

# Сравнительный анализ информативности визуальной качественной и автоматической количественной оценки степени выраженности сосудистых кальцинатов молочной железы по данным маммографии

Д.В. Пасынков<sup>1,2,3</sup>, И.А. Егошин<sup>1</sup>, А.А. Колчев<sup>4</sup>, Е.А. Ацель<sup>3</sup>, О.О. Пасынкова<sup>1</sup>, О.В. Бусыгина<sup>1</sup>, И.В. Ключкин<sup>5,6</sup>, Р.И. Фатыхов<sup>1,5,6</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», Йошкар-Ола, Россия, 424000, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1

<sup>2</sup> ГБУ Республики Марий Эл «Республиканский клинический онкологический диспансер», г. Йошкар-Ола, 424037, ул. Осипенко, д. 22

<sup>3</sup> Казанская государственная медицинская академия – филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Россия, 420012, Казань, ул. Бутлерова, д. 36

<sup>4</sup> ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Россия, 420008, Казань, ул. Кремлевская, д. 18

<sup>5</sup> ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Россия, 420012, Казань, ул. Бутлерова, 49

<sup>6</sup> ГАУЗ «Городская клиническая больница No 7» им. М.Н. Садыкова г. Казани, Россия, 420103, Казань, ул. Маршала Чуйкова, 54

**Реферат. Введение.** Маммография широко используется в повседневной клинической практике и дает целый пласт дополнительной информации, позволяя с высокой чувствительностью и специфичностью идентифицировать сосудистые кальцинаты. Ранее было показано, что такие кальцинаты ассоциированы с развитием сердечно-сосудистой патологии, остеопороза, гипотиреоза и т.д., при этом отмечалась целесообразность регистрации не только факта наличия данных кальцинатов, но также степени их выраженности. **Цель исследования** – разработать методику автоматической идентификации и оценки степени выраженности сосудистых кальцинатов молочных желез на маммограммах и оценить целесообразность ее клинического применения. **Материал и методы.** Материал исследования составили 154 набора маммограмм. Степень выраженности сосудистых кальцинатов оценивали визуально по предложенной классификации и автоматически, количественно, с помощью разработанного программного пакета. Оценивали вариабельность визуальной оценки и степень соответствия качественной и количественной оценок. **Результаты и их обсуждение.** Оценки степени выраженности кальцинатов различными специалистами соответствовали, в среднем, в 76,54% случаев. Напротив, результаты работы программного пакета с одними и теми же изображениями были полностью идентичны. Соответствие результатов количественной и качественной оценок отмечалось, в среднем, в 53,42% случаев ( $r^2 = -0,523$ ;  $p=0,01$ ). В случаях несоответствия наиболее часто имело место изменение (повышение/снижение) оценки по результатам количественного анализа на 1 степень (36 из 50; 72,0%), однако отмечались и случаи расхождения результатов на 2 (10 из 50; 20,0%) и даже 3 (4 из 50; 8,0%) степени. **Выводы.** Использование методики автоматической количественной оценки выраженности сосудистых кальцинатов молочных желез обеспечивает коррекцию результатов по сравнению с данными визуального качественного анализа в 23,91% случаях – при отсутствии кальцинатов, в 83,33% случаях – при кальцинах 1 степени, в 63,64% случаях – при кальцинах 2 степени, в 28,57% случаях – при кальцинах 3 степени, в 33,33% случаях – при кальцинах 4 степени.

**Ключевые слова:** маммография, сосудистые кальцинаты, количественная оценка, визуальная оценка.

**Для цитирования:** Пасынков Д.В., Егошин И.А., Колчев А.А., [и др.]. Сравнительный анализ информативности визуальной качественной и автоматической количественной оценки степени выраженности сосудистых кальцинатов молочной железы по данным маммографии // Вестник современной клинической медицины. – 2025. – Т. 18, прил. 1. – С. 55–61. DOI: 10.20969/VSKM.2025.18(suppl.1).55-61.

## Evaluation of the degree of vascular breast calcifications on digital mammograms: A comparative analysis of the informative values of visual qualitative assessment and automated quantification

Dmitry V. Pasyunkov<sup>1,2,3</sup>, Ivan A. Egoshin<sup>1</sup>, Alexey A. Kolchev<sup>4</sup>, Evgenia A. Atsef<sup>3</sup>, Olga O. Pasyunkova<sup>1</sup>, Olga V. Busygina<sup>1</sup>, Ivan V. Klyushkin<sup>5,6</sup>, Ruslan I. Fatikhov<sup>1,5,6</sup>

<sup>1</sup> Mari State University, 1 Lenin sq., 424001 Yoshkar-Ola, Russia

<sup>2</sup> Republican Clinical Oncology Dispensary of the Republic of Mari El, 22 Osipenko str., 424037 Yoshkar-Ola, Russia

<sup>3</sup> Kazan State Medical Academy – Branch of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education of the Ministry of Health of Russia, 36 Butlerova str., 420012 Kazan, Russia

<sup>4</sup> Kazan (Volga Region) Federal University, 18 Kremliovskaya str., 420008 Kazan, Russia.

<sup>5</sup> Kazan State Medical University, 49 Butlerov str., 420012 Kazan, Russia

<sup>6</sup> City Clinical Hospital No. 7 named after M.N. Sadykov, 54 Marshal Chuykov str., 420103 Kazan, Russia

**Abstract. Introduction.** Mammography is frequently used in the clinical routine and provides some additional information. Particularly, it can identify vascular calcifications with high sensitivity and specificity. It is showed that such calcifications are associated with cardiovascular pathology, osteoporosis, hypothyroidism, etc.; at the same time, it was noted that it is reasonable both to detect calcifications and to quantify them. **Aim.** To develop an approach to the automated detection and quantification of vascular breast calcifications on mammography images and check its clinical value. **Materials and Methods.** We used 154 sets of mammography images. Degree of vascular calcifications was assessed visually according to the classification proposed, and it was also quantified automatically using the software package developed. We assessed the variability of the visual assessment and the comparability degree of qualitative and quantitative approaches. **Results and Discussion.** Visual assessments performed by different experts were comparable in 76.54% of cases (mean). On the contrary, the software

outcomes for the same images were completely identical. The quantitative and qualitative assessments gave identical results in the 53.42% of all cases (mean;  $r^2 = -0.523$ ;  $p=0.01$ ). In the majority of other outcomes, there was a grade increase/decrease according to the software output by degree 1 (36 of 50; 72.0%); however, we also noted the differences by 2 (10 of 50; 20.0%) or even 3 (4 of 50; 8.0%) degrees. **Conclusions.** Automated quantification of vascular breast calcifications corrected the outcomes of qualitative visual assessment in 23.91% of cases with no calcifications (0 grade), in 83.33% of cases with grade 1 calcification, in 63.64% of cases with grade 2 calcification, in 28.57% of cases with grade 3 calcification, and in 33.33% of cases with grade 4 calcification.

