

ОЦЕНКА СООТНОШЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО И КАЛЕНДАРНОГО ВОЗРАСТА КОСМОНАВТОВ ДО И ПОСЛЕ ПОЛУГОДОВОГО ПОЛЕТА НА МКС

Т.Б. Кукоба, В.Г. Назин, К.С. Киреев

Канд. пед. наук, доц. Т.Б. Кукоба; канд. техн. наук, проф. АВН В.Г. Назин;
канд. мед. наук К.С. Киреев (ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина»)

Статья посвящена оценке соотношения биологического и календарного возраста космонавтов до и после полугодового полета на МКС. Оценивалось соотношение этих возрастов за 30 суток до полета, а также на 1, 7, 30 и 60-е сутки после его завершения. Определение биологического возраста проводилось апробированными методами на основании данных медицинских карт космонавтов.

Ключевые слова: космонавт, космический полет, биологический возраст, календарный возраст

**Assessment of the Ratio of Biological and Calendar Age of
Cosmonauts Before and After a Six-Month Spaceflight on the ISS.**

T.B. Kukoba, V.G. Nazin, K.S. Kireev

The paper is devoted to the assessment of the ratio of biological and calendar age of cosmonauts before and after a six-month space flight of the ISS. The ratio of both age indicators was assessed on L-30 days as well as on R +1, R +7, R +30, and R +60 days. Biological age was determined using proven methods based on the data from medical records of cosmonauts.

Keywords: cosmonaut, space flight, biological age, calendar age

На базе ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» проведен ретроспективный анализ медицинских карт 14 космонавтов, выполнивших полугодовой полет на МКС. Биологический возраст каждого из космонавтов определялся известными методами по антропометрическим показателям и биохимическим показателям крови.

Оценка индивидуальных соотношений биологического и календарного возраста космонавтов на различных временных отрезках до и после полета выявила их существенное различие. Данное обстоятельство указывает на целесообразность учета этих соотношений при отборе кандидатов в космонавты, в ходе подготовки космонавтов к полету, при формировании экипажей для полетов на МКС, создаваемую РОС и межпланетных экспедиций, а также при разработке индивидуальных программ послеполетной реабилитации космонавтов.

Оценка средних соотношений биологического и календарного возраста космонавтов позволила выявить общую тенденцию – существенное отставание первого от второго до полета, опережающий рост биологического

возраста во время полета и его ускоренный возврат к предполетному значению после полета. Такая динамика свидетельствует о высоком резервном потенциале организма космонавтов, обеспечивающем полную обратимость их ускоренного биологического старения в полугодовом полете на МКС.

Условия космического полета (КП): напряженный график и трудоемкие операции, циркадные сдвиги, изоляция и ограниченное пространство, агрессивные факторы окружающей среды – оказывают негативное влияние на физическое и ментальное состояние членов экипажа. Эти обстоятельства могут отягощаться продолжительным воздействием невесомости, что приводит к истощению мышечной и костной тканей [1–4], снижению функциональной активности сердечно-сосудистой системы [5, 6], ухудшению нейромышечной реакции [4] и т. д.

Сходные изменения наблюдаются и при постепенном естественном старении организма в земных условиях. Таким образом, можно предположить, что длительный КП ускоряет возрастные изменения космонавтов.

Для обобщенной оценки величины этих изменений целесообразно, на наш взгляд, определять биологический возраст (БВ) космонавтов. БВ является интегральным показателем состояния здоровья, отражающим резервный потенциал, биологические и адаптационные возможности организма человека и имеет тесную связь с профессиональным долголетием [7]. Понятие БВ возникло в результате осознания неравномерности развития, зрелости и старения разных людей как одной из важнейших закономерностей индивидуального развития организма, обуславливающей расхождение между БВ и календарным возрастом (КВ) человека [8, 9].

В этой связи сама по себе оценка БВ космонавтов современного контингента представляет значительный научный и практический интерес. Не меньший интерес представляет и оценка соотношения БВ с КВ космонавтов до и после длительного КП, на основе которой можно обоснованно судить о закономерностях изменений функциональных резервов организма космонавтов в полетном цикле (подготовка к полету, полет, послеполетная реабилитация).

В силу этих обстоятельств оценка соотношения БВ и КВ космонавтов до и после длительного КП является актуальной.

