



DOI: 10.18413/2658-6533-2026-12-3-1-0

УДК 616.71-001.5+616.127-05.8-07

# Прогностические биомаркеры низкоэнергетических переломов среди пациентов старшего возраста

Н.М. Агарков<sup>1,2</sup> , А.С.О. Ибиев<sup>3</sup> , И.М. Федосеев<sup>1</sup> ,  
А.А. Бахарева<sup>1</sup> , Д.Р. Шмарова<sup>1</sup> , А.А. Шорохова<sup>1</sup> , А.Е. Копылов<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup> 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

<sup>3</sup> Общество с ограниченной ответственностью «Лахта Клиника»,  
ул. Савушкина, д. 73/50, г. Санкт-Петербург, 197183, Российская Федерация

Автор для переписки: Н.М. Агарков ([vitalaxen@mail.ru](mailto:vitalaxen@mail.ru))

## Резюме

**Актуальность:** Низкоэнергетические переломы часто встречаются среди пациентов пожилого и старческого возраста, но прогностическая способность отдельных биомаркеров крови в отношении этих переломов остаётся недостаточно изученной. **Цель исследования:** Выявление прогностических биомаркеров низкоэнергетических переломов среди пациентов старшего возраста. **Материалы и методы:** Обследовано 112 пациентов 65 лет и старше, получивших низкоэнергетические переломы бедра, и 109 лиц 65 лет и старше с отсутствием данных переломов. Диагностика низкоэнергетических переломов бедра проведена по данным анамнеза, жалоб, объективных клинических симптомов, рентгенографического исследования. Биохимические показатели крови анализировались в утренние часы до приема пищи по содержанию в сыворотке крови глюкозы, гемоглобина, абсолютного количества лимфоцитов, альбумина, глобулина, прямого билирубина, непрямого билирубина, креатинина, цистатина С. При статистической обработке использованы корреляционный, однофакторный и многофакторный логистический регрессионный анализ, ROC-анализ. **Результаты:** Среди пациентов с низкоэнергетическими переломами бедра статистически значимо ниже среди проанализированных биохимических параметров крови было содержание альбумина до  $33,6 \pm 2,4$  г/л (ниже границ нормы), аполипротеина А до  $0,8 \pm 0,1$  г/л, креатинина до  $0,59 \pm 0,2$  мг/л, непрямого билирубина до  $11,3 \pm 1,2$  мкмоль/л в сыворотке крови. Однако в этой группе по сравнению с лицами без низкоэнергетических переломов бедра достоверно выше уровень липопротеинов низкой плотности (до  $2,76 \pm 0,7$  ммоль/л), цистатина С в сыворотке крови (до  $1,34 \pm 0,3$  мг/л) и сниженный индекс саркопении до  $44,0 \pm 3,8$  ( $p < 0,001$ ). Независимыми прогностическими биомаркерами в многофакторном логистическом регрессионном анализе выявлены низкий уровень альбумина, аполипротеина А, креатинина, повышенный уровень цистатина С в сыворотке крови и сниженный индекс саркопении. ROC-анализ показал высокую прогностическую способность индекса саркопении, содержания креатинина и

цистатина С в сыворотке крови с площадью под кривой 0,847; 0,821 и 0,809 соответственно. **Заключение:** Содержание креатинина, цистатина С, аполипротеина А, альбумина в сыворотке крови и индекс саркопении могут использоваться в качестве прогностических биомаркеров низкоэнергетических переломов бедра среди пациентов старшего возраста.

**Ключевые слова:** низкоэнергетические переломы; переломы бедра; индекс саркопении; люди старшего возраста; прогностические биомаркеры; биохимические параметры крови

**Для цитирования:** Агарков НМ, Ибиев АСО, Федосеев ИМ, и др. Прогностические биомаркеры низкоэнергетических переломов среди пациентов старшего возраста. Научные результаты биомедицинских исследований. 2026;12(3):511-525. DOI: 10.18413/2658-6533-2026-12-3-1-0

## Prognostic biomarkers of low-energy fractures in older patients

Nikolay M. Agarkov<sup>1,2</sup> , Aslanbek S.O. Ibiev<sup>3</sup> , Ilya M. Fedoseev<sup>1</sup> ,  
Arina A. Bakhareva<sup>1</sup> , Diana R. Shmarova<sup>1</sup> , Anastasia A. Shorokhova<sup>1</sup> ,  
Andrey E. Kopylov<sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Southwest State University,

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

<sup>2</sup> Academician S.N. Fyodorov Eye Microsurgery State Institution,

1 Rasskazovskoe Hgw., Tambov, 392000, Russia

<sup>3</sup> Lahta Clinic,

73/50 Savushkina St., Saint Petersburg, 197183, Russia

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

### Abstract

**Background:** Low-energy fractures are common among elderly and senile patients, but the predictive ability of individual blood biomarkers in relation to these fractures remains poorly understood. **The aim of the study:** To identify prognostic biomarkers of low-energy fractures in older patients. **Materials and methods:** 112 patients 65 years of age and older with low-energy hip fractures and 109 patients 65 years of age and older with no fracture data were examined. Diagnosis of low-energy hip fractures was carried out according to medical history, complaints, objective clinical symptoms, and X-ray examination. Biochemical blood parameters were determined in the morning hours before meals by the content of glucose, hemoglobin, absolute number of lymphocytes, albumin, globulin, direct bilirubin, indirect bilirubin, creatinine, and cystatin C in the blood serum. Correlation, univariate, and multifactorial logistic regression analysis, and ROC analysis were used in statistical processing. **Results:** Among patients with low-energy hip fractures, the following biochemical parameters of the blood serum were statistically significant: albumin content up to  $33.6 \pm 2.4$  g/l (below normal limits), apolipoprotein A content up to  $0.9 \pm 0.1$  g/l, creatinine content up to  $0.59 \pm 0.2$  mg/l and indirect bilirubin content up to  $11.3 \pm 1.2$  mmol/l. However, in this group, compared with patients without low-energy hip fractures, the level of low-density lipoproteins (up to  $2.76 \pm 0.7$  mmol/l), serum cystatin C (up to  $1.34 \pm 0.3$  mg/l) and a reduced sarcopenia index to  $44.0 \pm 3.8$  ( $p < 0.001$ ) were significantly higher. Independent prognostic biomarkers in multifactorial logistic regression analysis revealed low levels of albumin, apolipoprotein A, creatinine, elevated serum cystatin C levels and a decreased sarcopenia index. The ROC analysis showed a high predictive ability

of the sarcopenia index, the content of creatinine and cystatin C in blood serum with an area under the curve of 0.847; 0.821 and 0.809, respectively. **Conclusion:** Serum creatinine, cystatin C, apolipoprotein A, albumin, and sarcopenia index can be used as predictive biomarkers of low-energy hip fractures among older patients.