**Keywords:** mammography, vascular calcification, automated quantification, visual assessment.

**For citation:** Pasyukov, DV; Egoshin, IA; Kolchev, AA; et al. Evaluation of the degree of vascular breast calcifications on digital mammograms: A comparative analysis of the informative values of visual qualitative assessment and automated quantification. The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine. 2025; 18 (suppl.1): 55-61. DOI: 10.20969/VSKM.2025.18(suppl.1).55-61.

**Введение.** Маммография широко используется в повседневной клинической практике для скрининга и дифференциальной диагностики рака молочной железы (МЖ), поскольку является единственным методом, который при использовании с данной целью обеспечивает выраженное снижение смертности, обусловленное данной патологией [1]. Однако, наряду с проявлениями рака МЖ, маммография дает целый пласт дополнительной информации, которая часто не используется в онкомаммологии и, в итоге, в клинической практике в целом [2]. Одним из таких изменений являются сосудистые кальцинаты МЖ (СКМЖ), которые с высокой чувствительностью и специфичностью идентифицируются на маммограммах в виде линейных извитых и петлистых структур [3].

В настоящее время известно, что после коррекции по возрасту, уровню образования, расе, курению, употреблению алкоголя, индексу массы тела, концентрации общего холестерина в сыворотке крови, а также наличию в анамнезе артериальной гипертензии, сахарного диабета, инфаркта миокарда, количеству родов и использованию гормонозаместительной терапии СКМЖ ассоциированы с повышением риска ишемической болезни сердца в 1,32 раза (95% доверительный интервал [ДИ]: 1,08-1,60), ишемического инсульта – в 1,41 раза (95% ДИ: 1,11-1,78) и сердечной недостаточности – в 1,52 раза (95% ДИ: 1,18-1,98) [4]. Кроме того, была продемонстрирована связь СКМЖ с развитием остеопороза, когда наибольшие изменения регистрировались для Т-критерия трабекулярного костного индекса поясничных позвонков (TBS); в группе умеренной кальцинации он был меньше на 9,5% по сравнению с таковым в группе без кальцинатов,  $p=0,086$ ; а в группе выраженной кальцинации данный параметр был меньше на 39,5% по сравнению с группой без кальцинатов,  $p=0,005$  [5], гипотиреоза [6] и другой патологии. Кроме того, в этих работах указывалось на целесообразность регистрации не только факта наличия СКМЖ, но также степени их выраженности [5].

Однако, как известно, визуальный анализ серошальных изображений, какими являются маммограммы, сопряжен с рядом ограничений зрительного восприятия, особенно при попытке идентифицировать низкоконтрастные объекты и объекты малых размеров, что требует стандартизации данного подхода и повышения его точности, и здесь открывается весьма обширное поле для использования современных цифровых технологий.

#### Цель исследования.

Разработать методику автоматической идентификации и оценки степени выраженности СКМЖ на маммограммах и оценить целесообразность ее клинического применения.

#### Материал и методы.

Материал исследования составили 154 набора маммограмм 154 уникальных пациенток, которые

анализировались на наличие и степени выраженности СКМЖ.

#### Методы.

##### Маммография.

Скрининговую маммографию выполняли по стандартной методике на цифровом маммографе Siemens Mammomat Fusion (Германия).

*Качественная визуальная оценка степени выраженности СКМЖ.*

Степень выраженности СКМЖ оценивали по следующей собственной классификации.

0 степень – СКМЖ не определяются (невооруженным глазом и при использовании стандартного инструмента «Лупа» рабочей станции маммографа) (рис. 1А).

1 степень – любые СКМЖ, которые определяются только при увеличении стандартным инструментом «Лупа» рабочей станции маммографа и не определяются невооруженным глазом (рис. 1Б).

2 степень – СКМЖ определяются визуально без увеличения только вдоль стенок сосуда, расположенных параллельно ходу рентгеновского пучка, что обусловлено суммацией изображений данных сегментов сосудистой стенки (рис. 1В, Е).

3 степень – СКМЖ также определяются в стенках сосуда, расположенных перпендикулярно рентгеновскому пучку, характеризующихся минимальной суммацией, однако некальцинированные зоны занимают большую площадь, чем кальцинированные (рис. 1Г, Ж).

4 степень – СКМЖ также определяются в стенках сосуда, расположенных перпендикулярно рентгеновскому пучку, характеризующихся минимальной суммацией, при этом, однако, некальцинированные зоны занимают меньшую площадь, чем кальцинированные (рис. 1Д, З).

Суммарная категория соответствовала максимальной степени выраженности СКМЖ на оцениваемом наборе маммограмм.

*Методика количественной автоматической оценки степени выраженности СКМЖ.*

Для сегментирования сосудов на маммографических изображениях и расчета степени их кальцинирования использовалась полуавтоматическая методика собственной разработки, состоящая, из следующих этапов обработки изображения.

1) К исходному изображению маммограммы применяется фильтр трубчатости Сато [7] (рис. 2 А,Б).

Основная идея фильтра Сато заключается в использовании кривых градиентов и характеристик матрицы Гесса для выявления и выделения линейных и трубчатых структур на изображениях, таких как кровеносные сосуды или другие волокнистые объекты. При этом создается карта вероятностей наличия трубчатых структур в каждом пикселе (см. рис. 2Б).

