УДК:615.831:616.53-002.25-08-035.1

ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ В ЛЕЧЕНИИ АКНЕ: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ

ХАЙИТОВ Б.Д.[1], ХОДЖАЕВА Н.Б.[1]

Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр дерматовенерологии и косметологии МЗ РУз, г. Ташкент

https://doi.org/10.5281/zenodo.21355089

АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор современных литературных данных о патогенезе акне, роли оксидативного стресса, методах традиционной и аппаратной терапии, а также о механизмах действия и клинической эффективности фотодинамической терапии с применением 5-аминолевулиновой кислоты (5-АЛА). Рассмотрены возможности современных инструментальных методов диагностики — 3D-диагностики кожи и исследования уровня реактивных метаболитов кислорода (d-ROMs) и общего антиоксидантного потенциала (PAT) — в объективизации оценки тяжести заболевания и мониторинге эффективности лечения. Анализ литературы свидетельствует о высокой терапевтической перспективности фотодинамической терапии как альтернативы традиционным схемам лечения акне, особенно при среднетяжёлых и тяжёлых формах заболевания.

Ключевые слова: *акне, фотодинамическая терапия, 5-аминолевулиновая кислота, оксидативный стресс, реактивные метаболиты кислорода (d-ROMs), антиоксидантный потенциал (PAT), Cutibacterium acnes, 3D-диагностика кожи.*

ANNOTATSIYA

Maqolada akne patogenezi, oksidativ stressning roli, an'anaviy va apparat terapiya usullari, shuningdek 5-aminolevulin kislotasi (5-ALA) qo'llanilgan fotodinamik terapiyaning ta'sir mexanizmlari va klinik samaradorligi bo'yicha zamonaviy adabiyot ma'lumotlari sharhi keltirilgan. Kasallik og'irligini ob'ektiv baholash va davolash samaradorligini kuzatishda zamonaviy instrumental diagnostika usullarining — terining 3D-diagnostikasi va reaktiv kislorod metabolitlari (d-ROMs) hamda umumiy antioksidant potentsial (PAT) ko'rsatkichlarining — imkoniyatlari ko'rib chiqilgan. Adabiyotlar tahlili fotodinamik terapiyaning, ayniqsa o'rta og'ir va og'ir shakllarda, an'anaviy akne davolash sxemalariga muqobil sifatida yuqori darajadagi terapevtik istiqbolini ko'rsatadi.

Kalit so'zlar: *akne, fotodinamik terapiya, 5-aminolevulin kislotasi, oksidativ stress, reaktiv kislorod metabolitlari (d-ROMs), antioksidant potentsial (PAT), Cutibacterium acnes, terini 3D-diagnostikasi.*

ABSTRACT

The article reviews current literature data on the pathogenesis of acne, the role of oxidative stress, traditional and hardware treatment methods, as well as the mechanisms of action and clinical efficacy of photodynamic therapy using 5-aminolevulinic acid (5-ALA). The possibilities of modern instrumental diagnostic methods — 3D skin diagnostics and assessment of reactive oxygen metabolites (d-ROMs) and total antioxidant potential (PAT) — in objectifying disease severity assessment and treatment efficacy monitoring are considered. Literature analysis indicates high therapeutic potential

of photodynamic therapy as an alternative to traditional acne treatment regimens, especially in moderate and severe forms of the disease.

Key words: *acne vulgaris, photodynamic therapy, 5-aminolevulinic acid, oxidative stress, reactive oxygen metabolites (d-ROMs), antioxidant potential (PAT), Cutibacterium acnes, 3D skin diagnostics.*

ВВЕДЕНИЕ.

Акне (acne vulgaris, угревая болезнь) является одним из наиболее распространённых хронических воспалительных заболеваний кожи, поражающим до 80–90% подростков и значительную часть взрослого населения во всём мире [1, 2]. По данным эпидемиологических исследований, акне входит в число ведущих дерматологических нозологий, оказывающих существенное влияние на качество жизни пациентов, формирование психоэмоциональных нарушений и социальной дезадаптации [3, 4]. Несмотря на широкую распространённость и высокую медико-социальную значимость, проблема эффективного лечения акне по-прежнему остаётся нерешённой.

В странах Центральной Азии, включая Республику Узбекистан, отмечается устойчивая тенденция к увеличению числа пациентов с хроническими формами акне и постакне, что связывают с урбанизацией, изменением образа жизни и экологическими факторами [5, 6]. В клинической практике Узбекистана также отмечается рост устойчивости к традиционной терапии и высокая частота рецидивов после прекращения лечения [7].

В связи с этим всё большее внимание уделяется физическим и комбинированным методам лечения, в частности фотодинамической терапии (ФДТ), обладающей противовоспалительным, себостатическим и антимикробным действием [8, 9]. Целью настоящего обзора является анализ современных данных о патогенезе акне, методах его диагностики и лечения, а также оценка перспектив применения фотодинамической терапии с использованием 5-аминолевулиновой кислоты (5-АЛА).