**Keywords:** low-energy fractures; hip fractures; sarcopenia index; older people; prognostic biomarkers; biochemical parameters of blood

**For citation:** Agarkov NM, Ibiev ASO, Fedoseev IM, et al. Prognostic biomarkers of low-energy fractures in older patients. Research Results in Biomedicine. 2026;12(3):511-525. Russian. DOI: 10.18413/2658-6533-2026-12-3-1-0

**Введение.** Низкоэнергетические переломы — это, в соответствии с определением Всемирной организации здравоохранения [1] переломы, возникающие при росте стоя или ниже, а также переломы, вызванные механическими силами, которые обычно не приводят к переломам. К низкоэнергетическим переломам относятся переломы в позвоночнике (позвонках), бедренной кости, лучевой кости, плечевой кости, тазовых костей, рёбер и других костей.

Низкоэнергетические переломы составляют более 90% всех переломов в старших возрастных группах и обычно следуют у них за падениями [2]. Среди низкоэнергетических переломов наиболее часто встречаются переломы бедра среди людей пожилого и старческого возраста [3]. Эти переломы представляют собой растущую проблему здравоохранения в развитых странах, поскольку их частота увеличивается с возрастом населения. Ожидается, что проблема будет усугубляться, поскольку число пожилых людей, доживающих до очень преклонного возраста, в ближайшие десятилетия будет расти. Следовательно, необходимы более эффективные стратегии, направленные на выявление пациентов высокого риска, к которым следует применять более интенсивные профилактические меры [3].

Среди различных факторов риска, способствующих низкоэнергетическим переломам бедра, называется ортостатическая нестабильность, характеризующаяся нарушениями равновесия и гипотонией, способной

привести к внезапной потере контроля над телом [4]. Показано, что ортостатическая гипотензия и повышенная частота сердечных сокращений могут прогнозировать низкоэнергетические переломы, а также имеющиеся данные свидетельствуют о значительной распространённости сердечно-сосудистых и цереброваскулярных сопутствующих заболеваний среди пациентов, получивших низкоэнергетические переломы. Кроме того, некоторые сердечно-сосудистые биомаркеры, такие как копептин, про-предсердный натрийуретический пептид и про-адреномедуллин ассоциированы с низкоэнергетическими переломами бедра.

Возникновение низкоэнергетических переломов бедра ассоциируется с гериатрическими синдромами — мальнутрицией, зрительным дефицитом и саркопенией, а также с такими биомаркерами как уровень фолиевой кислоты, дефицит витамина D [5]. Распространённым гериатрическим состоянием среди пациентов с низкоэнергетическими переломами бедра является саркопения [2, 6], которая встречается у 21-74% у мужчин и 12-68% у женщин, получивших низкоэнергетические переломы бедра [7].

Саркопения, как известно, является возрастным заболеванием, характеризующимся потерей массы и функции скелетных мышц, распространённость которого в общей популяции составляет от 5% до 10% [8]. Саркопения тесно связана с остеопорозом у пожилых людей, что в совокупности увеличивает риск развития падений и

низкоэнергетических переломов бедра [9]. Перелом бедра является серьезной проблемой общественного здравоохранения среди пожилых людей. Исследования показали, что до 83,6% пациентов с переломом бедра могут страдать саркопенией, в зависимости от используемых диагностических критериев [10]. Саркопения связана с плохими послеоперационными результатами, включая более высокие показатели остаточной боли и осложнений, более длительное пребывание в больнице, ухудшение функционального восстановления и повышенную смертность [11]. Например, у пациентов с переломом бедра и саркопенией 5-летняя смертность составляет 82,7%, по сравнению с 52,7% у пациентов без саркопии. Ранняя диагностика и вмешательство при саркопии имеют решающее значение, в то время как существующие диагностические тесты на саркопию, такие как тест ходьбы на 6 метров и тест вставания со стула 5 раз, неприменимы для пациентов с переломом бедра. Поэтому существует потребность в более простых, но эффективных методах скрининга для выявления саркопии у пациентов с переломом бедра.

В связи с ограниченной подвижностью у пациентов с переломом бедра и, как следствие, невозможностью проведения основных тестов, используемых для оценки заболевания, инструментальные методы являются важной частью диагностики, даже если они могут заменить клиническое обследование. Поэтому для выявления саркопии предлагается выявлять массу скелетных мышц с помощью магнитно-резонансной томографии, биоимпедансометрии или компьютерной томографии, но эти методы не всегда доступны для многих пациентов в силу различных причин.

В настоящее время в качестве простого и экономически эффективного суррогатного биомаркера мышечной силы и саркопии предложен индекс саркопии [12]. Однако прогностическая способность

индекса саркопии и некоторых других показателей крови в качестве биомаркеров низкоэнергетических переломов бедра остаётся противоречивой.

**Цель исследования.** Выявление прогностических биомаркеров низкоэнергетических переломов бедра среди пациентов старшего возраста.

**Материалы и методы исследования.** Исследование проведено среди пациентов 65 лет и старше, получивших низкоэнергетические переломы бедра, и среди людей 65 лет и старше с отсутствием низкоэнергетических переломов бедра. Поэтому критериями включения служили возраст пациентов 65 лет и старше, низкоэнергетический перелом бедра, легкие когнитивные нарушения, амбулаторное и стационарное лечение, наличие письменного согласия на участие в исследовании.

Критериями невключения являлись возраст менее 65 лет, тяжелые когнитивные нарушения, синдром старческой астении, соматические заболевания в стадии декомпенсации, новообразования костей и суставов, острые инфекционные заболевания, перенесенный острый инфаркт миокарда, острое нарушение мозгового кровообращения в последние полгода.

Критериями исключения являлись переезд пациента в другую территорию, смерть пациента, развитие жизнеугрожающих осложнений, потеря связи с пациентами.

Диагностика низкоэнергетических переломов осуществлялась путем многопланового диагностического обследования пациентов с изучением анамнеза, клинических субъективных и объективных симптомов, выполнения рентгенографического исследования и в соответствии с Клиническими рекомендациями «Патологические переломы, осложняющие остеопороз» [13].

С учетом вышеназванных критериев включения и исключения сформированы две клинические группы: основная – пациенты с низкоэнергетическими

переломами бедра, контрольная – с отсутствием низкоэнергетических переломов бедра.

Сведения о медико-демографических характеристиках пациентов получены путем опроса пациентов и извлечения необходимой информации из официальной медицинской документации. Эти характеристики предусматривали регистрацию возраста, пола пострадавших, наличия падений в анамнезе, наличия других переломов в анамнезе, заболеваемости артериальной гипертензией, сахарным диабетом 2-го типа, ишемической болезнью сердца, болезнями почек, оценку индекса массы тела, индекса коморбидности.

Сравнение медико-демографических характеристик участников двух выделенных групп выявило, что пациенты, получившие низкоэнергетические

переломы бедра, отличались от участников контрольной группы по таким критериям как пол пациентов, наличие синдрома падений за последний год, наличие других переломов за последний год, наличие сопутствующей артериальной гипертензии и ишемической болезни сердца. В частности, среди пациентов основной группы преобладали женщины, достоверно выше частота синдрома падений, других переломов за год, а также распространенность артериальной гипертензии и ишемической болезни сердца. По другим анализированным медико-демографическим характеристикам статистически значимых различий не установлено, в том числе по распространенности сахарного диабета 2-го типа, заболеваний почек, индексам полипрагмазии и коморбидности (табл. 1).