2) К полученной карте вероятностей применяется метод бинаризации Отцу [8] для выделения пикселей, имеющих наибольшую вероятность отнесения к сосуду

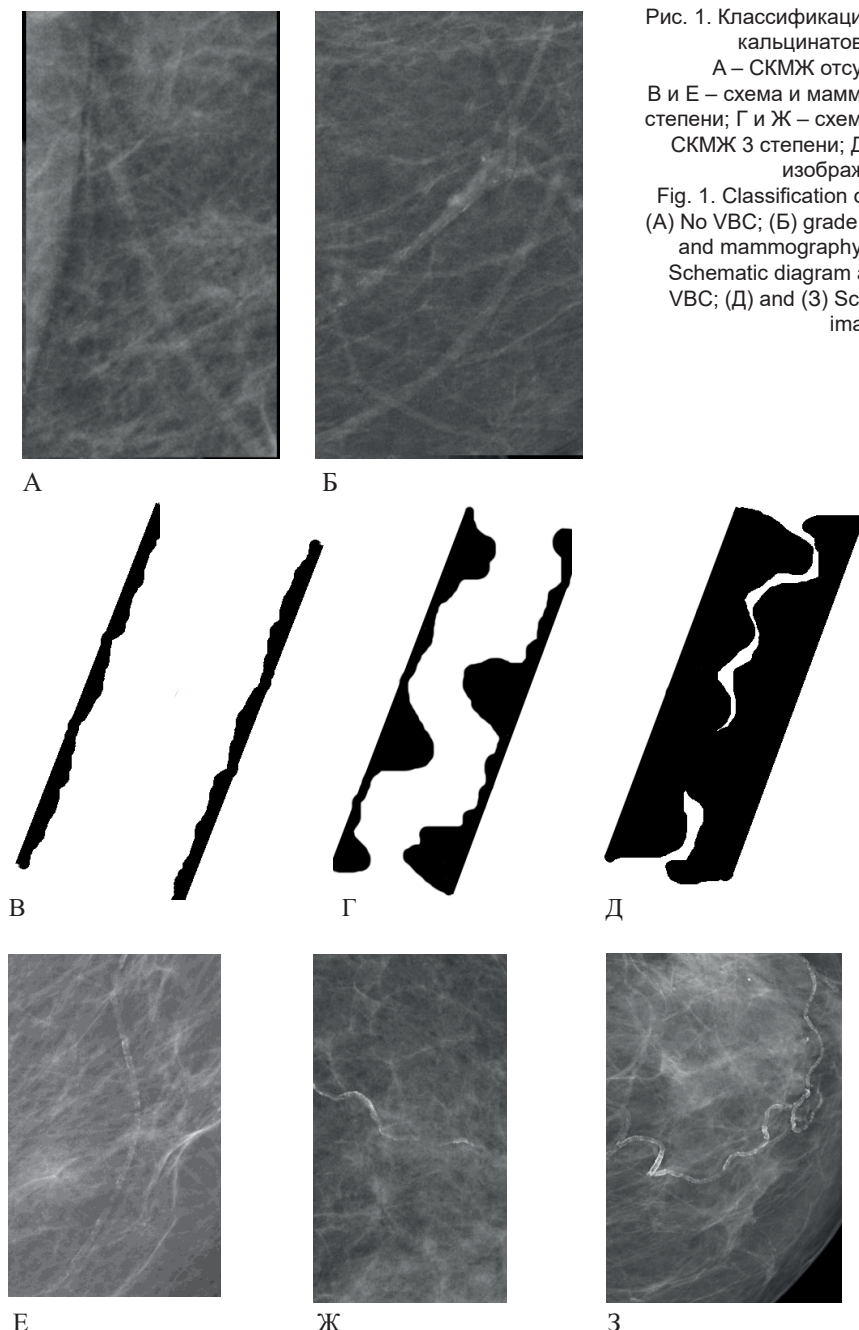


Рис. 1. Классификация степени выраженности сосудистых кальцинатов молочной железы (СКМЖ):

А – СКМЖ отсутствуют; Б – СКМЖ 1 степени; В и Е – схема и маммографическое изображение СКМЖ 2 степени; Г и Ж – схема и маммографическое изображение СКМЖ 3 степени; Д и З – схема и маммографическое изображение СКМЖ 4 степени.

Fig. 1. Classification of vascular breast calcifications (VBC): (A) No VBC; (Б) grade 1 VBC; (В) and (Е) Schematic diagram and mammography image of grade 2 VBC; (Г) and (Ж) Schematic diagram and mammography image of grade 3 VBC; (Д) and (З) Schematic diagram and mammography image of grade 4 VBC.

роятностное преобразование Хафа [9], которое позволяет обнаруживать произвольные заданные прямые линии, и тем самым определить направление расположения сосуда в отдельных его участках) (см. рис. 3А и 3Б, синие прямые линии).

6) Далее берутся значения интенсивности (яркости) пикселей выделенного сосуда, расположенные перпендикулярно найденным линиям Хафа (см. рис. 3Б, желтый цвет). На рис. 3В представлены графики интенсивности (яркости) пикселей, расположенных перпендикулярно найденным линиям Хафа (разный цвет соответствует разной полученной перпендикулярной линии).

7) В качестве меры степени кальцинирования сосуда рассматривается отношение значения интенсивности (яркости) пикселя, находящегося в центре сосуда  $center(I)$ , к максимальному значению интенсивности пикселя  $max(I)$ ,

соответствующей одной из границ сосуда:

$$f = center(I) / max(I).$$

Благодаря свойству суммационности маммографического изображения, максимальное значение интенсивности  $max(I)$  должно соответствовать пикселю на границе сосуда и не должно превышать значения интенсивности центрального пикселя сосуда  $center(I)$ . Таким образом, коэффициент кальцинации  $f$  (КК) может варьировать в пределах от 0 до 1:  $f \in [0;1]$ , и чем больше степень кальцинации сосуда, тем больше признак  $f$  стремится к 0, и наоборот. Данная методика была реализована программно на языке Python 3.11.11 в среде программирования Spyder IDE 6.0.5.

Эмпирически были определены диапазоны значений КК для различных визуально определяемых степеней кальцинации сосудов МЖ: 0 степень –  $>0,810$ ; 1 степень –  $0,795-0,809$ ; 2 степень –  $0,760-0,794$ ; 3 степень –  $0,600-0,759$ ; 4 степень –  $<0,600$ .