ПАТОГЕНЕЗ АКНЕ: СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ

Патогенез акне является многофакторным и включает четыре ключевых звена: гиперсекрецию кожного сала (себума), нарушение процессов фолликулярной кератинизации, колонизацию сально-волосяного фолликула Cutibacterium acnes (C. acnes) и развитие воспалительной реакции с участием врождённого и адаптивного иммунитета [10, 11].

Гиперсекреция себума является одним из первичных триггеров акне. Андрогены, в первую очередь дигидротестостерон (ДГТ), стимулируют себоциты, приводя к увеличению объёма и качественному изменению состава кожного сала. Повышение доли сквалена и снижение концентрации линолевой кислоты в себуме создают среду, благоприятную для пролиферации C. acnes и образования комедонов [12]. Нарушение нормальной кератинизации инфундибулума фолликула ведёт к закупорке устья фолликула и формированию микрокомедонов — морфологической основы всех элементов акне [13].

C. acnes — грамположительная анаэробная бактерия — играет ключевую роль в патогенезе акне. Продуцируя липазы, протеазы и другие вирулентные факторы, C. acnes активирует Toll-подобные рецепторы (TLR-2, TLR-4) кератиноцитов и себоцитов, запуская каскад воспалительных реакций с секрецией провоспалительных цитокинов — IL-1α, IL-1β, TNF-α, IL-6, IL-8 [14, 15]. Воспаление при акне носит не только поверхностный, но и глубокий перифолликулярный характер, что обусловливает формирование узлов, кист и последующих рубцовых изменений.

РОЛЬ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА ПРИ АКНЕ. МЕТОД d-ROMs/PAT

В последние годы доказана существенная роль оксидативного стресса в

патогенезе акне. Активные формы кислорода (АФК), продуцируемые нейтрофилами и макрофагами в ответ на колонизацию C. acnes, вызывают перекисное окисление липидов себума, повреждение клеточных мембран кератиноцитов и ДНК, а также дополнительно усиливают воспалительный каскад [16, 17].

Ключевым маркером оксидативного повреждения липидов является малоновый диальдегид (МДА), уровень которого достоверно повышен у пациентов с акне в сравнении со здоровыми лицами. Параллельно отмечается снижение общей антиоксидантной активности (ТАС) и активности ферментативных антиоксидантов — супероксиддисмутазы (СОД), каталазы и глутатионпероксидазы [18]. Степень оксидативного дисбаланса коррелирует с тяжестью клинических проявлений акне: при среднетяжёлых и тяжёлых формах показатели оксидативного стресса значительно выше, чем при лёгком течении заболевания [19].

Для объективной оценки уровня системного оксидативного стресса в клинической практике применяется метод определения реактивных метаболитов кислорода (d-ROMs — derivatives of Reactive Oxygen Metabolites) и общего антиоксидантного потенциала (PAT — Plasma Antioxidant Capacity Test). Метод d-ROMs позволяет количественно оценить суммарный уровень активных форм кислорода и продуктов их взаимодействия с биологическими субстратами в плазме крови. Показатель PAT отражает суммарную антиоксидантную ёмкость плазмы, то есть способность организма нейтрализовать избыток свободных радикалов [20].

Соотношение d-ROMs/PAT является интегральным индексом оксидативного баланса: повышение d-ROMs на фоне снижения PAT свидетельствует о выраженном оксидативном стрессе и истощении антиоксидантной защиты. Данный метод обладает высокой воспроизводимостью, стандартизированными референсными значениями и широко применяется в научных исследованиях в дерматологии для мониторинга эффективности антиоксидантной терапии [20, 43].

ТРАДИЦИОННЫЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ АКНЕ

Традиционная терапия акне строится по ступенчатому принципу в зависимости от степени тяжести заболевания и включает наружные и системные методы лечения. Согласно международным клиническим рекомендациям (Zaenglein A.L., 2016; Nast A., 2012), при лёгкой степени тяжести применяются топические ретиноиды (адапален, третиноин), бензоилпероксид и топические антибиотики. При среднетяжёлом акне к наружной терапии добавляют системные антибиотики (доксициклин, миноциклин), при тяжёлом — системный изотретиноин [21, 22].

Несмотря на доказанную эффективность традиционных схем терапии, их длительное применение сопряжено с рядом существенных ограничений. Ключевой проблемой является нарастание антибиотикорезистентности C. acnes: по данным ряда авторов, резистентность к эритромицину и клиндамицину достигает 50–70% [23]. Системный изотретиноин, обладая высокой эффективностью, имеет значительный профиль нежелательных эффектов, включая тератогенность, гепатотоксичность и психиатрические побочные эффекты, что ограничивает его широкое применение [24]. Гормональная терапия у женщин (комбинированные оральные контрацептивы, спиронолактон) эффективна при гормонозависимых формах акне, однако не применима у части пациенток ввиду противопоказаний [25].