Таблица 1

**Основные медико-демографические характеристики участников исследования ( $\pm$ SD)**

Table 1

**The main medical and demographic characteristics of the study participants ( $\pm$ SD)**

| Характеристики пациентов                            | Лица с отсутствием низкоэнергетических переломов бедра, n=109 | Пациенты с низкоэнергетическими переломами бедра, n=112 | p     |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------|
| Возраст, лет                                        | 73,4 $\pm$ 6,9                                                | 74,9 $\pm$ 8,6                                          | >0,05 |
| Мужчины, абс.ч./%                                   | 64/58,7 $\pm$ 7,1                                             | 42/37,5 $\pm$ 3,2                                       | <0,01 |
| Женщины, абс.ч./%                                   | 45/41,3 $\pm$ 3,6                                             | 70/62,5 $\pm$ 5,9                                       | <0,01 |
| Наличие синдрома падений за последний год, абс.ч./% | 22/20,2 $\pm$ 3,0                                             | 38/33,9 $\pm$ 4,2                                       | <0,01 |
| Наличие других переломов за последний год, абс.ч./% | 18/16,5 $\pm$ 2,7                                             | 32/28,6 $\pm$ 2,2                                       | <0,01 |
| Индекс массы тела, кг/м <sup>2</sup>                | 24,2 $\pm$ 2,4                                                | 22,9 $\pm$ 2,4                                          | >0,05 |
| Индекс коморбидности, абс.ч.                        | 4,1 $\pm$ 0,7                                                 | 4,3 $\pm$ 0,8                                           | >0,05 |
| Артериальная гипертензия, абс.ч./%                  | 38/34,9 $\pm$ 3,3                                             | 54/48,2 $\pm$ 4,5                                       | <0,01 |
| Ишемическая болезнь сердца, абс.ч./%                | 20/18,3 $\pm$ 2,6                                             | 42/37,5 $\pm$ 3,2                                       | <0,01 |
| Сахарный диабет, абс.ч./%                           | 14/12,8 $\pm$ 2,5                                             | 22/19,6 $\pm$ 2,0                                       | >0,05 |
| Заболевания почек, абс.ч./%                         | 7/6,4 $\pm$ 1,3                                               | 10/8,9 $\pm$ 1,1                                        | >0,05 |
| Индекс полипрагмазии, абс.ч.                        | 3,2 $\pm$ 0,9                                                 | 3,8 $\pm$ 0,7                                           | >0,05 |

Биохимические исследования предусматривали изучение в утренние часы до приема пищи содержания в сыворотке крови глюкозы, гемоглобина, абсолютного количества лимфоцитов, альбумина, глобулина, прямого билирубина, непрямого билирубина, креатинина, цистатина С. На основе содержания в

сыворотке крови креатинина и цистатина С производился расчет индекса саркопении по общепринятой методике как отношение сывороточного креатинина к цистатину С, умноженное на 100 [12]. Сывороточный креатинин определялся определялась методом Яффе (с пикриновой кислотой), цистатин С – иммуноферментным методом

с использованием тест-систем Human Cystatin C ELISA фирмы BioVendor фирмы BioPorto, а другие биохимические показатели – на автоматическом анализаторе «KoneLab».

Исследование выполнено с соблюдением этических норм и принципов Хельсинской декларации.

При анализе статистических данных использованы стандартный статистический пакет «Statistica 17.0», персональный компьютер, корреляционный, однофакторный и многофакторный логистический регрессионный анализ, ROC-анализ по общепринятым методикам.

Для обработки полученных результатов применялись непараметрические критерии Шапиро-Уилка и Манна-Уитни. При статистическом анализе данных выполнялось попарное сравнение исследованных биохимических и медико-демографических показателей по критерию Манна-Уитни. Различие считалось статистически значимым при  $p < 0,05$ .

## Результаты и их обсуждение.

Сравнительная оценка биохимических показателей в сформированных клинических группах выявила статистически значимые различия по большинству из них (табл. 2). При этом наиболее существенно пациенты различались по содержанию в сыворотке крови аполипротеина А, уровень которого в 1,50 раза ниже среди пациентов, получивших низкоэнергетические переломы бедра. Среди последних оказался статистически значимо ниже уровень альбумина в сыворотке крови ( $p < 0,05$ ). Содержание креатинина, как и названных двух биохимических параметров, оказалось также ниже в группе пациентов, получивших низкоэнергетические переломы бедра. Однако уровень цистатина С в сыворотке крови пациентов с низкоэнергетическими переломами бедра превышал таковой пациентов группы сравнения.

Таблица 2

### Биохимические параметры крови у пациентов с низкоэнергетическими переломами бедра ( $M \pm SD$ )

Table 2

#### Biochemical blood parameters in patients with low-energy hip fractures ( $M \pm SD$ )

| Биохимический параметр       | Пациенты с отсутствием низкоэнергетических переломов бедра | Пациенты с низкоэнергетическими переломами бедра | p      |
|------------------------------|------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------|
| Альбумин, г/л                | 42,4±4,6                                                   | 33,6±2,4                                         | <0,05  |
| Аполипротеин А, г/л          | 1,2±0,2                                                    | 0,8±0,1                                          | <0,001 |
| ЛПНП, ммоль/л                | 2,31±0,4                                                   | 2,76±0,7                                         | <0,05  |
| Гемоглобин, г/л              | 106,4±6,9                                                  | 105,2±7,2                                        | >0,05  |
| Прямой билирубин, мкмоль/л   | 5,2±6,3                                                    | 5,4±5,8                                          | >0,05  |
| Непрямой билирубин, мкмоль/л | 14,8±1,6                                                   | 11,3±1,2                                         | <0,001 |
| Креатинин, мг/л              | 0,78±0,4                                                   | 0,59±0,2                                         | <0,01  |
| Цистатин С, мг/л             | 1,01±0,2                                                   | 1,34±0,3                                         | <0,01  |
| Индекс саркопении, отн.ч.    | 77,2±5,1                                                   | 44,0±3,8                                         | <0,001 |

Среди пациентов, получивших низкоэнергетические переломы бедра, выявлен достоверно более высокий уровень ЛПНП, хотя это различие было менее существенным, чем для ранее рассмотренных биохимических показателей. Более высокий уровень

цистатина С и сниженный уровень креатинина в сыворотке крови у пациентов с низкоэнергетическими переломами бедра повлиял на то, что у них индекс саркопении оказался в 1,75 раза ниже достоверно, чем у людей, не имевших низкоэнергетические переломы бедра.

Определение прогностической способности изученных биохимических показателей крови посредством однофакторного и многофакторного

логистического регрессионного анализа с расчетом величин отношения шансов (ОШ) и 95% доверительных интервалов (ДИ) представлено в таблице 3.