(см. рис. 2Б). Метод Отцу основан на максимизации межклассовой дисперсии, чтобы разделить изображение на объекты и фон. После определения оптимального порога изображение бинаризуется: все пиксели с интенсивностью ниже порога – в один класс (фон), выше – в другой (сосуд).

3) Из исходного изображения удаляются все бинаризованные сосуды (см. рис. 2Г, показаны белым цветом), полученные на предыдущем шаге, для их лучшей визуализации на общем фоне паренхимы.

4) Выбор оператором вручную необходимого сегментированного сосуда для его последующего анализа (см. рис. 2Д).

5) Расчет степени выраженности кальцинации сосудистой стенки выполняется путем анализа интенсивности (яркости) пикселей, лежащих перпендикулярно направлению расположения самого сосуда (к выбранному на предыдущем шаге сегментированному и бинаризованному сосуду применяется прогрессивное ве-



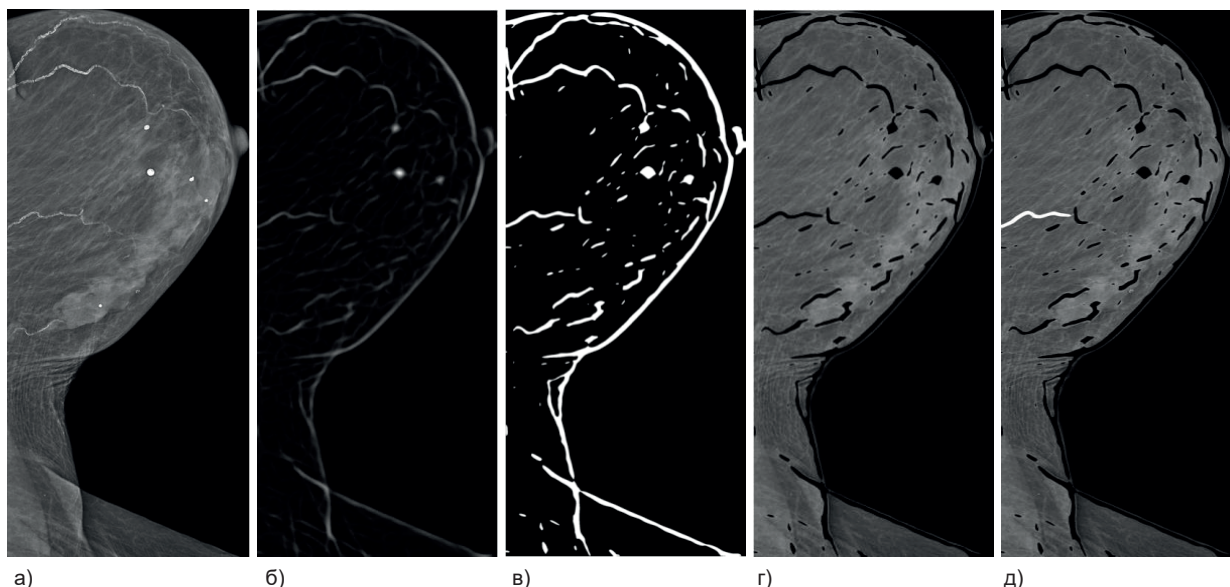


Рис. 2. а) – исходная маммограмма; б) – результат применения фильтра Сато (карта вероятностей наличия трубчатых структур в каждом пикселе); в) – результат применения метода бинаризации Отцу к карте вероятностей; г) – результат удаления из исходного изображения бинаризованных сосудов; д) – выбранный оператором вручную сегментированный сосуд (заполнен белым цветом).

Fig. 2. а) – source mammography image; б) – Sato filtering outcome (probability map of the tubal structure presence in each pixel); в) – the outcome of applying Otsu binarization to the probability map; г) – the subtraction (baseline image – binarized image) outcome; д) – the segmented vessel manually selected by the radiologist (filled with white).

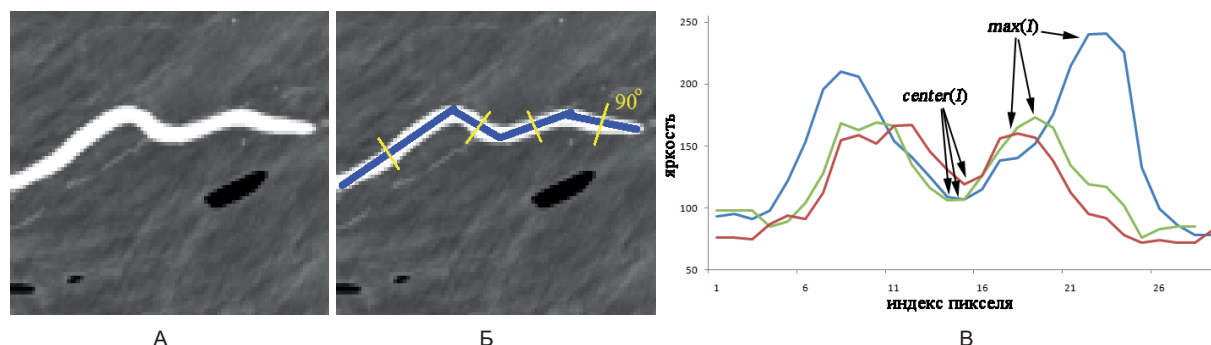


Рис. 3. А – область изображения, содержащая выбранный сегментированный сосуд (белый цвет); Б результат применения преобразования Хафа – синие прямые линии; желтый цвет – линии, перпендикулярные найденным линиям Хафа; В графики интенсивности (яркости) пикселей расположенные перпендикулярно найденным линиям Хафа (разный цвет соответствует разной полученной перпендикулярной линии).

Fig. 3. А – the region of the image containing the segmented vessel (filled with white); Б – Hough transformation outcome (blue lines); yellow lines correspond to the ones perpendicular to the Hough lines; В brightness curves for pixels perpendicular to the Hough lines (different lines are presented in different colors).

