

ISSN 1607-0771(Print); ISSN 2408-9494 (Online)

<https://doi.org/10.24835/1607-0771-359>

# Роль мультипараметрического высокочастотного ультразвукового исследования базально-клеточного рака кожи при проведении фотодинамической терапии

Н.Ю. Маркина<sup>1,2</sup>, А.А. Зыков<sup>1\*</sup>, Е.К. Словоходов<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 15, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации; 121359 Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 19, стр. 1А, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России; 127006 Москва, ул. Долгоруковская, д. 4, Российская Федерация

**Цель исследования:** оценить возможности мультипараметрического ультразвукового исследования с использованием высокочастотных датчиков (18–24 МГц) для мониторинга ранних изменений после фотодинамической терапии (ФДТ) у пациентов с базально-клеточным раком кожи (БКРК).

**Материал и методы.** В проспективное одноцентровое исследование включен 31 пациент с 51 гистологически верифицированным очагом БКРК. Всем пациентам выполняли мультипараметрическое ультразвуковое исследование на ультразвуковом сканере Aplio i800 (Canon, Япония) с линейными датчиками частотой 18–24 МГц до и через 24 ч после сеанса ФДТ. Протокол включал оценку образования в В-режиме, в режимах доплеровского и энергетического картирования, в том числе с оценкой микрокровотока (ADF и SMI) с расчетом VI, при компрессионной эластографии и при флуоресцентной спектрометрии.

**Результаты.** До лечения все опухоли визуализировались в коже как гипоехогенные образования с четкими контурами, средней толщиной  $3,7 \pm 1,2$  мм, неоднородной солидной структуры, с выраженной васкуляризацией ( $VI 32,4 \pm 4,1$ ). Через 24 ч после ФДТ зафиксировано статистически значимое снижение VI до  $4,2 \pm 1,8$  ( $p < 0,001$ ). В В-режиме отмечены увеличение толщины опухоли до  $4,4 \pm 1,3$  мм, снижение четкости контуров и признаки перифокального отека.

**Маркина Наталья Юрьевна** – канд. мед. наук, заведующая отделением ультразвуковой диагностики, врач ультразвуковой диагностики ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации; доцент кафедры лучевой диагностики и терапии ФГБУ ДПО “Центральная государственная медицинская академия” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0009-0004-5495-6435>

**Зыков Артём Аркадьевич** – врач-онколог отделения торакоабдоминальной онкологии (с кабинетом фотодинамической терапии) ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России, Москва. <https://orcid.org/0009-0004-5687-2155>

**Словоходов Егор Константинович** – канд. мед. наук, ассистент кафедры паллиативной медицины ФГБОУ ВО “Российский университет медицины” Минздрава России; врач-онколог кабинета фотодинамической терапии ФГБУ “Центральная клиническая больница с поликлиникой” Управления делами Президента Российской Федерации, Москва. <https://orcid.org/0009-0004-2955-5402>

**Контактная информация\*:** Зыков Артём Аркадьевич – e-mail: [zykov.msk@gmail.com](mailto:zykov.msk@gmail.com)

Флуоресцентная контрастность снизилась с 1:4 до 1:1. Эластографические показатели не продемонстрировали значимой динамики в ранние сроки.

**Заключение.** Мультипараметрическое ультразвуковое исследование с высокочастотными датчиками (18–24 МГц) является информативным неинвазивным методом раннего контроля эффективности ФДТ. Наиболее значимым ультразвуковым маркером ответа на лечение служит выраженное снижение интратуморального кровотока, количественно оцениваемое с помощью микродоплеровских методик, что обусловлено ведущим механизмом действия ФДТ – фотохимическим повреждением сосудов микроциркуляторного русла опухоли и развитием коагуляционного некроза.

**Ключевые слова:** мультипараметрическое ультразвуковое исследование; фотодинамическая терапия; высокочастотный датчик; микродоплеровское картирование; эластография

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии возможных конфликтов интересов.

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Цитирование:** Маркина Н.Ю., Зыков А.А., Словоходов Е.К. Роль мультипараметрического высокочастотного ультразвукового исследования базально-клеточного рака кожи при проведении фотодинамической терапии. *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2026; 32 (2): 72–84. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-359>

Поступила в редакцию: 20.10.2025.

Принята к печати: 24.02.2026.

Опубликована online: 5.06.2026.

## ВВЕДЕНИЕ

Базально-клеточный рак кожи (БКРК) является наиболее распространенной злокачественной опухолью кожи среди представителей европеоидной расы. Заболеваемость продолжает расти, особенно среди лиц пожилого возраста [1]. В последние годы фотодинамическая терапия (ФДТ) заняла прочные позиции в лечении БКРК, особенно при локализации в эстетически значимых зонах и при множественных очагах, благодаря органосохраняющему принципу и хорошему косметическому результату [2]. Эффективность ФДТ основана на фотохимической реакции, запускаемой при взаимодействии накопившегося в опухоли фотосенсибилизатора со светом определенной длины волны, что приводит к разрушению опухолевой ткани, в первую очередь, за счет повреждения сосудов и ишемии [3].

Исторически мониторинг эффективности ФДТ основывался на клинической оценке и гистологическом исследовании, которые являются либо субъективными, либо инвазивными и отсроченными по времени. Внедрение в клиническую практику высокочастотных ультразвуковых датчиков с частотой сканирования 18–24 МГц открыло новые возможности для детальной визуализации кожи и ее патологических образований [4, 5].