Таблица 3

**Прогностическая способность биохимических показателей крови в получении низкоэнергетических переломов**

Table 3

**Predictive ability of blood biochemical parameters in obtaining low-energy fractures**

| Биохимический показатель | Однофакторный анализ |             |       | Многофакторный анализ |             |       |
|--------------------------|----------------------|-------------|-------|-----------------------|-------------|-------|
|                          | ОШ                   | 95% ДИ      | p     | ОШ                    | 95% ДИ      | p     |
| Альбумин                 | 1,784                | 1,511-2,109 | 0,008 | 1,725                 | 1,643-2,017 | 0,003 |
| Аполипротеин А           | 1,668                | 1,364-1,978 | 0,007 | 1,677                 | 1,425-1,914 | 0,005 |
| ЛПНП                     | 0,875                | 0,709-0,963 | 0,104 |                       |             |       |
| Гемоглобин               | 0,364                | 0,028-0,541 | 0,915 |                       |             |       |
| Прямой билирубин         | 0,219                | 0,005-0,367 | 0,868 |                       |             |       |
| Непрямой билирубин       | 0,741                | 0,516-0,908 | 0,217 |                       |             |       |
| Креатинин                | 1,865                | 1,624-2,132 | 0,012 | 1,861                 | 1,715-2,229 | 0,011 |
| Цистатин С               | 1,904                | 1,786-2,243 | 0,004 | 1,889                 | 1,734-2,198 | 0,002 |
| Индекс саркопении        | 2,239                | 2,118-2,645 | 0,003 | 2,233                 | 2,137-2,518 | 0,002 |

Рассчитанные величины отношения шансов в однофакторном логистическом регрессионном анализе показывают, что возникновению низкоэнергетических переломов бедра в наибольшей степени способствует индекс саркопении, повышающий их риск в 2,24 раза. Высокий риск получения низкоэнергетических переломов бедра также ассоциирован с составляющими индекса саркопении – с содержанием в сыворотке крови креатинина и цистатина С. Возникновение низкоэнергетических переломов ассоциировано в значительной степени со сниженным уровнем альбумина и аполипротеина А в сыворотке крови с достоверными доверительными интервалами. Другие изученные биохимические показатели крови (содержание ЛПНП, прямого билирубина, уровень гемоглобина) не оказывали статистически значимого влияния на возникновение низкоэнергетических переломов у людей старшего возраста.

В многомерном логистическом регрессионном анализе биохимические показатели, оказывающие достоверное влияние на риск получения низкоэнергетического перелома бедра,

согласно однофакторной логистической регрессии, сохранили свою значимость в повышении риска получения низкоэнергетических переломов. При этом величина отношения шансов аполипротеина А незначительно возросла. Однако величины отношения шансов всех других биохимических показателей – альбумина, креатинина, цистатина С и индекса саркопении несущественно уменьшились, сохранив достоверное влияние с 95% доверительными интервалами.

Корреляционный анализ выявил высокую обратную корреляционную связь между содержанием креатинина и цистатина С в сыворотке крови (рис. 1), что свидетельствует о разнонаправленном их влиянии на возникновение низкоэнергетических переломов бедра. Риск возникновения последних увеличивается при снижении креатинина в сыворотке крови и, наоборот, при повышении цистатина С в сыворотке крови.

Высокая прогностическая способность индекса саркопении, содержания креатинина и цистатина С в сыворотке крови подтверждена ROC-анализом (рис. 2).

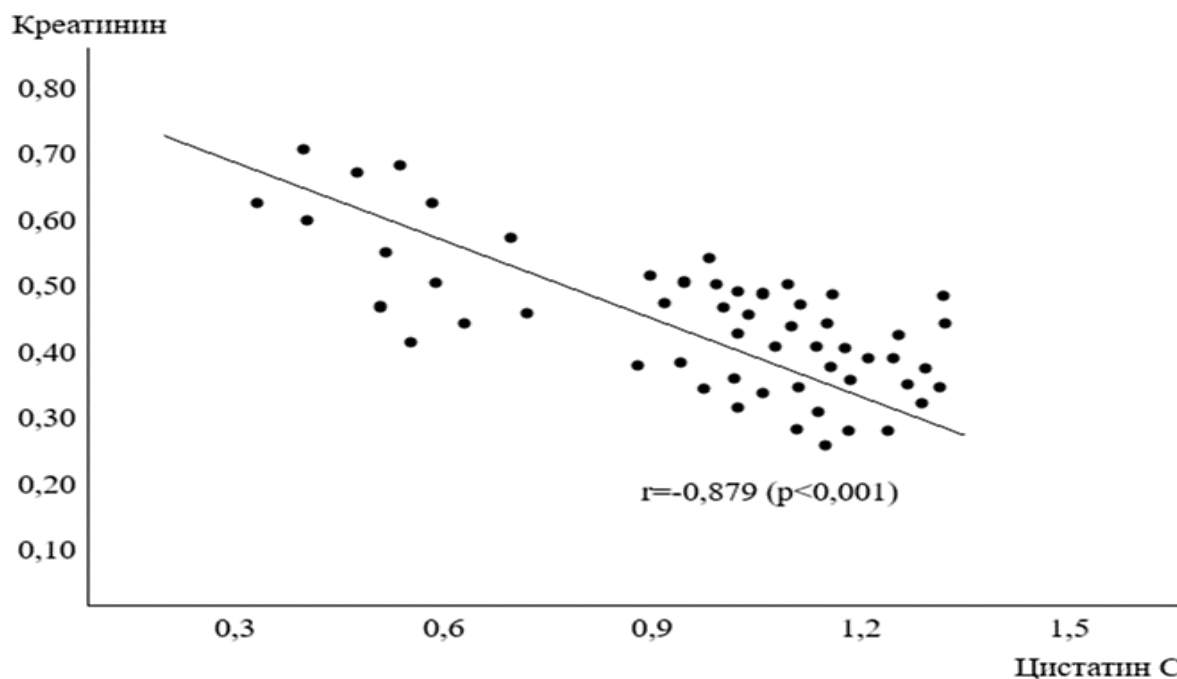


Рис. 1. Корреляционная связь между содержанием креатинина и цистатина С в сыворотке крови у пациентов с низкоэнергетическими переломами

Fig. 1. Correlation between serum creatinine and cystatin C in patients with low-energy fractures