#### Проведенные анализы.

Все наборы маммограмм сначала анализировались качественно, визуально, а затем – количественно, автоматически, с использованием разработанного программного пакета, врачами-рентгенологами, имеющими опыт анализа маммограмм в течение не менее 3 лет. Оценивали степень соответствия качественной и количественной оценок. В случае несоответствия оценок качественную оценку выполняли повторно с целью ее верификации. Также сравнивали результаты визуальной качественной оценки степени выраженности СКМЖ, сделанной двумя различными специалистами.

#### Статистическая обработка.

В качестве параметров описательной статистики для непрерывных нормально распределенных выборок рассчитывали среднее арифметическое и стандартное отклонение, для ненормально распределенных – медиану и размах вариации. Для категориальных переменных рассчитывали частоты в виде количества

(процента) наблюдений. Сравнение нормально распределенных выборок производили с использованием t-критерия Стьюдента, ненормально распределенных – с использованием критериев Уилкоксона и хи-квадрат (для сравнения долей). Оценка нормальности распределения выборок осуществлялась с использованием критерия Колмогорова-Смирнова. Оценку корреляции между нормально распределенными выборками производили с помощью коэффициента Пирсона, между ненормально распределенными – с помощью коэффициентов Спирмена или Кендалла. Статистическую достоверность различия сравниваемых выборок констатировали при получении значений  $P < 0,05$ . Все статистические анализы выполняли в программном пакете SPSS 13.0.

#### Результаты и их обсуждение

##### Качественная оценка.

При первичной качественной оценке в 76 (49,35%) случаях СКМЖ отсутствовали, в 18 (11,69%) случаях –

## Cases of non-matching outcomes of the quantitative and qualitative assessments of vascular breast calcifications

|                     | Повышение (степень выраженности по данным количественной оценки выше) |                    | Снижение (степень выраженности по данным качественной оценки выше) |                    |
|---------------------|---|--------------------|--|--------------------|
|                     | Сдвиг   | Количество случаев | Сдвиг  | Количество случаев |
| На 1 степень (n=36) | 0 > 1   | 4                  | 1 > 0  | 12                 |
|                     | 2 > 3   | 3                  | 3 > 2  | 12                 |
|                     | 3 > 4   | 3                  | 4 > 3  | 2                  |
| На 2 степени (n=10) | 0 > 2   | 3                  | 2 > 0  | 4                  |
|                     | 1 > 3   | 3                  |  |                    |
| На 3 степени (n=4)  |   | –                  | 3 > 0  | 4                  |

имелись и соответствовали 1 степени выраженности, в 16 (10,39%) случаях – 2 степени, в 38 (24,68%) случаях – 3 степени, в 6 (3,90%) случаях – 4 степени.

При оценке степени выраженности СКМЖ различными специалистами соответствие оценок отмечалось в 70 из 76 (92,11%) случаев – при отсутствии СКМЖ, в 11 из 18 (61,11%) случаев – при СКМЖ 1 степени, в 13 из 16 (81,25%) случаев – при СКМЖ 2 степени, в 31 из 38 (81,58%) случаев – при СКМЖ 3 степени, и в 4 из 6 (66,67%) случаев – при СКМЖ 4 степени.

#### Количественная оценка.

При количественной оценке в 92 (59,74%) случаях СКМЖ отсутствовали, в 6 (3,40%) случаях – имелись и соответствовали 1 степени выраженности, в 22 (14,29%) случаях – 2 степени, в 28 (18,18%) случаях – 3 степени, в 6 (2,53%) случаях – 4 степени.

Поскольку результат работы метода определяется только реализованным алгоритмом, анализ одних и тех же изображений давал полностью идентичные значения КК (т.е. вариабельность оценки отсутствовала).

Соответствие результатов количественной и качественной оценок отмечалось в 70 (76,09%) случаях – при отсутствии СКМЖ, 2 (16,67%) случаях – при СКМЖ 1 степени, 8 (36,26%) случаях – при СКМЖ 2 степени, 20 (71,43%) случаях – при СКМЖ 3 степени, 4 (66,67%) случаях – при СКМЖ 4 степени. Суммарный показатель составил 104 (67,53%) случая, коэффициент корреляции Спирмена двух оценок –  $-0,523$  ( $p=0,01$ ). Эти результаты согласуются с данными о вариабельности визуальной оценки, сделанной различными специалистами.

В случаях несоответствия наиболее часто имело место изменение (повышение/снижение) оценки по результатам количественного анализа на 1 степень (36 из 50; 72,0%), однако отмечались и случаи расхождения результатов на 2 (10 из 50; 20,0%) и даже 3 (4 из 50; 8,0%) степени. Эти результаты были верифицированы как окончательные при повторном качественном анализе (табл. 1).

Учитывая трудности идентификации малоконтрастных объектов, особенно малого размера, а также утомляемость при рутинной работе, изменение степени выраженности на 1 категорию по результатам количественной оценки не является неожиданным. Интерес представляют случаи сильного расхождения (например, на 3 категории) (рис. 4). По-видимому, причиной констатации 3 степени выраженности СКМЖ на рис. 4А по данным визуального анализа явилась высокая плотность сегментов сосудов, проекционно накладывающихся на тени плотной паренхимы, однако при авто-

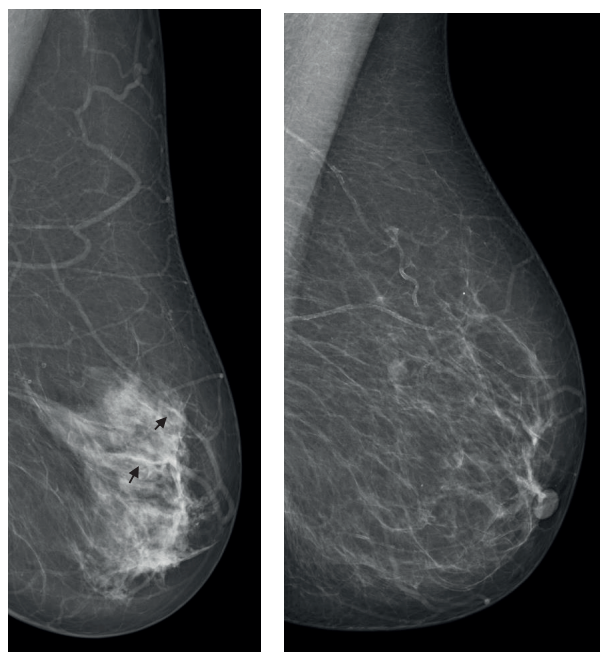


Рис. 4. Примеры изображений с выраженным расхождением автоматической количественной и визуальной качественной оценок степени выраженности СКМЖ: А – 3 степени – по данным визуальной оценки, и 0 степени – по данным количественной оценки (0,823); стрелками выделены фрагменты сосудов, накладывающиеся на тень плотной паренхимы; Б – 0 степени – по данным визуальной оценки, и 3 степени – по данным количественной оценки (0,733).