Мультипараметрическое ультразвуковое исследование (мпУЗИ), объединяющее В-режим, доплеровское картирование кровото-

ка (включая чувствительные микрососудистые режимы, такие как SMI) и эластографию, появилось как закономерное развитие этой технологии. Оно потенциально позволяет комплексно оценивать как морфологические изменения опухоли, так и нарушения ее перфузии, возникающие в результате фотохимической реакции [6]. По сравнению с альтернативными методами визуализации, такими как оптическая когерентная томография или конфокальная микроскопия, высокочастотное УЗИ обладает большей глубиной проникновения, возможностью количественной оценки кровотока и широкой доступностью в клиниках. ФДТ была одобрена для лечения БКРК более двух десятилетий назад и с тех пор стала стандартом для поверхностных и некоторых нодулярных форм, особенно в эстетически значимых зонах (лицо, шея) [7]. Основными преимуществами ФДТ являются органосохраняющий характер, возможность лечения множественных очагов за один сеанс и отличный косметический результат. К альтернативным методам относятся хирургическое иссечение (“золотой стандарт” с наименьшим риском рецидива), криодеструкция, локальная иммунотерапия (имиквимод) и лучевая терапия. Выбор метода зависит от размера, локализации, гистологического подтипа опухоли, возраста пациента и сопутствующих заболеваний. Одной из актуальных задач явля-

ется разработка объективных методов контроля эффективности ФДТ, позволяющих оценить биологический ответ опухоли до появления видимых клинических изменений. Прогноз для пациентов с БКРК, получающих ФДТ, в целом благоприятен [7], но раннее выявление неэффективности процедуры могло бы позволить своевременно скорректировать тактику и улучшить отдаленные результаты. Использование мпУЗИ именно для мониторинга раннего ответа на ФДТ при БКРК до сих пор изучено недостаточно, особенно в плане количественного анализа изменений перфузии в 1-е сутки после процедуры.

**Цель исследования:** оценить возможности мпУЗИ с использованием высокочастотных датчиков (18–24 МГц) для мониторинга эффективности фотодинамической терапии у пациентов с базально-клеточным раком кожи.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В проспективное одноцентровое исследование за период с января по август 2025 г. было включено 36 пациентов (18 мужчин и 18 женщин, средний возраст  $74,5 \pm 8,3$  года) с цитологически или гистологически верифицированным БКРК. Всего оценке подвергнута 51 опухоль. У 11 (30,6%) пациентов наблюдались множественные базалиомы. Локализация новообразований была следующей: кожа головы и шеи – 42 (82,4%) пациента, туловище – 7 (13,7%), конечности – 2 (3,9%). Критериями не включения были склеродермоподобные и инфильтрирующие формы опухоли, а также ранее проведенное лечение в области поражения. Предварительно от каждого пациента было получено информированное согласие на участие в исследовании а также на представление данных в публикации. Всем пациентам проводился один сеанс ФДТ по стандартизированному протоколу. За 2 ч до светового воздействия внутривенно вводился фотосенсибилизатор на основе хлорина-Е6 в дозе 1 мг/кг массы тела. Облучение опухолей проводилось диодным лазером с длиной волны 662 нм. Протокол ФДТ: плотность мощности 200 мВт/см<sup>2</sup>, плотность энергии 200 Дж/см<sup>2</sup>. МпУЗИ выполнялось на ультразвуковой системе экспертного класса Aplio i800 (Canon, Япония) с использованием линейного мультисигментного дат-

чика i24LX8 с использованием прессетов с частотой 24 МГц непосредственно перед процедурой ФДТ и через 24 ч после нее. Протокол исследования включал:

- оценку в В-режиме: определяли локализацию, размеры (наибольший диаметр и максимальную толщину), форму, четкость контуров, эхогенность и эхоструктуру образования;
- оценку интратуморального кровотока с использованием режимов цветового доплеровского картирования (cSMI) и улучшенного динамического потока (ADF). Рассчитывался VI в режиме ADF;
- компрессионную эластографию для качественной и количественной (расчет strain-ratio) оценки жесткости тканей с использованием специальной накладки;
- совместно с мпУЗИ проводилась спектрометрия на аппарате БИОСПЕК ЛЭСА-01 для оценки флуоресцентной контрастности (соотношение опухоль/кожа).

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Statistica 10.0. Количественные параметры представлены как среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение. Для оценки достоверности различий применяли парный t-критерий Стьюдента для связанных выборок. Различия считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

До проведения ФДТ мпУЗИ позволило детально визуализировать каждую из 51 опухоли. В В-режиме БКРК представлял собой гипоэхогенное внутрикожное образование овальной или округлой формы с четкими ровными контурами, умеренно неоднородной структуры. Средний наибольший размер опухолей составил  $9,8 \pm 2,1$  мм, средняя максимальная толщина –  $3,7 \pm 1,2$  (1,7–6,8) мм. При доплеровском исследовании в режимах cSMI и ADF во всех образованиях визуализировался выраженный внутриопухолевый кровоток в виде множественных патологически деформированных сосудов. Среднее значение VI в режиме ADF до лечения составило  $32,4 \pm 4,1$  (18,6–45,3). При компрессионной эластографии опухоли демонстрировали картирование, характерное для образований повышенной жесткости, со средним значением strain-

**Таблица.** Динамика ультразвуковых параметров**Table.** Dynamics of ultrasonic parameters

Параметр	До ФДТ	24 ч после ФДТ	p-value
Количество пациентов (очагов)	31 (51)	31 (51)	–
Возраст, годы (M±SD)	74,5 ± 8,3	–	–
Максимальная толщина опухоли, мм (M ± SD; min–max)	3,7 ± 1,2 (1,7–6,8)	4,4 ± 1,3 (1,9–6,5)	<0,05
Наибольший диаметр опухоли, мм (M ± SD)	9,8 ± 2,1	11,2 ± 2,5	<0,05
Индекс васкуляризации (VI), % (M ± SD; min–max)	32,4 ± 4,1 (18,6–45,3)	4,2 ± 1,8 (0,2–9,0)	<0,001
Strain-ratio при эластографии (M ± SD)	4,25 ± 0,76	4,18 ± 0,81	>0,05
Флуоресцентная контрастность (опухоль/кожа)	1:4	1:1	–
Четкость контуров (B-режим)	Четкие	Снижена/нечеткие	–
Признаки перифокального отека (B-режим)	Отсутствуют	Присутствуют у 49 очагов (96,1%)	–

ratio  $4,25 \pm 0,76$  (2,8–5,9). При контрольном мПУЗИ через 24 ч после ФДТ были зафиксированы статистически значимые изменения ультразвуковых параметров в динамике (см. таблицу): в B-режиме отмечены незначительное увеличение средних размеров опухоли (наибольший диаметр до  $11,2 \pm 2,5$  (6,5–15,8) мм, толщина до  $4,4 \pm 1,3$  (1,9–6,5) мм;  $p < 0,05$ ), снижение четкости контуров, умеренное неравномерное повышение эхогенности, а также признаки перифокального отека (утолщение и повышение эхогенности окружающей кожи со снижением дифференцировки на слои). Наиболее значимым изменением явилось резкое, статистически значимое снижение VI в режиме ADF до среднего значения  $4,2 \pm 1,8$  (0,2–9,0;  $p < 0,001$  по сравнению с исходным уровнем). При этом отмечалось усиление васкуляризации в зоне перифокального отека. Эластографическая картина не продемонстрировала значимой динамики через 24 ч после процедуры. Флуоресцентная контрастность снизилась до 1:1. В окружающих опухоль тканях визуализировались отек и гиперемия.