Цель исследования – оценить соотношение БВ и КВ космонавтов до и после полугодового полета на МКС.

Методы исследования

На базе ФГБУ «НИИ ЦПК имени Ю.А. Гагарина» проведен ретроспективный анализ данных медицинских карт 14 космонавтов-мужчин, выполнивших полугодовой полет на МКС в возрасте от 34 до 43 полных календарных лет. Анализировались антропометрические параметры космонавтов, а также биохимические показатели их крови, полученные за 30 суток до полета, а также на 1, 7, 30 и 60-е сутки после его завершения.

Расчет биологического возраста космонавтов осуществлялся методами Л.М. Белозёровой и А.Г. Горелкина по антропометрическим показателям, а также методом определения БВ по биохимическим показателям крови.

Для расчета БВ по антропометрическому методу Л.М. Белозёровой [10] использовалась формула:

$$\text{БВ} = 82,0902 + 0,3029\text{M} - 0,7726\text{ЭГК} - 0,0097\text{C} - 0,2332\text{ДП} - 0,1761\text{ДЛ},$$

где М – масса тела (кг);

ЭГК – экскурсии грудной клетки = ОГК вдох – ОГК выдох (см);

С – жизненная емкость легких (мл);

ДП – динамометрия правой кисти (кг);

ДЛ – динамометрия левой кисти (кг).

Для определения БВ по антропометрическому методу А.Г. Горелкина [11] сначала рассчитывался коэффициент скорости старения для мужчин (КСС) по формуле:

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

где КСС – коэффициент скорости старения для мужчин;

ОТ – окружность талии (см);

М – масса тела (кг);

ОБ – окружность бедер (см);

Р – рост (м);

РЛ – разница между КВ и возрастом онтогенетической нормы для мужчин (РЛ = КВ – 21).

Затем рассчитывался БВ по следующей формуле, справедливой для мужчин:

$$\text{БВ} = \text{КСС} \times \text{РЛ} + 21.$$

Метод определения БВ по биохимическим показателям крови разработан учеными Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского под руководством ведущего европейского геронтолога К. Франчески и запущен как онлайн-сервис «Калькулятор возраста», который использовали для расчета БВ в научных работах [12]. В нем используются десять переменных – биохимические показатели крови.

Сначала рассчитывался риск смертности j -го индивидуума по следующей формуле:

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

где xb – линейная комбинация биохимических показателей (табл.).

Биохимические показатели и их коэффициенты регрессии

Показатель, единицы измерения	Коэффициент
Альбумин, г/л	-0,0336
Креатинин, мкмоль/л	0,0095
Сывороточная глюкоза, ммоль/л	0,1953
C-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 использовался для определения БВ по формуле:

$$\text{БВ} (\text{PhenotypicAg}_j) = 141,50225 + \frac{\ln (-0,00553 \cdot \ln (1 - \text{MortalityScore}_j))}{0,090165}.$$

Для показателей БВ и КВ рассчитывались среднее значение и стандартное отклонение. Достоверность различий между БВ и КВ рассчитывалась с помощью Т-критерия Стьюдента в программе Microsoft Excel – 2010.

Соотношение (Δ_{B}) БВ и КВ каждого из космонавтов рассчитывалось в процентном исчислении по формуле:

$$\Delta_{\text{B}} = \frac{(\text{БВ} - \text{КВ})}{\text{КВ}} \cdot 100 \, \%.$$

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты оценки соотношения БВ и КВ каждого из 14 космонавтов за 30 суток до КП при использовании метода расчета БВ по биохимическим показателям крови представлены на рис. 1.

На этом рисунке наглядно видно, что все исследуемые космонавты за месяц до КП оказались биологически моложе своего КВ, но в разной степени (в среднем на 16,1 %). Например, у космонавта № 1 БВ оказался меньше календарного на 12 лет, у космонавта № 8 – только на 2 года.

При использовании метода Л.М. Белозёровой для расчета БВ результаты оказались еще более оптимистичными: все исследуемые космонавты также оказались биологически моложе своего КВ (в среднем на 18,0 %).