Fig. 4. Example images with pronounced discrepancy between automated quantification and visual qualitative assessment of vascular breast calcifications (VBC): А – degree 3 VBC according to the visual assessment and degree 0 VBC according to the quantification (0.823); vessel fragments overlaying the dense parenchyma are marked with arrows; Б – degree 0 VBC according to the visual assessment and degree 3 VBC according to the quantification (0.733).

матической оценке были получены типичные значения, соответствующие отсутствию СКМЖ. Напротив, на рис. 4Б СКМЖ имеют малые размеры и выраженность, что, по-видимому, воспрепятствовало их визуальному обнаружению, в то время как при количественной оценке было получено значение параметра 0,733, что соответствует СКМЖ 3 степени, и данный результат был констатирован при повторном визуальном анализе.

СКМЖ (кальцинаты артерий) представляют собой доброкачественные кальцинаты МЖ, не имеющие

отношения к раку данного органа и образующиеся в результате отложения солей кальция в среднем слое стенки кровеносных сосудов МЖ. Дифференцировать сосудистые структуры на маммограммах обычно не представляет сложностей, поскольку они являются единственными протяженными линейными или петлистыми структурами диаметром от 1 мм до 4-5 мм. В процессе развития СКМЖ сначала определяются по периферии сосуда, поскольку в этих зонах стенка сосуда располагается параллельно ходу рентгеновского пучка, что приводит к суммации изменений и повышению их степени плотности по сравнению с центрально расположенными участками сосудистой стенки, степень суммации которых значительно ниже. Затем, по мере дальнейшего развития, кальцинаты становятся видимыми и в стенках сосуда, расположенных перпендикулярно рентгеновскому пучку, что меняет их внешний вид с «трамвайных путей» на «змеевидные структуры». СКМЖ обнаруживаются со все более нарастающей частотой у женщин в постменопаузе (старше 60 лет). В молодом возрасте они встречаются редко. В общей сложности СКМЖ обнаруживаются приблизительно на 9% всех маммограмм, однако у женщин старше 65 лет их частота составляет уже около 50% [10].

Попытки автоматической идентификации СКМЖ на маммограммах предпринимались и ранее. Так, N. Mobini и др. (2023) разработали соответствующую методику с использованием нейронной сети глубокого обучения VGG16. Данная модель обеспечила значения точности, индекса F1 и площади под ROC-кривой 0,94; 0,86, и 0,98 – в обучающей выборке, и 0,96; 0,74 и 0,96 – в валидационной выборке. Однако эти авторы не решали задачу оценки степени выраженности СКМЖ [11]. Другие авторы разработали аналогичный алгоритм, основанный на использовании предварительной фильтрации изображения по перепадам яркости, выявленные зоны затем подвергались итерационному анализу с использованием глобальных и локальных пороговых значений. Затем использовался алгоритм кластеризации с целью маркировки тонких линейных сегментов. Ложноположительные метки удалялись с использованием модели линейного дискриминантного анализа. Данный подход обеспечил значения чувствительности 65%, 70% и 75% в маркировке сегментов размером 6,1 мм, 8,4 мм и 12,6 мм, соответственно, при отсутствии отсева истинно позитивных зон. При этом задача анализа степени выраженности СКМЖ также не решалась [12].

Что касается классификации для визуального анализа, то она по своей природе является механистической, т.е. основана на механизме формирования рентгеновского изображения сосуда. Однако в последующих работах была продемонстрирована зависимость результатов от степени выраженности СКМЖ, оценивавшейся по этой классификации. В частности, было констатировано прогрессивное снижение Т-критерия ТБС поясничных позвонков (-2,94 – при отсутствии СКМЖ, -3,25 – при наличии СКМЖ 1-2 степени, и -4,10 – при наличии СКМЖ 3-4 степени), а также разнонаправленные достоверные изменения параметров липидного профиля сыворотки крови при СКМЖ 1-2 и 3-4 степени по сравнению с отсутствием СКМЖ [5]. Поэтому использование данной классификации в уточненном варианте посредством расчета КК, являющегося непрерывным показателем, представляется целесообразным. Кроме того, ее весьма просто адаптировать, например, если

впоследствии выяснится сходство отдельных степеней выраженности СКМЖ по клиническим параметрам сопутствующей патологии, и потребуется слить соседние категории в одну, либо, напротив, разделить существующие категории на подкатегории.

### Выводы

Использование разработанной методики автоматической количественной оценки выраженности СКМЖ обеспечивает более высокую точность оценки, корректируя результат по сравнению с данными визуального качественного анализа в 23,91% случаях – при отсутствии СКМЖ, в 83,33% случаях – при СКМЖ 1 степени, в 63,64% случаях – при СКМЖ 2 степени, в 28,57% случаях – при СКМЖ 3 степени, в 33,33% случаях – при СКМЖ 4 степени.

**Источник финансирования.** Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы несут полную ответственность за предоставление окончательной версии рукописи в печать.

**Декларация о финансовых и других взаимоотношениях.** Все авторы принимали участие в разработке концепции и дизайна исследования и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы не получали гонорар за исследование.

### ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Gøtzsche PC, Jørgensen KJ. Screening for breast cancer with mammography. Cochrane Database Syst Rev. 2013; 2013(6): CD001877. DOI: 10.1002/14651858.CD001877.pub5
2. Пасынков Д.В., Михальцова М.А., Фатыхов Р.И., [и др.]. Прогнозирование риска рака молочной железы на основе непрерывной количественной оценки ее маммографической плотности // Поволжский онкологический вестник. 2025. – Т. 16, № 1. – С. 36-47. Pasyunkov DV, Mikhaltsova MA, Fatykhov RI, et al. The prediction of breast carcinoma risk based on the continuous quantitative mammographic breast density parameter [Prognostirovanie riska raka molochnoi zhelezy na osnove nepreryvnoi kolichestvennoi ocenki ee mammograficheskoi plotnosti] Povolzhskiy onkologicheskij vestnik [Oncology Bulletin of the Volga Region]. 2025; 16 (1): 36–47. (In Russ.) DOI: 10.32000/2078-1466-2025-1-36-47
3. Oliveira EL, Freitas-Junior R, Afune-Neto A, et al. Vascular calcifications seen on mammography: an independent factor indicating coronary artery disease. Clinics (Sao Paulo). 2009; 64(8): 763-767. DOI: 10.1590/S1807-59322009000800009
4. Iribarren C, Go AS, Tolstykh I, Sidney S, et al. Breast vascular calcification and risk of coronary heart disease, stroke, and heart failure. J Womens Health (Larchmt). 2004; 13(4): 381-389. DOI: 10.1089/154099904323087060
5. Пасынкова О.О., Красильников А.В., Пасынков Д.В., [и др.]. Риск остеопороза у женщин с выявляемыми при маммографии сосудистыми кальцинатами молочных желез // Вестник современной клинической медицины. – 2024. – Т. 17, прил. 1. – С.48–53. Pasyunkova OO, Krasilnikov AV, Pasyunkov DV, et al. Osteoporosis risk in women with breast vascular calcifications revealed at mammography [Risk osteoporozu u zhenschin s vyzhavljaemyimi pri mammografii sosudistymi calcinatami molochnyh zhelez]. Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny [The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine]. 2024; 17 (suppl.1): 48-53. (In Russ.) DOI: 10.20969/VSKM.2024.17(suppl.1).48-53
6. Пасынкова О.О., Красильников А.В., Пасынков Д.В., [и др.]. Ассоциация сосудистых кальцинатов молочной железы и гипотиреоза: описание серии клинических наблюдений и обзор литературы // Вестник современной клинической медицины. – 2023. – Т. 16, прил.1. – С. 78-84. Pasyunkova OO, Krasilnikov AV, Pasyunkov DV, et al. Association between vascular calcifications at mammography and hypothyroidism: Case series report and literature review. [Associacija sosudistyx calcinatov molochnyh zhelez i gipotireoz: opisanie serii klinicheskikh nabludenii i obzor literatury]. Vestnik sovremennoy klinicheskoy meditsiny [The Bulletin of Contemporary Clinical Medicine]. 2023; 16 (suppl.1): 78-84. (In Russ.) DOI: 10.20969/VSKM.2023.16 (suppl.1).78-84
7. Sato Y, Nakajima S, Shiraga N, et al. Three-dimensional multi-scale line filter for segmentation and visualization of curvilinear structures in medical images. Medical image analysis. 1998; 2(2): 143-168. DOI: 10.1016/S1361-8415(98)80009-1
8. Otsu N. A threshold selection method from gray-level histograms. IEEE Trans Sys Man Cyber journal. 1979; 9: 62-66.



9. Galamhos C, Matas J, Kittler J. Progressive probabilistic Hough transform for line detection. // Proceedings. 1999 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. 1999; 1: 554–560.
10. Iribarren C, Molloy S. Breast Arterial Calcification: a New Marker of Cardiovascular Risk? Curr Cardiovasc Risk Rep. 2013; 7: 126–135. DOI: 10.1007/s12170-013-0290-4
11. Mobini N, Codari M, Riva F, et al. Detection and quantification of breast arterial calcifications on mammograms: a deep learning approach. Eur Radiol. 2023; 33 (10): 6746–6755. DOI: 10.1007/s00330-023-09668-z
12. Ge J, Chan H-P, Sahiner B, et al. Automated detection of breast vascular calcification on full-field digital mammograms. Medical Imaging 2008: Computer-Aided Diagnosis Proceedings. 2008; 6915: 691517. DOI: 10.1117/12.773096

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ:

**ПАСЫНКОВ ДМИТРИЙ ВАЛЕРЬЕВИЧ**, ORCID: 0000-0003-1888-2307, Scopus Author ID: 57194777454, Web of Science Researcher ID: HJH-2122-2023, RSCI Author ID: 963099, SPIN-код: 7264-3745, докт. мед. наук, доцент, e-mail: passynkov@mail.ru; заведующий кафедрой лучевой диагностики и онкологии, Медицинский институт, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1; заведующий отделением лучевой диагностики ГБУ Республики Марий Эл «Республиканский клинический онкологический диспансер», г. Йошкар-Ола, 424037, ул. Осипенко, д. 22; доцент кафедры ультразвуковой диагностики Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 36.

**ЕГОШИН ИВАН АЛЕКСАНДРОВИЧ**, ORCID: 0000-0003-0717-0734, Scopus Author ID: 57194087483, RSCI Author ID: 763874, SPIN-код: 6250-9619, канд. техн. наук, e-mail: jungl91@mail.ru; младший научный сотрудник научного сектора ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет» Министерства образования и науки России; Россия, 424001, Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1.

**КОЛЧЕВ АЛЕКСЕЙ АНАТОЛЬЕВИЧ**, ORCID: 0000-0002-1692-2558, Scopus Author ID: 6603495936, RSCI Author ID: 37701, SPIN-код: 8376-1748, канд. физ.-мат. наук, доцент, e-mail: kolchevaa@mail.ru; доцент кафедры радиоастрономии, ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет»; 420008, Россия, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18, корп. 1.

**АЦЕЛЬ ЕВГЕНИЯ АЛЕКСАНДРОВНА**, ORCID: 0000-0002-1640-5411, Scopus Author ID: 57238933800, Web of Science Researcher ID: CAH-0748-2022, RSCI Author ID: 787920, SPIN-код: 1105-1470, докт. мед. наук, доцент, e-mail: atzel@mail.ru; профессор кафедры терапии, гериатрии и семейной медицины Казанской государственной медицинской академии – филиала ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, 420012, г. Казань, ул. Бутлерова, д. 36.