Представляем 2 наиболее показательных клинических наблюдения.

#### Клиническое наблюдение 1

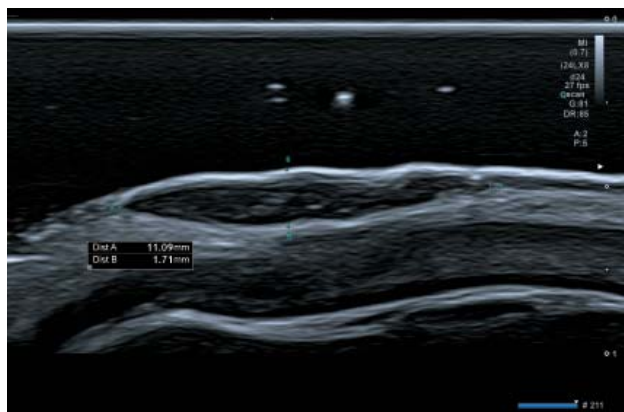
Пациент О., 85 лет, с БКРК кожи задней поверхности левой ушной раковины (cT1N0M0, I стадия) (рис. 1). При предоперационном мПУЗИ визуализировалось гипоехогенное образование толщиной 1,71 мм с четкими контурами, продолговатой формы, неоднородной струк-

туры, с мелкими гиперэхогенными включениями и признаками умеренной васкуляризации (VI 18,6%) (рис. 2–4). При контрольном исследовании через 24 ч после ФДТ отмечено (рис. 5) увеличение толщины опухоли до 1,89 мм со снижением четкости контуров. При доплеровском исследовании зафиксировано резкое снижение интратуморального кровотока: VI в режиме ADF снизился до 0,2%, в режиме SMI визуализировалось полное отсутствие цветовых сигналов в проекции опухолевой ткани (рис. 6, 7).



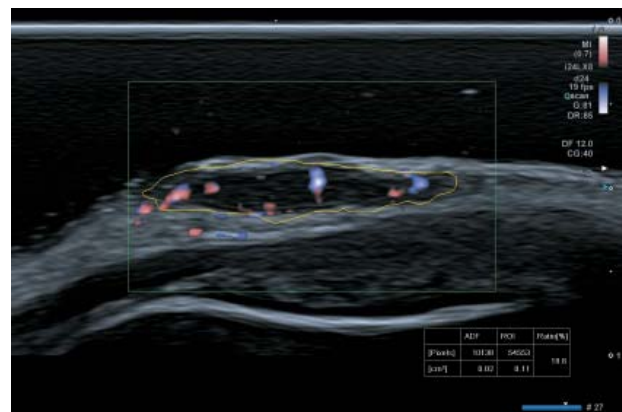
**Рис. 1.** Пациент О., 85 лет. БКРК задней поверхности левой ушной раковины до проведения ФДТ. Клиническая картина базалиомы.

**Fig. 1.** Patient O., 85 years old. Basal cell carcinoma (BCC) of the posterior left auricle before photodynamic therapy (PDT). Clinical presentation of basal cell carcinoma.



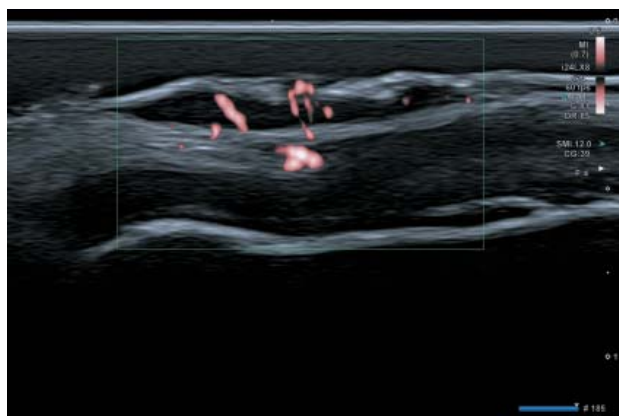
**Рис. 2.** Эхограмма БКРК задней поверхности левой ушной раковины до проведения ФДТ, В-режим: гипоехогенное образование (+.....+). Отмечены наибольший диаметр (Dist A: 11,09 мм) и толщина (Dist B: 1,71 мм) опухоли.

**Fig. 2.** Ultrasound image of a basal cell carcinoma of the posterior left auricle before photodynamic therapy (PDT), B-mode: hypoechoic lesion (+.....+). The largest diameter (Dist A: 11.09 mm) and thickness (Dist B: 1.71 mm) of the tumor are noted.



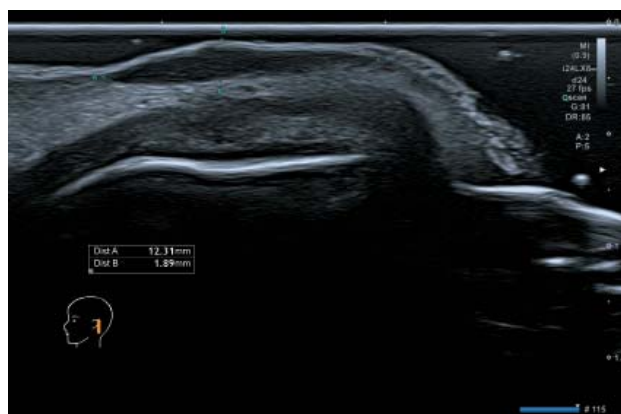
**Рис. 3.** Эхограмма БКРК задней поверхности левой ушной раковины до проведения ФДТ, режим улучшенного динамического потока (ADF) с количественным анализом: визуализируется интратуморальный кровоток. VI (Ratio) в области интереса (ROI) составляет 18,6% (площадь васкуляризованной ткани ADF – 10 130 пикселей, общая площадь ROI – 54 553 пикселя).