Рис. 1. Процентное соотношение БВ и КВ космонавтов за 30 суток до КП

Использование метода А.Г. Горелкина дало более скромные результаты: в среднем космонавты оказались биологически моложе своего календарного возраста только на 7,3 %, при этом один из них оказался биологически старше своего КВ на 1 год.

Средние процентные соотношения БВ и КВ космонавтов за 30 суток до КП, полученные при использовании различных методов определения БВ, представлены на рис. 2.

Выявленные индивидуальные соотношения БВ и КВ космонавтов за 30 суток до КП свидетельствуют о высоком уровне их здоровья, а также об эффективности действующих систем отбора космонавтов и их подготовки к полету.

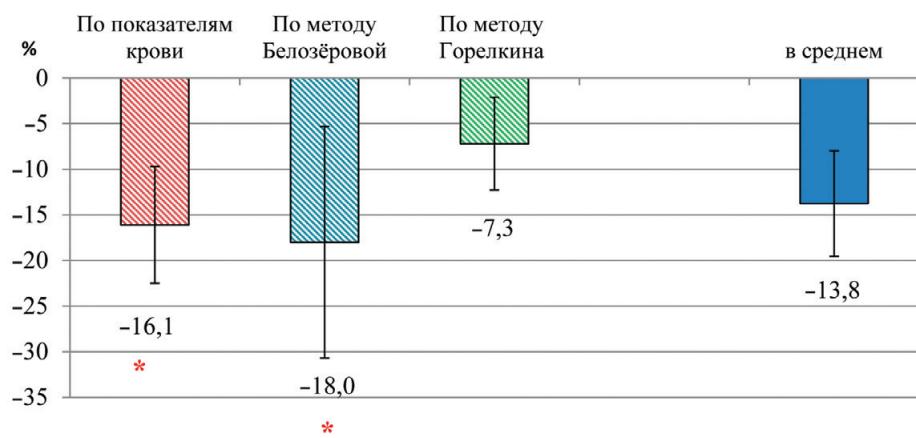


Рис. 2. Средние процентные соотношения БВ и КВ космонавтов за 30 суток до КП при использовании различных методов определения БВ

* – различия достоверны с КВ космонавтов, зарегистрированным за 30 суток до КП при $p < 0,005$

Одновременно эти соотношения указывают на целесообразность их учета при составлении итоговых рейтингов предварительно отобранных претендентов в космонавты. Если окажется, что конкретный претендент биологически существенно старше своего КВ, то в отношении него мы предлагаем дополнительное медицинское обследование. И наоборот, если претендент окажется биологически гораздо моложе своих календарных лет, то применительно к нему можно сделать исключение в плане предельного возраста для отбора. Вероятно, учет соотношения БВ и КВ в качестве дополнительного показателя не будет лишним и в ходе пролонгированного отбора при подготовке космонавтов к полету, формировании экипажей для длительных полетов на МКС, создаваемую РОС и межпланетных экспедиций.

Для определения БВ космонавтов после КП был выбран метод по биохимическим показателям крови. Данный выбор обусловлен тем, что метод А.Г. Горелкина не обеспечил достоверность различия БВ и КВ космонавтов и показал явно заниженные результаты. Метод Л.М. Белозёровой был отклонен ввиду относительно завышенных результатов. Однако важнейшей причиной отказа от дальнейшего использования этих двух методов следует признать недостаточную полноту антропометрических данных космонавтов на разных временных отрезках после КП.

После полета забор крови у космонавтов с определением ее биохимических показателей осуществлялся на 1, 7, 30 и 60-е сутки. Это позволило для указанных отрезков времени рассчитать БВ космонавтов и его процентное соотношение с КВ. Результаты этих расчетов представлены на рис. 3-6.

На рис. 3 видно, что на первые сутки после КП у четырех космонавтов БВ остался меньше КВ. У двух космонавтов БВ и КВ сравнялись, а у восьми БВ превысил КВ. Больше всего БВ вырос за полет у космонавта № 1 – на 15 лет, меньше всего у космонавта № 8 – только на 2 года. Средние значения БВ и КВ в годах представлены на рис. 8.