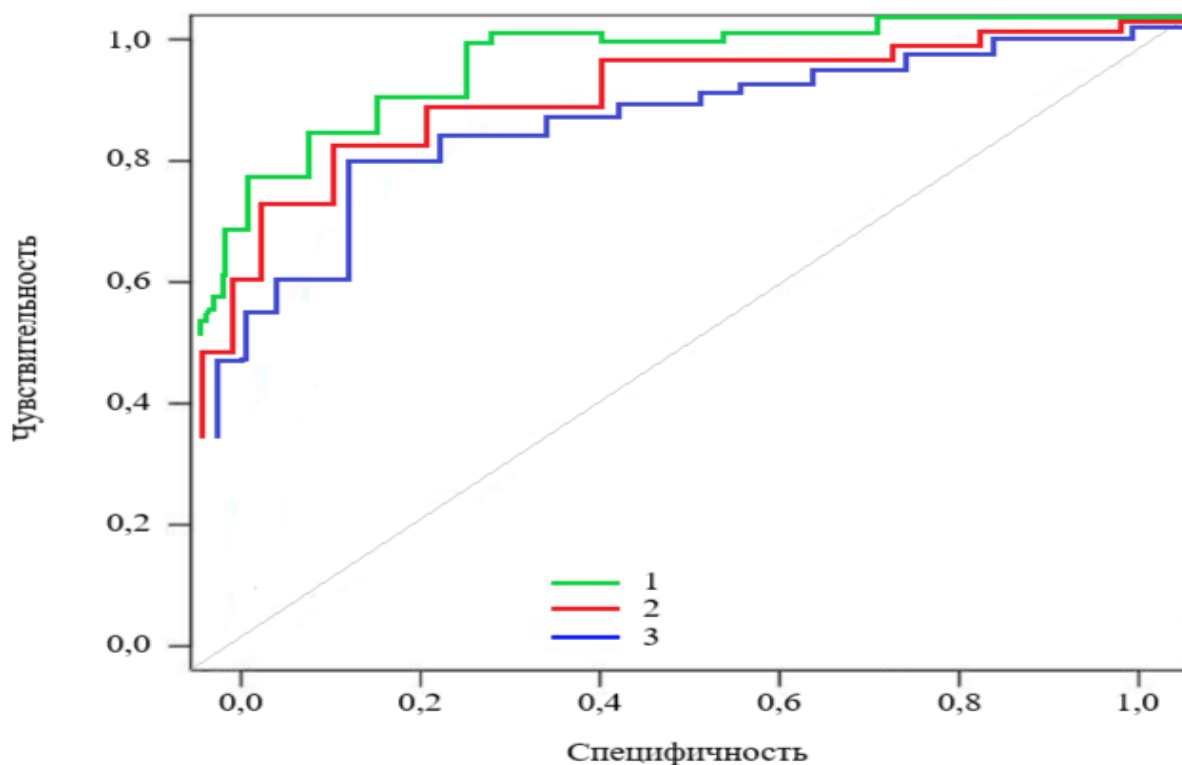


Рис. 2. Площадь под кривой для прогнозирования низкоэнергетических переломов по индексу саркопении (1), содержанию креатинина (2) и цистатина С (3) в сыворотке крови

Fig. 2. The area under the curve for predicting low-energy fractures based on the sarcopenia index (1), creatinine (2) and cystatin C (3) levels in blood serum

Значения площади под кривой составили для индекса саркопении 0,847, для содержания креатинина в сыворотке крови – 0,821 и содержания цистатина С в сыворотке крови – 0,809. Такие величины площади под кривой свидетельствуют о высокой прогностической способности содержания креатинина, цистатина С в сыворотке крови, индекса саркопении в получении низкоэнергетических переломов бедра. Прогностическая способность уровня альбумина и аполипротеина А в сыворотке крови по показателю площади под кривой незначительно ниже и составляет соответственно 0,764 и 0,705, что указывает на умеренную их прогностическую способность в отношении получения низкоэнергетических переломов бедра.

Ранее показано, что индекс саркопении может прогнозировать предоперационные и функциональные результаты в послеоперационном периоде у пациентов с сердечной недостаточностью и перенесшими хирургическое лечение переломов бедра [14], аналогичными по возрасту нашей клинической группы. У пациентов с сердечной недостаточностью индекс саркопении коррелировал с предоперационной способностью к ходьбе и мог прогнозировать послеоперационную способность к ходьбе. Так, индекс саркопении в предоперационном периоде в группе пациентов, самостоятельно передвигающихся, и в группе пациентов, передвигающихся с помощью вспомогательных средств (трость, поручни, ходунки) значительно различался ( $70,2 \pm 12,4$  и  $60,1 \pm 9,8$  соответственно,  $p < 0,000001$ ). Через 2 недели после операции индекс саркопении был значительно выше в группе самостоятельного передвижения ( $73,0 \pm 14,9$ ), чем в группе с помощью вспомогательных средств ( $64,0 \pm 10,7$ ) ( $p = 0,0003$ ). В предоперационном периоде самостоятельно передвигались 28 человек и могли ходить самостоятельно после операции, в то время как 49 нуждались в помощи ( $p = 0,01$ ). У пациентов с переломом

шейки бедренной кости индекс саркопении был значительно выше в группе пациентов, самостоятельно передвигавшихся после операции ( $78,6 \pm 15,7$ ), чем в группе пациентов, получавших послеоперационную помощь ( $63,2 \pm 10,9$ ,  $p = 0,002$ ). Логистический регрессионный анализ показал, что отношение шансов для послеоперационной способности к ходьбе составило 0,95 ( $0,91 - 0,99$ ,  $p = 0,03$ ). Корреляции индекса саркопении со значениями компьютерной томографии и площадями поперечного сечения были следующими: подвздошно-поясничная мышца в области верхушки головки бедренной кости ( $r = 0,40$ ,  $p < 0,001$  и  $r = 0,49$ ,  $p < 0,001$  соответственно); прямая мышца бедра ( $r = 0,26$ ,  $p = 0,007$  и  $r = 0,37$ ,  $p < 0,001$  соответственно) [14].

Индекс саркопении был независимо связан с массой скелетных мышц, силой и обычной скоростью походки у пациентов с хронической болезнью почек, не находящихся на диализе. Коэффициенты корреляции с показателями мышечной массы и дискриминационная способность индекса саркопении в отношении саркопении были аналогичны изменения 24-часового уровня креатинина в моче.

Оценка экскреции креатинина с мочой остается наиболее надежным маркером для прогнозирования массы скелетных мышц. У пациентов с хронической болезнью почек низкая экскреция креатинина с мочой связана со снижением массы скелетных мышц и повышенным риском смертности. Показана умеренная корреляция экскреции креатинина с мочой с массой и силой скелетных мышц у пациентов с хронической болезнью почек [15].

Продemonстрировано также, что индекс саркопении независимо предсказывает массу скелетных мышц, мышечную силу и физическую работоспособность на поздней стадии хронической болезни почек, даже после тщательной корректировки потенциальных факторов, влияющих на результат. Пороговые значения для индекса

саркопении показали высокую прогностическую ценность, что предполагает его потенциальное использование для скрининга саркопении у пациентов с поздней стадией хронической болезни почек. Кроме того, установлена тесная связь между низким индексом саркопении и смертностью от всех причин – у пациентов в группе с низким индексом саркопении риск смертности был в три раза выше после полной корректировки факторов риска по сравнению с пациентами в группе с нормальным индексом саркопении [15].