**Fig. 3.** Ultrasound image of a basal cell carcinoma of the posterior left auricle before PDT, advanced dynamic flow (ADF) mode with quantitative analysis: intratumoral blood flow is visualized. The VI (Ratio) in the region of interest (ROI) is 18.6% (ADF vascularized tissue area – 10,130 pixels, total ROI area – 54,553 pixels).



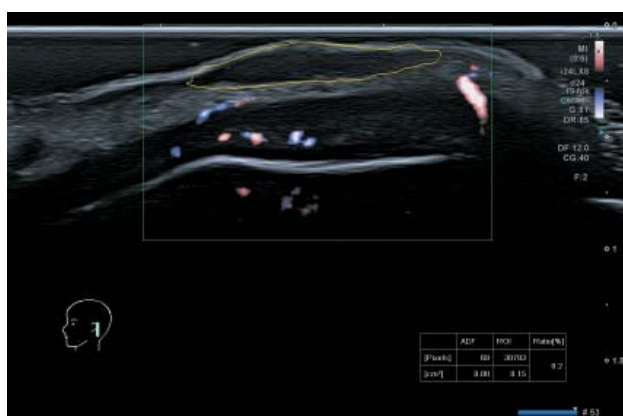
**Рис. 4.** Эхограмма БКРК задней поверхности левой ушной раковины до проведения ФДТ, режим SMI (Superb Micro-Vascular Imaging): выраженный интратуморальный кровоток, характеризующийся множественными хаотично расположенными цветовыми сигналами, что соответствует патологическому неоваскулярированию, типичному для базально-клеточного рака. Данный режим позволяет детально оценить архитектуру микрососудов опухоли. Параметры сканирования: Mechanical Index (MI) – 0,7, частота кадров – 60 fps, цветовое усиление (CG) – 39.

**Fig. 4.** Ultrasound image of the basal cell carcinoma (BCC) of the posterior left auricle before PDT, SMI (Superb Micro-Vascular Imaging) mode: prominent intratumoral blood flow, characterized by multiple randomly distributed color signals, consistent with pathological neoangiogenesis typical for BCC. This mode allows for a detailed assessment of the tumor microvascular architecture. Mechanical Index (MI) – 0.7, frame rate – 60 fps, color gain (CG) – 39.



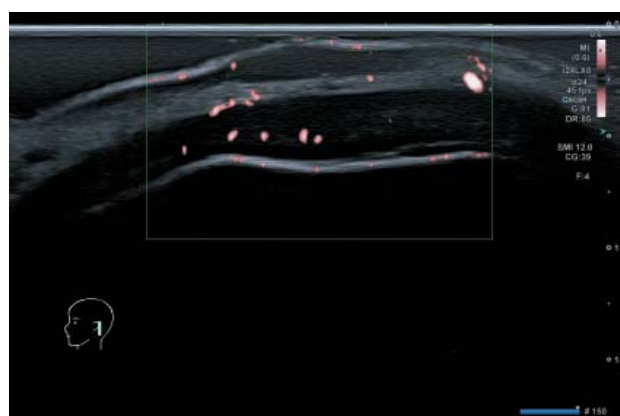
**Рис. 5.** Пациент О. Эхограмма БКРК задней поверхности левой ушной раковины через 24 ч после проведения ФДТ, В-режим: отмечается увеличение толщины опухоли до 1,89 мм (Dist B) и наибольшего диаметра до 12,31 мм (Dist A) по сравнению с исходным состоянием, а также снижение четкости контуров образования, что связано с развитием перифокального отека и воспалительной реакции.

**Fig. 5.** Patient O. B-mode ultrasound image of the posterior left auricle 24 hours after PDT. An increase in tumor thickness to 1.89 mm (Dist B) and maximum diameter to 12.31 mm (Dist A) compared to baseline is noted. Lesions also appear less clearly defined, which is associated with the development of perifocal edema and an inflammatory reaction.



**Рис. 6.** БКРК через 24 ч после проведения ФДТ, режим улучшенного динамического потока (ADF) с количественным анализом: резкое снижение интратуморального кровотока. VI (Ratio) снизился до 0,2% (площадь васкуляризованной ткани ADF – 68 пикселей, общая площадь ROI – 30 793 пикселя), что свидетельствует о практически полном прекращении перфузии опухоли на фоне фотонекроза.

**Fig. 6.** BCC 24 hours after PDT, advanced dynamic flow (ADF) mode with quantitative analysis: a sharp decrease in intratumoral blood flow. The ratio (VI) decreased to 0.2% (ADF vascularized tissue area – 68 pixels, total ROI – 30,793 pixels), indicating almost absent tumor perfusion due to photonecrosis.



**Рис. 7.** БКРК через 24 ч после проведения ФДТ, режим сверхчувствительного микросудистого картирования (SMI): полное отсутствие цветных сигналов в проекции опухолевой ткани, что качественно подтверждает прекращение интратуморального кровотока, зафиксированное в режиме ADF.

**Fig. 7.** BCC 24 hours after PDT, Superb Micro-Vascular Imaging (SMI) mode: complete absence of color signals in the tumor tissue projection, qualitatively confirming the cessation of intratumoral blood flow recorded in ADF mode.

### Клиническое наблюдение 2

Пациент Т., 87 лет, с БКРК кожи спинки носа и правой щеки (сT1N0M0, I стадия) (рис. 8, 9). При предоперационном мПУЗИ визуализировались гипоэхогенные образования с четкими контурами: на спинке носа (рис. 10, 11) толщиной 2,80 мм, неправильной формы, неоднородной структуры, с VI 12,5%, на правой щеке (рис. 12) толщиной 3,16 мм, неправильной формы, неоднородной структуры с VI 10,3%

(рис. 13). При контрольном исследовании через 24 ч после ФДТ отмечены разнонаправленные изменения: на спинке носа (рис. 14–16) – увеличение толщины до 3,28 мм с резким обеднением кровотока и умеренным снижением VI до 9,0%; на правой щеке (рис. 15) – уменьшение толщины до 2,19 мм с резким снижением VI до 0,5% и минимальным количеством цветовых сигналов в режиме SMI (рис. 17–19).