Рис. 3. Процентное соотношение БВ и КВ космонавтов на 1-е сутки после КП

Рис. 4 показывает, что через неделю после КП уже у девяти космонавтов БВ стал меньше КВ, у двух – сравнялся с ним, а у трех БВ даже вырос (особенно у космонавта № 8). Примечательно, что именно этот космонавт на 5-е сутки после полета выполнил эксперименты с большой физической нагрузкой. Очевидно, что эта нагрузка оказалась для него чрезмерной в острый период реадаптации и привела к существенному истощению организма. Вероятно, условия реадаптации в первую послеполетную неделю у космонавтов № 2 и 7 также были не вполне щадящими.



Рис. 4. Процентное соотношение БВ и КВ космонавтов на 7-е сутки после КП

Рис. 5 демонстрирует процесс быстрого возвращения процентных соотношений БВ и КВ всех космонавтов к своим предполетным значениям в течение первого послеполетного месяца.



Рис. 5. Процентное соотношение БВ и КВ космонавтов на 30-е сутки после КП



Рис. 6. Процентное соотношение БВ и КВ космонавтов на 60-е сутки после КП

Сравнение данных, представленных на рис. 6, с предполетными (см. рис. 1) показывает, что через два месяца после КП у двух космонавтов соотношения БВ и КВ полностью совпали с предполетными значениями, у шести космонавтов отставание БВ от КВ уменьшилось, а у других шести, наоборот, возросло.

Общую тенденцию изменения процентного соотношения БВ и КВ космонавтов на различных временных отрезках до и после КП иллюстрирует рис. 7.

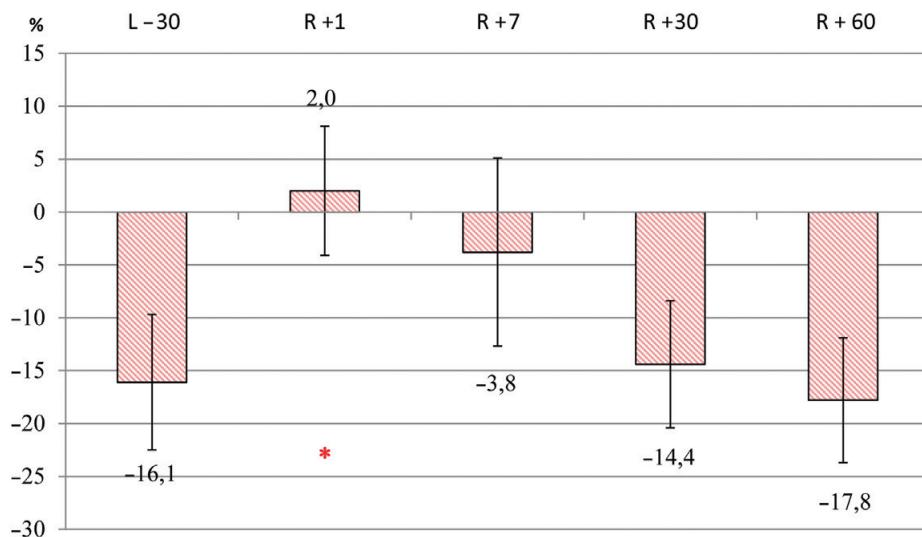


Рис. 7. Средние процентные соотношения БВ и КВ космонавтов за 30 суток до КП (L -30), на 1 (R +1), 7 (R +7), 30 (R +30) и 60-е (R +60) сутки после полета

* – различия достоверны с КВ космонавтов, полученным до КП (L -30) при $p < 0,05$

На этом рисунке видно существенное отставание БВ космонавтов от их КВ до полета (на 16,1 %), опережающий рост БВ во время полета и его ускоренный возврат к предполетному соотношению с КВ в течение двух послеполетных месяцев. При этом среднее процентное отставание БВ космонавтов от предполетного значения даже несколько усугубилось (−17,8 % против −16,1 %).

Эту же динамику среднего соотношения БВ и КВ космонавтов до и после полугодового полета на МКС, но уже в абсолютных значениях этих возрастов отражает рис. 8.