Саркопения увеличивает общий риск переломов бедра, но в некоторых исследованиях эта связь не была подтверждена. Учитывая противоречивые результаты текущих исследований, существует острая необходимость изучения того, что увеличивает ли саркопения риск будущих переломов бедра. Недавний метаанализ также показал, что саркопения увеличивает риск падений и низкоэнергетических переломов бедра. Взаимосвязь между саркопенией и риском перелома бедра может быть объяснена несколькими способами. Во-первых, саркопения может приводить к таким переломам, увеличивая риск падений. В частности, люди с низкой мышечной массой, как правило, имеют низкую мышечную массу и физическую силу, что, в свою очередь, увеличивает риск падений. Склонность к падениям у лиц с саркопенией может привести к переломам вследствие хрупкости костей. Во-вторых, снижение минеральной плотности костной ткани является общепризнанным предиктором переломов и является целью вмешательств, направленных на снижение риска остеопоротических переломов. Обнаружено, что некоторые пациенты страдают как саркопенией, так и остеопорозом и несколько исследований показали, что пациенты с диагнозом остеопороз и саркопения, так называемый «саркоостеопороз», имеют более высокий риск падений и низкоэнергетических переломов [16].

Саркопения чаще связана с риском переломов бедра у женщин, но эта связь не была менее значимой у мужчин при проведении анализа подгрупп по полу, поскольку пожилые женщины более подвержены саркопении из-за менопаузальной функции яичников и низкого уровня  $17\beta$ -эстрадиола, ускоряющего возрастное ухудшение состояния мышц. Кроме того, пожилые женщины в постменопаузальном периоде быстро теряют костную массу из-за снижения уровня эстрогена и могут быть более уязвимы к низкоэнергетическим переломам [16].

Индекс саркопении может выступать прогностическим маркером риска послеоперационных осложнений при хирургическом лечении низкоэнергетических переломов бедра у пожилых людей [3]. Среди наблюдаемых осложнений наблюдались пневмония, инфекции мочевыводящих путей, дыхательная недостаточность, сердечная недостаточность, которые встречались у 12%, 1,8%, 1,5%, 1,6% пациентов в целом. В группе эндопротезирования суставов частота пневмонии была значительно связана с индексом саркопении. Однако не было существенных различий в частоте инфекций мочевыводящих путей, дыхательной недостаточности, сердечной недостаточности между группами с низким и высоким индексом саркопении ни в общей группе пациентов, ни в группах внутренней фиксации или эндопротезирования суставов. Не было выявлено существенных различий в корреляциях между индексом саркопении и риском инфекций мочевыводящих путей, дыхательной недостаточности, сердечной недостаточности у пациентов, перенесших внутреннюю фиксацию или эндопротезирование сустава.

Индекс саркопении у пациентов с низкоэнергетическими переломами бедра связан с общей смертностью [17] как в одномерном, так и в многомерном регрессионном анализе Кокса. Одномерный регрессионный анализ Кокса показал, что

возраст, С-реактивный белок, альбумин, расчетная скорость клубочковой фильтрации и индекс саркопении значимо связаны со смертностью и значимые переменные в одномерном анализе Кокса ( $p < 0,05$ ) были включены в многомерный регрессионный анализ Кокса. Однако в многомерной модели только возраст ( $OR=1,07$ ; 95% ДИ=1,04–1,10,  $P < 0,001$ ) и индекс саркопении ( $OR=0,98$ , 95% ДИ=0,95–0,99,  $P=0,018$ ) являлись независимыми факторами смертности от всех причин у пациентов с низкоэнергетическим переломом бедра. Результаты регрессионных моделей выявили значимую связь между индексом саркопении и повторными переломами бедра как в нескорректированной ( $OR=0,96$ , 95% ДИ=0,95–0,98,  $P < 0,001$ ), так и в скорректированной с учетом демографических данных ( $OR=0,97$ , 95% ДИ=0,95–0,99,  $P=0,004$ ), а также в полностью скорректированной моделях ( $OR=0,97$ , 95% ДИ=0,94–0,99,  $P=0,018$ ). Обнаружена почти линейная зависимость между индексом саркопении и общим риском смерти, и общий риск смерти снижался с увеличением индекса саркопении.

У пациентов с низкоэнергетическими переломами бедра обнаружено, что плотность мышц по данным компьютерной томографии связана со смертностью. Однако некоторые исследования также показывают, что плотность и площадь мышц не имеют отношения к смертности в течение года, хотя большинство предыдущих исследований оценивали саркопению на основе потери мышечной массы и количества (площадь поперечного сечения) по данным компьютерной томографии, индекс саркопении являлся самым простым и наименее инвазивным методом оценки функции мышц, поскольку анализ крови перед операцией является обязательным.

Примечательно, что индекс саркопении обладает рядом клинических преимуществ, так как это экономически

эффективный и легкодоступный биомаркер, поскольку как креатинин, так и цистатин С обычно измеряются в клинической практике и это делает индекс саркопении особенно ценным в условиях ограниченных ресурсов, где недоступны передовые методы визуализации, например, компьютерная томография или биоимпедансометрия.

Более того, сообщается, что скорость клубочковой фильтрации, рассчитанная по уровню креатинина в сыворотке крови, выше у пациентов с сердечной недостаточностью и сниженной массой скелетных мышц [14]. Учитывая высокую распространённость саркопении у пациентов с сердечной недостаточностью, указывается на необходимость определения концентрации цистатина С в сыворотке крови у пациентов с сердечной недостаточностью при подготовке к операции по поводу низкоэнергетических переломов бедра. Нами же установлена важность оценки содержания уровня цистатина С и креатинина в сыворотке крови для прогнозирования низкоэнергетических переломов, что позволит выделить пациентов с содержанием цистатина С 1,34 мг/л и выше и креатинина 0,59 мг/л и менее в группу повышенного риска с реализацией в ней целевых профилактических мероприятий.

Наряду с этим нами предлагается использование также индекса саркопении для прогнозирования низкоэнергетических переломов бедра. Прогностическая способность индекса саркопении, равно как и указанных ранее содержания креатинина и цистатина С в сыворотке крови подтверждена в многофакторном логистическом регрессионном анализе и ROC-анализе, для которых площадь под кривой была высокой – от 0,809 до 0,847. Тем более, что индекс саркопении значительно коррелирует с изменениями мышечной массы, полученными с помощью компьютерной томографии. Например, исследование с участием пациентов на трансплантацию лёгких

выявило значительную корреляцию между индексом саркопении и площадью поперечного сечения скелетных мышц на определенных уровнях позвонков (L2 и L3), что указывает на его эффективность в качестве метода измерения мышечной массы [18].

Несколько других исследований [19, 20] подтвердили, что индекс саркопении коррелирует с массой скелетных мышц, измеренной посредством двухэнергетической рентгенологической абсорбциометрии и может прогнозировать саркопению у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа и служить потенциально ценным биомаркером для прогнозирования неблагоприятных исходов, побочных эффектов лечения и переломов. Поэтому мы считаем, что индекс саркопении является надежным биомаркером для прогнозирования низкоэнергетических переломов бедра, наряду с другими биохимическими маркерами крови, такими как сниженное содержание альбумина, аполипротеина А.