**Рис. 8.** Пациент Т. БКРК спинки носа до проведения ФДТ. Клиническая картина базалиомы.

**Fig. 8.** Patient T. Basal cell carcinoma of the skin of the nasal dorsum before photodynamic therapy. Clinical presentation of basal cell carcinoma.



**Рис. 9.** Пациент Т. БКРК правой щеки до проведения ФДТ. Клиническая картина базалиомы

**Fig. 9.** Patient T. Basal cell carcinoma of the right cheek before photodynamic therapy. Clinical presentation of basal cell carcinoma.



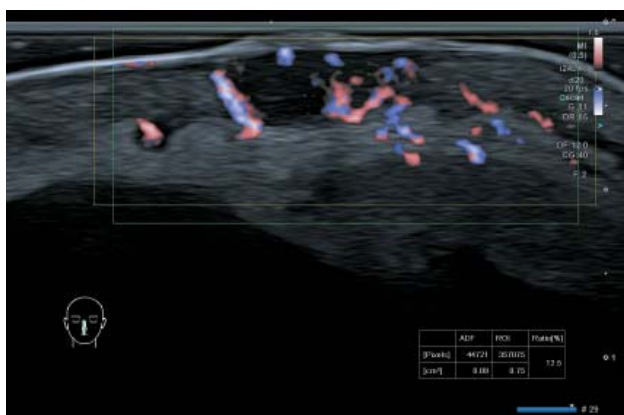
**Рис. 10.** Эхограмма БКРК спинки носа до проведения ФДТ, В-режим: гипоехогенное образование с четкими контурами. Наибольший диаметр (Dist A: 7,29 мм) и толщина (Dist B: 2,80 мм) опухоли.

**Fig. 10.** Ultrasound image of basal cell carcinoma of the nasal dorsum before photodynamic therapy, B-mode: hypoechoic lesion with clear margins. Largest diameter (Dist A: 7.29 mm) and thickness (Dist B: 2.80 mm) of the tumor.



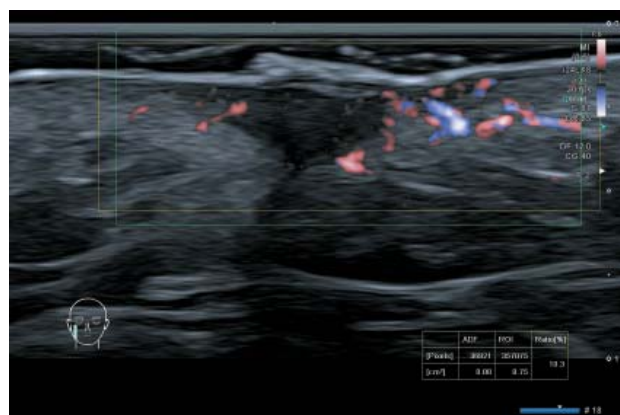
**Рис. 12.** Эхограмма БКРК правой щеки до проведения ФДТ, В-режим: гипоехогенное образование с четкими контурами (+...+). Наибольший диаметр (Dist A: 11,57 мм) и толщина (Dist B: 3,16 мм) опухоли.

**Fig. 12.** Ultrasound image of basal cell carcinoma of the right cheek before photodynamic therapy, B-mode: hypoechoic lesion with clear contours (+...+). Largest diameter (Dist A: 11.57 mm) and thickness (Dist B: 3.16 mm) of the tumor.



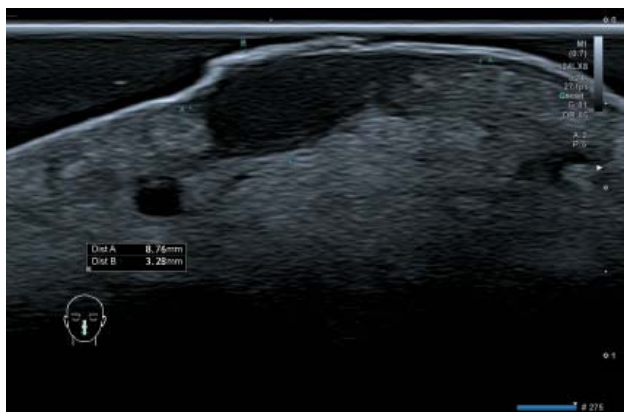
**Рис. 11.** Эхограмма БКРК спинки носа до проведения ФДТ, режим улучшенного динамического потока (ADF) с количественным анализом: визуализируется выраженный интратуморальный кровоток. Индекс васкуляризации (Ratio) в области интереса (ROI) составляет 12,5% (площадь васкуляризованной ткани ADF – 44 721 пиксель, общая площадь ROI – 357 075 пикселей), что объективно подтверждает гиперваскуляризацию образования.

**Fig. 11.** Ultrasound image of basal cell carcinoma of the nasal dorsum before photodynamic therapy, advanced dynamic flow (ADF) mode with quantitative analysis: prominent intratumoral blood flow is visible. The vascularization index (Ratio) in the region of interest (ROI) is 12.5% (ADF vascularized tissue area – 44,721 pixels, total ROI area – 357,075 pixels), which objectively confirms the hypervascularization of the lesion.



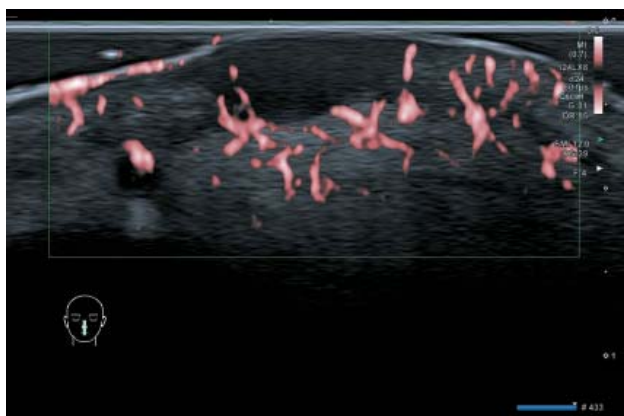
**Рис. 13.** Эхограмма БКРК правой щеки до проведения ФДТ, режим улучшенного динамического потока (ADF) с количественным анализом: визуализируется интратуморальный кровоток. VI (Ratio) в области интереса (ROI) составляет 10,3% (площадь васкуляризованной ткани ADF – 36 921 пиксель, общая площадь ROI – 357 075 пикселей), что объективно подтверждает умеренную гиперваскуляризацию образования.