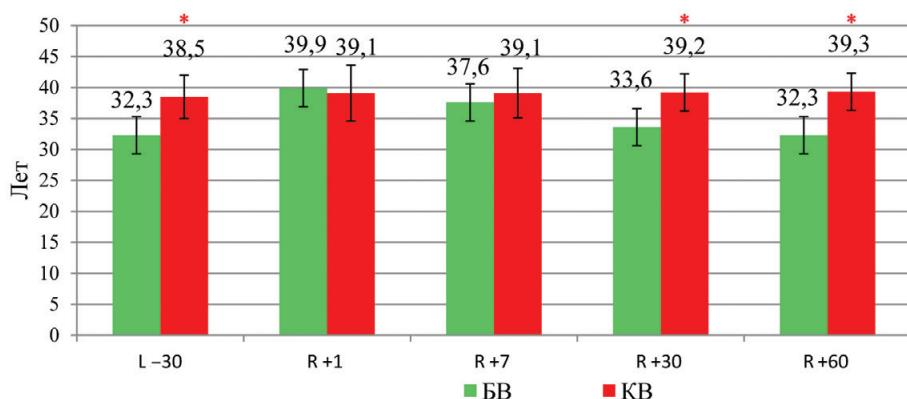


Рис. 8. Средние значения БВ и КВ космонавтов за 30 суток до КП (L –30), на 1 (R +1), 7 (R +7), 30 (R +30) и 60-е (R +60) сутки после полета

* – различия достоверны с КВ космонавтов при $p < 0,05$

На этом рисунке видно, что за 30 суток до полета средний БВ космонавтов (32,3 года) оказался меньше их среднего КВ на 6,2 года. За полугодовой полет на МКС средний БВ космонавтов вырос на 7,6 года и превысил их средний КВ на 0,8 года. Через неделю после КП средний БВ космонавтов снизился на 2,3 года и стал меньше их среднего КВ на 1,5 года. Спустя месяц после полета средний БВ космонавтов снизился на 6,3 года и стал меньше их среднего КВ на 5,6 лет. Через два месяца послеполетный средний БВ космонавтов сравнялся с предполетным значением, отстав от их среднего КВ на семь лет.

То обстоятельство, что спустя два месяца после полугодового полета на МКС космонавты в среднем оказались биологически моложе на 0,8 года, чем за месяц до КП, свидетельствует об их высоком адаптационном потенциале (прежде всего, о высоком потенциале саморегуляции системы крови), а также об эффективности действующей системы послеполетной реабилитации космонавтов. Вполне понятно, что знание соотношений БВ и КВ космонавтов в остром периоде реадаптации к земным условиям может способствовать дальнейшему повышению эффективности этой системы за счет реализации углубленного индивидуального подхода.

Выводы

Проведенная оценка индивидуальных соотношений БВ и КВ космонавтов на различных временных отрезках до и после полугодового полета на МКС выявила их существенное различие. Оценка средних соотношений этих возрастов позволила выявить общую тенденцию – существенное отставание БВ от КВ до полета, опережающий рост БВ во время полета и его ускоренный возврат к предполетному значению после полета. Полученные данные указывают на целесообразность учета соотношений БВ и КВ при отборе кандидатов в космонавты, в ходе подготовки космонавтов к полету, при формировании экипажей для полетов на МКС, создаваемую РОС и межпланетных экспедиций, а также при разработке индивидуальных программ послеполетной реабилитации космонавтов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Оганов, В.С. О механизмах остеопении и особенностях метаболизма костной ткани человека в условиях невесомости / В.С. Оганов, А.И. Григорьев // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2012. – Т. 98, № 3. – С. 395–409.
2. Exercise in Space: Human Skeletal Muscle After 6 Months Aboard the International Space Station / S. Trappe, D. Costill, P. Gallagher [et al.] // Apply Physiol. – 2009. – V. 106, No 4. – P. 1159–1168.
3. Фомина, Е.В. Восстановление силы мышц ног космонавта после длительного космического полета с использованием силового тренажера для частичной компенсации гравитационной разгрузки / Е.В. Фомина, Т.Б. Кукоба // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2019. – Т. 53, № 5. – С. 11–16.
4. Maximal Exercise Performance After Adaptation to Microgravity / B.D. Levine, L.D. Lane, D.E. Watenpaugh [et al.] // Journal of Applied Physiology. – 1996. – 81: 686 – 94.
5. Isokinetic Strength Changes Following Long-Duration Spaceflight on the ISS / K.L. English, S.M.C. Lee, J.A. Loehr [et al.] // Aerospace Medicine and Human Performance. – 2015. – P. 68–77.
6. Григорьев, А.И. Космическая физиология / А.И. Григорьев, А.Н. Потапов // Вестник Российской фонда фундаментальных исследований. – 2017. – № S1. – С. 21–38.
7. Ушаков, И.Б. Стресс. Пандемии. Конфликты. Долголетие / И.Б. Ушаков, П.С. Турзин, В.И. Попов. – Москва: Наука, 2023. – 272 с.
8. Recent Progress in Space Physiology and Aging / F. Strollo [et al.] // Frontiers in Physiology. – 2018. – Vol. 9. – P. 1551.
9. Чупина, М.С. Определение биологического возраста у пенсионеров / М.С. Чупина, Н.В. Гудовских, Д.А. Толмачёв // Международный научно-исследовательский журнал. – 2019. – № 5–1 (83). – С. 108–110.
10. Белозерова, Л.М. Онтогенетический метод определения биологического возраста человека // Успехи геронтологии. – 1999. – Т. 3. – С. 143–149.

