна Борисовна Кукоба – кандидат педагогических наук, доцент, начальник научно-исследовательской испытательной лаборатории медицинского управления, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок, Московская область; доцент кафедры нормальной физиологии, ФГБОУ ВО «Российский государственный социальный университет», Москва, e-mail: T.Kukoba@gctc.ru.
Константин Владимирович Латарцев – магистрант 2 курса, ФГБОУ ВО МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, e-mail: k.latartsev@gmail.com.
Анастасия Алексеевна Кулишенко – магистрант 2 курса, ФГБОУ ВО МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия, e-mail: aakulishenko2001@mail.ru.
Кирилл Сергеевич Киреев – кандидат медицинских наук, заместитель начальника медицинского управления, ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина», Звездный городок, Московская область, e-mail: K.Kireyev@gctc.ru.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS:
Tat'yana B. Kukoba – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Research and Testing Laboratory, Medical Department, Gagarin State Scientific Research and Testing Cosmonaut Training Center, Zvezdnyj Gorodok, Moscow Region; Associate Professor of the Department of Normal Physiology, Russian State Social University, Moscow, e-mail: T.Kukoba@gctc.ru.
Konstantin V. Latartsev – 2nd year Master's Student, Moscow State University, Moscow, Russia, e-mail: k.latartsev@gmail.com.
Anastasia A. Kulishenko – 2nd year Master's Student, Moscow State University, Moscow, Russia, e-mail: aakulishenko2001@mail.ru.
Kirill S. Kireev – Candidate of Medical Sciences, Deputy Head of the Medical Department, Gagarin State Scientific Research and Testing Cosmonaut Training Center, Zvezdnyj Gorodok, Moscow Region, e-mail: K.Kireyev@gctc.ru.

Для цитирования: Сравнительный анализ методов определения биологического возраста космонавтов и влияния космического полета на него / Т.Б. Кукоба, К.В. Латарцев, А.А. Кулишенко, К.С. Киреев // Современные вопросы биомедицины. – 2025. – Т. 9. – № 3(33). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_7

For citation: Kukoba T.B., Latartsev K.V., Kulishenko A.A., Kireev K.S. Comparative analysis of methods for assessing the biological age of cosmonauts and spaceflight influence on it. *Modern Issues of Biomedicine*, 2025, vol. 9, no. 3(33). DOI: 10.24412/2588-0500-2025_09_03_7