**Fig. 13.** Ultrasound image of basal cell carcinoma of the right cheek before photodynamic therapy, enhanced dynamic flow (ADF) mode with quantitative analysis: intratumoral blood flow is visible. The VI (Ratio) in the region of interest (ROI) is 10.3% (ADF vascularized tissue area – 36,921 pixels, total ROI area – 357,075 pixels), which objectively confirms moderate hypervascularization of the lesion.



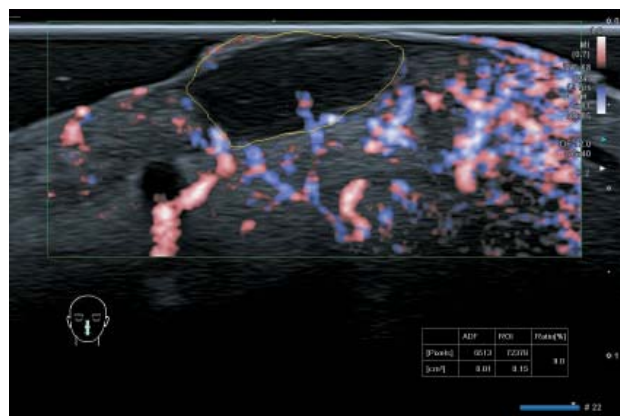
**Рис. 14.** Пациент Т. Эхограмма БКРК спинки носа через 24 ч после проведения ФДТ, В-режим: отмечается увеличение толщины опухоли до 3,28 мм (Dist B) и снижение четкости контуров образования (указано стрелками) по сравнению с исходным состоянием, что связано с развитием перифокального отека и воспалительной реакции на фотохимическое воздействие.

**Fig. 14.** Patient T. Ultrasound image of basal cell carcinoma of the nasal dorsum 24 hours after photodynamic therapy (PDT), B-mode: an increase in tumor thickness to 3.28 mm (Dist B) and less clearly defined lesion contours (indicated by arrows) compared to the baseline are noted, which is associated with the development of perifocal edema and an inflammatory reaction to photochemical exposure.



**Рис. 15.** Эхограмма БКРК спинки носа через 24 ч после проведения ФДТ, режим сверхчувствительного микрососудистого картирования (SMI): визуализируется уменьшение количества цветных сигналов по сравнению с исходным состоянием, что качественно подтверждает снижение васкуляризации образования.

**Fig. 15.** Ultrasound image of a basal cell carcinoma of the nasal dorsum 24 hours after photodynamic therapy, Superb Micro-Vascular Imaging (SMI) mode: a decrease in the number of color signals compared to the baseline is visualized, qualitatively confirming a decrease in vascularization of the lesion.



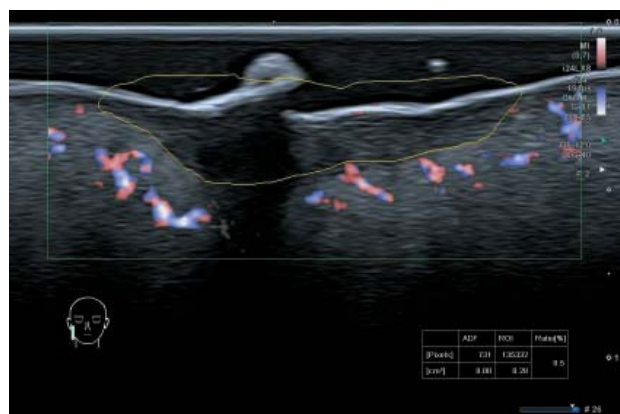
**Рис. 16.** Эхограмма БКРК спинки носа через 24 ч после проведения ФДТ, режим улучшенного динамического потока (ADF) с количественным анализом: зафиксировано снижение интратуморального кровотока. VI (Ratio) снизился до 9,0% (площадь васкуляризованной ткани ADF – 8 513 пикселей, общая площадь ROI – 72 378 пикселей), что демонстрирует умеренное снижение перфузии опухоли.

**Fig. 16.** Ultrasound image of a basal cell carcinoma of the nasal dorsum 24 hours after photodynamic therapy (PDT), advanced dynamic flow (ADF) mode with quantitative analysis: a decrease in intratumoral blood flow is noted. VI (Ratio) decreased to 9.0% (ADF vascularized tissue area – 8513 pixels, total ROI area – 72378 pixels), demonstrating a moderate decrease in tumor perfusion.



**Рис. 17.** Эхограмма БКРК правой щеки через 24 ч после проведения ФДТ, В-режим: отмечается уменьшение толщины опухоли до 2,19 мм (Dist B) и снижение четкости контуров образования (+...+) по сравнению с исходным состоянием.

**Fig. 17.** Ultrasound image of a basal cell carcinoma of the right cheek 24 hours after photodynamic therapy, B-mode: a decrease in tumor thickness to 2.19 mm (Dist B) and decreased lesion contour definition (+...+) compared to baseline are noted.



**Рис. 18.** Эхограмма БКРК правой щеки через 24 ч после проведения ФДТ, режим улучшенного динамического потока (ADF) с количественным анализом: зафиксировано резкое снижение интратуморального кровотока. VI (Ratio) снизился до 0,5% (площадь васкуляризованной ткани ADF – 731 пиксель, общая площадь ROI – 135 332 пикселя), что свидетельствует о практически полном прекращении перфузии опухоли.

**Fig. 18.** Ultrasound image of a basal cell carcinoma of the right cheek 24 hours after photodynamic therapy, advanced dynamic flow (ADF) mode with quantitative analysis: a sharp decrease in intratumoral blood flow is noted. VI (Ratio) decreased to 0.5% (ADF vascularized tissue area – 731 pixels, total ROI area – 135,332 pixels), indicating almost absent tumor perfusion.



**Рис. 19.** Эхограмма БКРК правой щеки через 24 ч после проведения ФДТ, режим сверхчувствительного микрососудистого картирования (SMI): визуализируется минимальное количество цветных сигналов, что качественно подтверждает выраженное снижение васкуляризации образования.