**ПАСЫНКОВА ОЛЬГА ОЛЕГОВНА**, ORCID: 0000-0001-9117-8151, Scopus Author ID: 8248104000, Web of Science Researcher ID: AGW-8627-2022, RSCI Author ID: 218546, SPIN-код: 7853-0545, канд. мед. наук, доцент, e-mail: o.o.pasynkova@yandex.ru; доцент кафедры фундаментальной медицины, Медицинский институт, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1.

**БУСИГИНА ОЛЬГА ВАЛЕРЬЕВНА**, ORCID: 0000-0001-7513-2217, RSCI Author ID: 1257271, SPIN-код: 4550-4393, канд. мед. наук, e-mail: busigina.olga@inbox.ru;

доцент кафедры лучевой диагностики и онкологии, Медицинский институт, ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет», Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1.

**КЛЮШКИН ИВАН ВЛАДИМИРОВИЧ**, ORCID: 0000-0002-5654-6710, докт. мед. наук, профессор, e-mail: hirurgivan@mail.ru; профессор кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, Казань, Россия, 420012, ул. Бутлерова 49; руководитель научно – образовательного отдела ГАУЗ «Городская клиническая больница No 7 им. М.Н. Садыкова» г. Казани, Россия, 420103, Казань, ул. Маршала Чуйкова, 54, Тел.: 8-843-236-06-52.

**ФАТЫХОВ РУСЛАН ИЛЬГИЗАРОВИЧ**, ORCID: 0000-0002-7322-8853 SPIN-код (РИНЦ) 1072-2995, Researcher ID (WOS) IAR-4981-2023, канд. мед. наук, e-mail: 74ruslan@rambler.ru; старший преподаватель кафедры общей хирургии ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, 420012, Россия, г. Казань, ул. Бутлерова, 49, научный руководитель отделения «Центр эндоурологии» ГАУЗ «Городская клиническая больница No 7 им. М.Н. Садыкова» г. Казани, Россия, 420103, Казань, ул. Маршала Чуйкова, 54; доцент кафедры лучевой диагностики и онкологии ФГБОУ ВО «Марийский государственный университет» Министерства образования и науки России, , Россия, 424000, г. Йошкар-Ола, пл. Ленина, 1.

## ABOUT THE AUTHORS:

**DMITRY V. PASYNKOV**, ORCID: 0000-0003-1888-2307, Scopus Author ID: 57194777454, Web of Science Researcher ID: HJH-2122-2023, RSCI Author ID: 963099, SPIN-code: 7264-3745, Dr. sc. med., e-mail: passynkov@mail.ru; Head of the Department of Diagnostic Radiology and Oncology, Medical Institute, Mari State University, 1 Lenin Sq., 424000 Yoshkar-Ola, Russia; Associate Professor at the Department of Diagnostic Ultrasound, Kazan State Medical Academy – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, 36 Butlerov str., 420012 Kazan, Russia; Head of the Department of Diagnostic Radiology, Republican Clinical Oncology Center of the Republic of Mari El, 22 Osipenko str., 424037 Yoshkar-Ola, Russia.

**EGOSHIN IVAN A.**, ORCID: 0000-0003-0717-0734, Scopus Author ID: 57194087483, RSCI Author ID: 763874, SPIN-code: 6250-9619, Cand. sc. tech., e-mail: jungl91@mail.ru; Junior Research Fellow, Research Section, Mari State University; 1 Lenin sq., 424001 Yoshkar-Ola, Russia.

**KOLCHEV ALEXEY A.**, ORCID: /0000-0002-1692-2558, Scopus Author ID: 6603495936; RSCI Author ID: 37701; SPIN-code: 8376-1748; Cand. sc. phys. and math., Associate Professor, e-mail: kolchevaa@mail.ru; Associate Professor at the Department of Radioastronomy, Kazan (Volga Region) Federal University; 18 Kremlevskaya str., Bldg. 1, 420008 Kazan, Russia.

**EVGENIA A. ATSEL**, ORCID: 0000-0002-1640-5411, Scopus Author ID: 57238933800, Web of Science Researcher ID: CAH-0748-2022, RSCI Author ID: 787920, SPIN-code: 1105-1470, Dr. sc. med., Associate Professor, e-mail: atzel@mail.ru; Professor at the Department of Therapy, Geriatrics and Family Medicine, Kazan State Medical Academy – Branch Campus of the Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, 36 Butlerov str., 420012 Kazan, Russia.

**OLGA O. PASYNKOVA**, ORCID: 0000-0001-9117-8151, Scopus Author ID: 8248104000, Web of Science Researcher ID AGW-8627-2022, RSCI Author ID 218546, SPIN-code: 7853-0545, Cand. sc. med., Associate Professor, e-mail: o.o.pasynkova@yandex.ru; Associate Professor at the Department of Fundamental Medicine, Medical Institute of Mari State University, 1 Lenin sq., 424000 Yoshkar-Ola, Russia.

**OLGA V. BUSYGINA**, ORCID: 0000-0001-7513-2217, RSCI Author ID: 1257271, SPIN-code: 4550-4393, e-mail: busigina.olga@inbox.ru; Associate Professor at the Department of Radiology and Oncology, Medical Institute, Mari State University, 1 Lenin sq., 424000 Yoshkar-Ola, Russia.

**IVAN V. KLYUSHKIN**, ORCID: 0000-0002-5654-6710, Dr. sc. med., Professor, e-mail: hirurgivan@mail.ru; Professor, Department of General Surgery, Kazan State Medical University, 49 Butlerov str., 420012 Kazan, Russia; Head of the Scientific and Educational Department, Kazan City Clinical Hospital No. 7, 54 Marshal Chuykov str., 420103 Kazan, Russia. Tel. +7 (843) 236-06-52.

**RUSLAN I. FATYKHOV**, ORCID: 0000-0002-7322-8853, SPIN-code (RINC) 1072-2995, Researcher ID (WoS) IAR-4981-2023, Cand. sc. med., e-mail: 74ruslan@rambler.ru; Senior Lecturer, Department of General Surgery, Kazan State Medical University, 49 Butlerov str., 420012 Kazan, Russia; Scientific Supervisor at the Center for Endourology, Kazan City Clinical Hospital No. 7, 54 Marshal Chuykov str., 420103 Kazan, Russia.