Гипоальбуминемия связана с ограниченной функциональностью пациентов до операции по поводу низкоэнергетических переломов бедра и прогнозирует плохие функциональные исходы, но концентрация альбумина в пределах нормы положительно коррелирует с предоперационной и послеоперационной способностью к ходьбе после хирургического лечения низкоэнергетических переломов бедра [14]. Содержание альбумина в сыворотке крови у зависимых пациентов, прошедших хирургическое лечение низкоэнергетических переломов бедра, составляло  $3,4 \pm 0,5$  г/дл, что достоверно ( $p=0,0006$ ) ниже, чем у независимых к передвижению пациентов с аналогичными переломами. Однако по содержанию лимфоцитов в крови между сравниваемыми двумя группами пациентов с хирургическим лечением низкоэнергетических переломов бедра достоверных различий не выявлено, хотя содержание лимфоцитов и альбуминов в

крови позволяет оценить уровень питания пациентов, выявить мальнутрицию, способствующую саркопении.

**Заключение.** Среди изученных биохимических показателей крови прогностически значимыми в отношении получения низкоэнергетических переломов бедра, в соответствии с результатами многофакторной логистической регрессии являются сниженные уровни альбумина до 33,6 г/л и менее, аполипротеина А до 0,8 г/л и менее, креатинина до 0,59 мг/л и менее в плазме крови, повышенное содержание цистатина С в сыворотке крови и низкий индекс саркопении. При этом содержание креатинина, цистатина С в сыворотке крови и индекс саркопении обладают высокой прогностической способностью, а уровни альбумина и аполипротеина А – умеренной прогностической ценностью. Поэтому содержание креатинина, цистатина С, альбумина, аполипротеина А в сыворотке крови и индекс саркопении могут использоваться как прогностические биомаркеры низкоэнергетических переломов среди пациентов старшего возраста.

### 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. Härstedt M, Holmberg A, Rogmark C, et al. Cardiovascular biomarkers and risk of low-energy fractures among middle-aged men and women-A population-based study. PLoS ONE. 2018;13(9):e0203692. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203692>
2. Sheng R, Song M, Xie T, et al. Sarcopenia index is a superior prognostic marker to creatinine-

cystatin C ratio in older adults with hip fracture. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2025;21(1):30. DOI:

<https://doi.org/10.1186/s13018-025-06540-2>

3. Chen X, Shen Y, Hou L, et al. Sarcopenia index based on serum creatinine and cystatin C predicts the risk of postoperative complications following hip fracture surgery in older adults. *BMC Geriatrics*. 2021;21(1):541. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12877-021-02522-1>

4. Papakostidis KC, Giannoudis PV. Evolution of treatment of fragility fractures of the pelvic ring. An update. *Injury*. 2025;56(2):112145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2025.112145>

5. Capdevila-Reniu A, Navarro-López M, Sapena V, et al. Predictive factors of osteoporotic hip fracture in octogenarians. *Revista Clinica Espanola*. 2024;224(2):77-85. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rceng.2024.01.001>

6. Mahran DG, Khalifa AA, Abdelhafeez AH, et al. Sarcopenia and its associated factors among hip fracture patients admitted to a North African (Egyptian) Level one trauma center, a cross-sectional study. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2025;20(1):459. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05841-w>

7. Sánchez-Castellano C, Martín-Aragón S, Bermejo-Bescós P, et al. Biomarkers of sarcopenia in very old patients with hip fracture. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2020;11(2):478-486. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12508>

8. Sayer AA, Cooper R, Arai H, et al. Sarcopenia. *Nature Reviews Disease Primers*. 2024;10(1):68. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41572-024-00550-w>

9. Gao J, Li Y. Relationship between muscle size and density and proximal femoral bone mineral density in elderly men with hip fractures across different age groups. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2025;20(1):162. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05570-0>

10. Wong RMY, Wong PY, Chau WW, et al. Very high prevalence of osteosarcopenia in hip fracture patients: risk and protective factors. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2025;20(1):423. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05828-7>

11. Miao D, Fan M, Zhang W, et al. The risk factors for low back pain following oblique lateral interbody fusion: focus on sarcopenia. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2025;20(1):171. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05584-8>

12. Lin YL, Chen SY, Lai YH, et al. Serum creatinine to cystatin C ratio predicts skeletal muscle mass and strength in patients with non-dialysis chronic kidney disease. *Clinical Nutrition*. 2020;39(8):2435-2441. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.10.027>

13. Клинические рекомендации «Патологические переломы, осложняющие остеопороз». М.: Российская ассоциация эндокринологов; 2025.

14. Okubo N, Yoshida T, Tanaka K, et al. Serum creatinine to cystatin C ratio reflects preoperative and early postoperative walking ability in older patients with hip fracture. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2022;13(2):945-954. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12940>

15. Lin YL, Wang CH, Chang IC, et al. A Novel Application of Serum Creatinine and Cystatin C to Predict Sarcopenia in Advanced CKD. *Frontiers in Nutrition*. 2022;9:828880. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.828880>

16. Huang P, Luo K, Xu J, et al. Sarcopenia as a Risk Factor for Future Hip Fracture: A Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. *Journal of Nutrition, Health and Aging*. 2021;25(2):183-188. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12603-020-1474-5>

17. Yu L, Liu F, Zhang Q, et al. Association between sarcopenia index and the risk of second hip fracture in older adults. *Journal of Nutrition, Health and Aging*. 2025;29(6):100532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnha.2025.100532>

18. Tang T, Xie L, Hu S, et al. Serum creatinine and cystatin C-based diagnostic indices for sarcopenia in advanced non-small cell lung cancer. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2022;13(3):1800-1810. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcsm.12977>

19. Kashani K, Sarvottam K, Pereira NL, et al. The sarcopenia index: A novel measure of muscle mass in lung transplant candidates. *Clinical Transplantation*. 2018;32(3):e13182. DOI: <https://doi.org/10.1111/ctr.13182>

20. He Q, Jiang J, Xie L, et al. A sarcopenia index based on serum creatinine and cystatin C cannot accurately detect either low muscle mass or sarcopenia in urban community-dwelling older people. *Scientific Reports*. 2018;8(1):11534. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29808-6>

## References

1. Härstedt M, Holmberg A, Rogmark C, et al. Cardiovascular biomarkers and risk of low-energy fractures among middle-aged men and

women-A population-based study. PLoS ONE. 2018;13(9):e0203692. DOI:

<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0203692>

2. Sheng R, Song M, Xie T, et al. Sarcopenia index is a superior prognostic marker to creatinine-cystatin C ratio in older adults with hip fracture. Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 2025;21(1):30. DOI:

<https://doi.org/10.1186/s13018-025-06540-2>

3. Chen X, Shen Y, Hou L, et al. Sarcopenia index based on serum creatinine and cystatin C predicts the risk of postoperative complications following hip fracture surgery in older adults. BMC Geriatrics. 2021;21(1):541. DOI:

<https://doi.org/10.1186/s12877-021-02522-1>

4. Papakostidis KC, Giannoudis PV. Evolution of treatment of fragility fractures of the pelvic ring. An update. Injury. 2025;56(2):112145. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.injury.2025.112145>

5. Capdevila-Reniu A, Navarro-López M, Sapena V, et al. Predictive factors of osteoporotic hip fracture in octogenarians. Revista Clinica Espanola. 2024;224(2):77-85. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.rceng.2024.01.001>