**Fig. 19.** Ultrasound image of a basal cell carcinoma of the right cheek 24 hours after photodynamic therapy, Superb Micro-Vascular Imaging (SMI) mode: minimal color signals are visualized, qualitatively confirming a significant decrease in vascularization of the lesion.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные результаты демонстрируют высокую чувствительность мПУЗИ в оценке ранних изменений в опухоли после ФДТ. Системное введение фотосенсибилизатора и стандартизированные параметры светового воздействия (662 нм, 200 Дж/см<sup>2</sup>) обеспечивают сопоставимость результатов и воспроизводимость протокола фотодинамической терапии [3, 8]. Резкое снижение интратуморальной васкуляризации, количественно оцененное с помощью VI в режиме ADF, является прямым следствием ведущего механизма действия ФДТ – фотохимического повреждения сосудов микроциркуляторного русла опухоли и развития коагуляционного некроза. Значимое снижение кровотока является наиболее ранним ультразвуковым маркером эффективности проводимого лечения – развитие эндотелиального повреждения, агрегация тромбоцитов и прекращение перфузии предшествуют структурным изменениям в опухоли [9]. Изменения в В-режиме (увеличение размеров, нечеткость контуров, повышение эхогенности, перифокальный отек), отмечаемые к 24-му часу, соответствуют развитию локальной воспалительной реакции и ишемии в зоне фотодинамического воздействия, включающего опухоль и прилежащие на расстоянии 3–5 мм ткани, и также косвенно подтверждают запуск терапевтического процесса. Интересно, что в отдельных случаях (Клиническое наблюдение 2) наблюдали разнонаправленную динамику толщины опухоли (увеличение на спинке носа и уменьшение на щеке), что, вероятно, отражает индивидуальные особенности воспалительного ответа и степени начавшегося некроза, но при этом в обоих случаях было зафиксировано резкое падение VI.

Отсутствие значимых изменений при компрессионной эластографии в 1-е сутки, вероятно, связано с тем, что фиброзные изменения и ремоделирование тканей, влияющие на жесткость, являются более отсроченными процессами по сравнению с сосудистыми нарушениями. Снижение флуоресцентной контрастности до 1:1 свидетельствует о деструкции опухолевых клеток, накопивших фотосенсибилизатор, и подтверждает эффективность проведенного фотохимического воздействия.

Ключевым аспектом настоящего исследования является его принципиальная новизна. Несмотря на то что высокочастотное УЗИ активно используется для диагностики и стадирования БКРК [10–12], а метод ФДТ широко применяется для его лечения [7], комплексное применение мПУЗИ для мониторинга раннего (через 24 ч) ответа на системную ФДТ у пациентов с БКРК ранее в доступной литературе не описывалось.

Таким образом, настоящая работа представляет первое проспективное исследование, в котором детально изучена динамика ультразвуковых параметров в 1-е сутки после сеанса ФДТ. Предложенный протокол впервые устанавливает объективные количественные критерии раннего ответа (снижение индекса васкуляризации VI в среднем с 32,4 до 4,2%), которые могут служить предиктором успеха лечения задолго до формирования видимого клинического и косметического результата. Этот подход открывает возможности для персонализации терапии: раннее выявление неэффективности процедуры по данным УЗИ может стать основанием для своевременного решения о повторном сеансе ФДТ или смене лечебной тактики.

Проведенное исследование имеет некоторые ограничения, включая относительно небольшой размер выборки и короткий срок наблюдения. Кроме того, в исследовании не включались инфильтрирующие формы БКРК, для которых эффективность ФДТ может быть иной. Необходимы дальнейшие исследования для корреляции ранних ультразвуковых изменений с отдаленными клиническими результатами и частотой рецидивов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мультипараметрическое УЗИ кожи с использованием высокочастотных датчиков (18–24 МГц) является высокоинформативным неинвазивным методом, который обеспечивает прецизионную оценку характеристик БКРК на этапе планирования ФДТ. Наиболее значимым критерием непосредственной эффективности ФДТ является выраженное снижение внутриопухолевого кровотока, количественно оцениваемое с помощью микродоплеровских методик (сSMI, ADF). Динамика ультразвуковых

параметров (утолщение опухоли, нарушение целостности базальной мембраны, полное прекращение интрагуморального кровотока) в сочетании со снижением флуоресцентной контрастности через 24 ч после процедуры является объективным и ранним маркером эффективности задолго до формирования окончательного клинического и косметического результата. Метод может быть рекомендован для рутинного использования в алгоритме проведения и мониторинга ФДТ БКРК.

#### Участие авторов

Маркина Н.Ю. – концепция и дизайн исследования, проведение исследования, conducting research, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Зыков А.А. – проведение исследования, сбор и обработка данных, обзор публикаций по теме статьи, анализ и интерпретация полученных данных, написание текста, подготовка, создание опубликованной работы, ответственность за целостность всех частей статьи.

Словоходов Е.К. – концепция и дизайн исследования, подготовка и редактирование текста, утверждение окончательного варианта статьи.

#### Authors' participation

Markina N.Y. – concept and design of the study, conducting research, analysis and interpretation of the obtained data, text preparation and editing.

Zykov A.A. – conducting research, collection and analysis of data, analysis and interpretation of the obtained data, review of publications, writing text, preparation and creation of the published work, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Slovokhodov E.K. – concept and design of the study, text preparation and editing, approval of the final version of the article.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ [REFERENCES]