11. Патент № 2387374. Способ определения биологического возраста человека и скорости старения: N 2008144791/14; заявл. 10.11.2008: опубл. 27.04.2010 / А.Г. Горелкин, Б.Б. Пинхасов. – 15 с. – Текст: непосредственный.
12. An Epigenetic Biomarker of Aging For Lifespan and Healthspan / M.E. Levine [et al.] // Aging (albany NY). – 2018. – Vol. 10, No 4. – P. 573.

REFERENCES

1. Oganov, V.S. About Machines for Osteopenia and the Peculiarities of Human Bone Tissue Processing in Zero-Gravity Conditions / V.S. Oganov, A.I. Grigor'ev // I.M. Sechenov Physiological Journal. – 2012. – Vol. 98, No 3. – P. 395–409.
2. Exercise in Space: Human Skeletal Muscle After 6 Months Aboard the International Space Station / S. Trappe, D. Costill, P. Gallagher [et al.] // Apply Physiol. – 2009. – Vol. 106, No 4. – P. 1159–1168.
3. Fomina, E.V. Recovery of Cosmonauts' Leg Muscles Strength After a Long Space Flight Using a Strength Training Machine for Partial Compensation of Gravitational Unloading / E.V. Fomina, T.B. Kukoba // Aerospace and Environmental Medicine. – 2019. – Vol. 53, No 5. – P. 11–16.
4. Maximal Exercise Performance After Adaptation to Microgravity / B.D. Levine, L.D. Lane, D.E. Watenpaugh [et al.] // Journal of Applied Physiology. – 1996. – 81: 686 – 94.
5. Isokinetic Strength Changes Following Long-Duration Spaceflight on the ISS / K.L. English, S.M.C. Lee, J.A. Loehr [et al.] // Aerospace Medicine and Human Performance. – 2015. – P. 68–77.
6. Grigoriev, A.I. Space Physiology / A.I. Grigoriev, A.N. Potapov // Bulletin of the Russian Foundation for Basic Research. – 2017. – No S1. – P. 21–38.
7. Ushakov, I.B. Stress. Pandemics. Conflicts. Longevity / I.B. Ushakov, P.S. Turzin, V.I. Popov. – Moscow: Nauka, 2023. – 272 p.
8. Recent Progress in Space Physiology and Aging / F. Strollo [et al.] // Frontiers in Physiology. – 2018. – Vol. 9. – P. 1551.
9. Chupina, M.S. Determination of Biological Age in Pensioners / M.S. Chupina, N.V. Gudovskikh, D.A. Tolmachev // International Research Journal. – 2019. – No 5–1 (83). – P. 108–110.
10. Belozerova, L.M. Ontogenetic Method for Determining Human Biological Age // Advances in Gerontology. – 1999. – Vol. 3. – P. 143–149.
11. Patent No 2387374. Method for Determining the Biological Age of a Person and the Rate of Aging: N 2008144791/14; Application 10.11.2008: Published 27.04.2010 / A.G. Gorelkin, B.B. Pinkhasov. – 15 p. – Text: direct.
12. An Epigenetic Biomarker of Aging for Lifespan and Healthspan / M.E. Levine [et al.] // Aging (albany NY). – 2018. – Vol. 10, No 4. – P. 573.