6. Mahran DG, Khalifa AA, Abdelhafeez AH, et al. Sarcopenia and its associated factors among hip fracture patients admitted to a North African (Egyptian) Level one trauma center, a cross-sectional study. Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 2025;20(1):459. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05841-w>

7. Sánchez-Castellano C, Martín-Aragón S, Bermejo-Bescós P, et al. Biomarkers of sarcopenia in very old patients with hip fracture. Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle. 2020;11(2):478-486. DOI:

<https://doi.org/10.1002/jcsm.12508>

8. Sayer AA, Cooper R, Arai H, et al. Sarcopenia. Nature Reviews Disease Primers. 2024;10(1):68. DOI:

<https://doi.org/10.1038/s41572-024-00550-w>

9. Gao J, Li Y. Relationship between muscle size and density and proximal femoral bone mineral density in elderly men with hip fractures across different age groups. Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 2025;20(1):162. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13018-025-05570-0>

10. Wong RMY, Wong PY, Chau WW, et al. Very high prevalence of osteosarcopenia in hip fracture patients: risk and protective factors. Journal of Orthopaedic Surgery and Research. 2025;20(1):423. DOI:

<https://doi.org/10.1186/s13018-025-05828-7>

11. Miao D, Fan M, Zhang W, et al. The risk factors for low back pain following oblique lateral interbody fusion: focus on sarcopenia. Journal of

Orthopaedic Surgery and Research. 2025;20(1):171. DOI:

<https://doi.org/10.1186/s13018-025-05584-8>

12. Lin YL, Chen SY, Lai YH, et al. Serum creatinine to cystatin C ratio predicts skeletal muscle mass and strength in patients with non-dialysis chronic kidney disease. Clinical Nutrition. 2020;39(8):2435-2441. DOI:

<https://doi.org/10.1016/j.clnu.2019.10.027>

13. Clinical recommendations «Pathological fractures complicating osteoporosis». Moscow: Russian Association of Endocrinologists; 2025. Russian.

14. Okubo N, Yoshida T, Tanaka K, et al. Serum creatinine to cystatin C ratio reflects preoperative and early postoperative walking ability in older patients with hip fracture. Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle. 2022;13(2):945-954. DOI:

<https://doi.org/10.1002/jcsm.12940>

15. Lin YL, Wang CH, Chang IC, et al. A Novel Application of Serum Creatinine and Cystatin C to Predict Sarcopenia in Advanced CKD. Frontiers in Nutrition. 2022;9:828880. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.828880>

16. Huang P, Luo K, Xu J, et al. Sarcopenia as a Risk Factor for Future Hip Fracture: A Meta-Analysis of Prospective Cohort Studies. Journal of Nutrition, Health and Aging. 2021;25(2):183-188. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12603-020-1474-5>

17. Yu L, Liu F, Zhang Q, et al. Association between sarcopenia index and the risk of second hip fracture in older adults. Journal of Nutrition, Health and Aging. 2025;29(6):100532. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jnha.2025.100532>

18. Tang T, Xie L, Hu S, et al. Serum creatinine and cystatin C-based diagnostic indices for sarcopenia in advanced non-small cell lung cancer. Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle. 2022;13(3):1800-1810. DOI:

<https://doi.org/10.1002/jcsm.12977>

19. Kashani K, Sarvottam K, Pereira NL, et al. The sarcopenia index: A novel measure of muscle mass in lung transplant candidates. Clinical Transplantation. 2018;32(3):e13182. DOI: <https://doi.org/10.1111/ctr.13182>

20. He Q, Jiang J, Xie L, et al. A sarcopenia index based on serum creatinine and cystatin C cannot accurately detect either low muscle mass or sarcopenia in urban community-dwelling older people. Scientific Reports. 2018;8(1):11534. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29808-6>

Статья поступила в редакцию 3 февраля 2026 г.  
Поступила после доработки 25 апреля 2026 г.  
Принята к печати 5 мая 2026 г.

Received 3 February 2026

Revised 25 April 2026

Accepted 5 May 2026

### Информация об авторах

**Николай Михайлович Агарков**, доктор медицинских наук, профессор кафедры биомедицинской инженерии ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск; научный сотрудник, Тамбовский филиал ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова», г. Тамбов, Российская Федерация, E-mail: vitalaxen@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4821-3692>.

**Асланбек Сабирович Оглы Ибиев**, врач травматолог-ортопед, врач УЗИ ООО «Лахта Клиника», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, E-mail: [info@lahtaclinic.ru](mailto:info@lahtaclinic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6625-4394>.

**Илья Максимович Федосеев**, студент ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, E-mail: [ilya\\_fedoseev\\_2020@bk.ru](mailto:ilya_fedoseev_2020@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4322-5408>.

**Арина Александровна Бахарева**, студент ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, E-mail: [evgeniaforneec@gmail.com](mailto:evgeniaforneec@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2305-4226>.

**Диана Руслановна Шмарова**, студент ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, E-mail: [shmarova.diana@mail.ru](mailto:shmarova.diana@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-7247>.

**Анастасия Алексеевна Шорохова**, студент ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация, E-mail: [shorohova20015@gmail.com](mailto:shorohova20015@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-1739>.

**Андрей Евгеньевич Копылов**, кандидат медицинских наук, заведующий отделением

лазерного центра, Тамбовский филиал ФГАУ «Национальный медицинский исследовательский центр «Межотраслевой научно-технический комплекс «Микрохирургия глаза» имени академика С.Н. Федорова», г. Тамбов, Российская Федерация, E-mail: [kopylovx@mail.ru](mailto:kopylovx@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3536-1645>.

### Information about the authors

**Nikolay M. Agarkov**, Doc. Sci. (Medicine), Professor at the Department of Biomedical Engineering, Southwest State University, Kursk; Researcher, Academician S.N. Fyodorov Eye Microsurgery State Institution (Tambov Branch), Tambov, Russia, E-mail: [vitalaxen@mail.ru](mailto:vitalaxen@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4821-3692>.

**Aslanbek S.O. Ibiev**, Traumatologist-orthopedist, Ultrasound Doctor, Lahta Clinic, Saint Petersburg, Russia, E-mail: [info@lahtaclinic.ru](mailto:info@lahtaclinic.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6625-4394>.

**Ilya M. Fedoseev**, Student, Southwest State University, Kursk, Russia, E-mail: [ilya\\_fedoseev\\_2020@bk.ru](mailto:ilya_fedoseev_2020@bk.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4322-5408>.

**Arina A. Bakhareva**, Student, Southwest State University, Kursk, Russia, E-mail: [evgeniaforneec@gmail.com](mailto:evgeniaforneec@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2305-4226>.

**Diana R. Shmarova**, Student, Southwest State University, Kursk, Russia, E-mail: [shmarova.diana@mail.ru](mailto:shmarova.diana@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9037-7247>.

**Anastasia A. Shorokhova**, Student, Southwest State University, Kursk, Russia, E-mail: [shorohova20015@gmail.com](mailto:shorohova20015@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-1739>.

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