- Peris K., Fagnoli M.C., Garbe C. et al. Diagnosis and treatment of basal cell carcinoma: European consensus-based interdisciplinary guidelines. *Eur. J. Cancer*. 2019; 118: 10–34. <https://doi.org/10.1016/j.ejca.2019.06.003>
- Morton C.A., Szeimies R.M., Basset-Seguín N. et al. European Dermatology Forum guidelines on topical photodynamic therapy 2019 Part 1: treatment delivery and established indications – actinic keratosis, Bowen's disease and basal cell carcinomas. *J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol.* 2019; 33 (12): 2225–2238. <https://doi.org/10.1111/jdv.16017>
- Agostinis P., Berg K., Cengel K.A. et al. Photodynamic therapy of cancer: an update. *CA Cancer J. Clin.* 2011; 61 (4): 250–281. <https://doi.org/10.3322/caac.20114>
- Wortsman X. Ultrasound in Skin Cancer: Why, How, and When to Use It? *Cancers*. 2024; 16 (19): 3301. <https://doi.org/10.3390/cancers16193301>
- Crisan D., Tarnowietzki E., Bernhard L. et al. Rationale for Using High-Frequency Ultrasound as a Routine Examination in Skin Cancer Surgery: A Practical Approach. *J. Clin. Med.* 2024; 13 (7): 2152. <https://doi.org/10.3390/jcm13072152>
- Austin E., Wang J.Y., Ozog D.M. et al. Photodynamic Therapy: Overview and Mechanism of Action. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2025; S0190-9622(25)00321-4. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2025.02.037>
- Wang J.Y., Zeitouni N., Austin E. et al. Photodynamic Therapy: Clinical Applications in Dermatology. *J. Am. Acad. Dermatol.* 2025; S0190-9622(25)00322-6. <https://doi.org/10.1016/j.jaad.2024.12.050>
- Canti G., De Simone A., Korbelik M. Photodynamic therapy and the immune system in experimental oncology. *Photochem. Photobiol. Sci.* 2002; 1 (1): 79–80. <https://doi.org/10.1039/b107764g>
- Płocka M., Czajkowski R. High-frequency ultrasound in the diagnosis and treatment of skin neoplasms. *Postepy Dermatol. Alergol.* 2023; 40 (2): 204–207. <https://doi.org/10.5114/ada.2023.127638>
- Boostani M., Wortsman X., Pellacani G. et al. Dermoscopy-guided high-frequency ultrasound for preoperative assessment of basal cell carcinoma lateral margins: a pilot study. *Br. J. Dermatol.* 2025; 193 (3): 572–574. <https://doi.org/10.1093/bjd/ljaf209>
- Szalai K., Tóth K., Hársing J. et al. High-Frequency Ultrasound Assessment of Basal Cell Carcinoma: Correlations Between Histopathological Subtype, Vascularity, and Age/Sex Distribution. *Cancers (Basel)*. 2026; 18 (2): 274. <https://doi.org/10.3390/cancers18020274>
- Feng M.C., Liang J.F., Chen Y.X. et al. Construction of an Aggressiveness Diagnostic Model for Basal Cell Carcinoma Using Multimodal Ultrasound Features. *J. Ultrasound Med.* 2025; 44 (10): 1839–1848. <https://doi.org/10.1002/jum>

# The Role of Multiparametric High-Frequency Ultrasound of Basal Cell Carcinoma in Photodynamic Therapy

N.Y. Markina<sup>1,2</sup>, A.A. Zykov<sup>1\*</sup>, E.K. Slovokhodov<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation; 15, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation

<sup>2</sup> Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation; 19-1A, Marshal Timoshenko str., Moscow 121359, Russian Federation

<sup>3</sup> The Russian University of Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; 4, Dolgorukovskaya str., Moscow 127006, Russian Federation

**Natalia Yu. Markina** – MD, PhD (Med.), Head of the Ultrasound Diagnostics Department, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation; Associate Professor of the Department of Radiation Diagnostics and Therapy, Central State Medical Academy of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0004-5495-6435>

**Artyom A. Zykov** – MD, Oncologist, Thoracoabdominal Oncology department (with Photodynamic Therapy Unit), Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0004-5687-2155>

**Egor K. Slovokhodov** – MD, PhD (Med.), Assistant Professor of the Department of Palliative Medicine, The Russian University of Medicine of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation; Oncologist, Photodynamic Therapy Unit, Central Clinical Hospital of the Presidential Administration of the Russian Federation, Moscow. <https://orcid.org/0009-0004-2955-5402>

**Correspondence\*** to Dr. Artem A. Zykov – e-mail: [zykov.msk@gmail.com](mailto:zykov.msk@gmail.com)

**Objective:** To evaluate the potential of multiparametric high-frequency ultrasound (18–24 MHz) for monitoring early changes after photodynamic therapy (PDT) in patients with basal cell carcinoma (BCC).

**Materials and Methods.** The prospective, single-center study included 31 patients with 51 histologically confirmed basal cell carcinoma lesions. All patients underwent multiparametric ultrasound imaging using an Aplio i800 ultrasound scanner (Canon, Japan) with 18–24 MHz linear transducers before and 24 hours after the PDT session. The protocol included evaluation of the tumor using B-mode, Doppler, and power Doppler mapping, including microcirculation (ADF and SMI) assessment with VI calculation, strain elastography, and fluorescence spectrometry.

**Results.** Before treatment, all cutaneous lesions were presented as hypoechoic lesions with clear margins, an average thickness of  $3.7 \pm 1.2$  mm, a heterogeneous solid structure, and hypervascularisation ( $VI 32.4 \pm 4.1$ ). 24-hours after PDT, a statistically significant decrease in VI to  $4.2 \pm 1.8$  ( $p < 0.001$ ) was observed. B-mode revealed an increase in tumor thickness to  $4.4 \pm 1.3$  mm, decreased marginal clarity, and signs of perifocal edema. Fluorescence contrast decreased from 1:4 to 1:1. Elastography did not show significant changes in the early stages.

**Conclusion.** Multiparametric ultrasound with high-frequency transducers (18–24 MHz) is an informative, noninvasive method for early monitoring of PDT efficacy. The most significant ultrasound feature of treatment response is a significant reduction in intratumoral blood flow, quantified using micro-Doppler techniques. This is due to the primary mechanism of PDT action – photochemical damage to tumor microvasculature and the development of coagulative necrosis.

**Keywords:** multiparametric ultrasound; photodynamic therapy; high-frequency transducer; micro-Doppler mapping; elastography

**Conflict of interests.** The authors have no conflicts of interest to declare.

**Financing.** This study had no sponsorship.

**Citation:** Markina N.Y., Zykov A.A., Slovokhodov E.K. The Role of Multiparametric High-Frequency Ultrasound of Basal Cell Carcinoma in Photodynamic Therapy. *Ultrasound and Functional Diagnostics*. 2026; 32 (2): 72–84. <https://doi.org/10.24835/1607-0771-359> (In Russian)

Received: 20.10.2025.

Accepted for publication: 24.02.2026.

Published online: 5.06.2026.