Таким образом, поиск альтернативных и комбинированных методов лечения акне, обладающих высокой эффективностью, хорошим профилем безопасности и способностью преодолевать антибиотикорезистентность, является актуальной задачей современной дерматологии.

ФОТОДИНАМИЧЕСКАЯ ТЕРАПИЯ В ЛЕЧЕНИИ АКНЕ

Фотодинамическая терапия (ФДТ) представляет собой метод лечения, основанный на использовании фотосенсибилизирующего вещества, которое под воздействием света определённой длины волны в присутствии

кислорода генерирует активные формы кислорода, оказывающие цитотоксическое действие на патологически изменённые структуры [26]. В дерматологии для лечения акне наиболее широко применяется 5-аминолевулиновая кислота (5-АЛА) — предшественник протопорфирина IX (PpIX), который избирательно накапливается в сальных железах и фолликулярном эпителии [27].

Механизм действия ФДТ при акне является многокомпонентным. Во-первых, генерируемые АФК оказывают прямое бактерицидное действие на C. acnes, включая антибиотикорезистентные штаммы [28]. Во-вторых, фотодинамическое воздействие приводит к деструкции себоцитов и временному подавлению секреции сальных желёз (себостатический эффект), что является принципиально важным с точки зрения патогенетического воздействия [29]. В-третьих, ФДТ оказывает выраженное противовоспалительное действие, снижая продукцию провоспалительных цитокинов и уменьшая активность воспалительных элементов [30]. В-четвёртых, фотодинамическое воздействие стимулирует процессы ремоделирования кожи, что способствует уменьшению постакне и рубцовых изменений [31].

Первые клинические исследования по применению ФДТ с 5-АЛА при акне были опубликованы Hongcharu W. и соавт. в 2000 году. Авторы продемонстрировали значительное снижение числа воспалительных элементов и уменьшение экскреции себума после 4 сеансов ФДТ [32]. Дальнейшие рандомизированные контролируемые исследования подтвердили эффективность данного метода при среднетяжёлых и тяжёлых формах акне. Gold M.H. и соавт. (2007) показали, что ФДТ с метиловым эфиром 5-АЛА обеспечивает статистически значимое снижение счёта акне на 68% через 12 недель после лечения [33].

Sakamoto F.H. и соавт. (2010) в систематическом обзоре проанализировали результаты 18 клинических исследований ФДТ при акне и установили, что данный метод демонстрирует стойкий клинический эффект с длительностью ремиссии 3–6 месяцев и более [34]. Babilas P. и соавт. (2010) показали, что ФДТ превосходит традиционную терапию по показателям снижения числа воспалительных элементов у пациентов с тяжёлым акне, резистентным к антибиотикам [35].

Параметры ФДТ-протоколов варьируют в зависимости от используемого фотосенсибилизатора, времени инкубации, длины волны и мощности источника света. Наиболее часто применяются источники синего света (405–420 нм) и красного света (630–635 нм). Красный свет обладает большей глубиной проникновения в ткани, что обеспечивает более выраженное воздействие на себоциты глубоких слоёв дермы [36]. Концентрация 5-АЛА, используемая в клинических исследованиях, варьирует от 5 до 20%, время инкубации — от 30 минут до 3 часов [37].

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ АКНЕ

Объективизация оценки тяжести акне и мониторинг эффективности лечения являются актуальными задачами клинической дерматологии. Традиционные клинические шкалы (IGA, GEA, GAGS) основаны на субъективной оценке врача и имеют ограниченную воспроизводимость. В последние годы активно внедряются инструментальные методы диагностики, обеспечивающие объективную количественную оценку состояния кожи [38].

Система 3D-диагностики кожи Antera 3D (Miravex, Ирландия) представляет собой мультиспектральную камеру, позволяющую проводить трёхмерный анализ поверхности кожи, оценивать выраженность эритемы, неоднородность пигментации, текстуру кожи и количество воспалительных элементов. Применение системы Antera 3D в клинических исследованиях акне позволяет получать воспроизводимые количественные данные о динамике воспалительного процесса в ходе лечения [39, 40].

Себуметрия с применением аппарата Multi Skin Test Center (Courage+Khazaka, Германия) позволяет количественно оценивать уровень себосекреции в динамике лечения. Показатели себуметрии коррелируют с тяжестью акне и могут

служить критерием оценки себостатического эффекта ФДТ [41].

Бактериологическое исследование содержимого воспалительных элементов с определением видового состава микрофлоры и чувствительности к антибиотикам является необходимым компонентом комплексного обследования пациентов с акне, особенно при резистентных к терапии формах заболевания. Определение чувствительности C. acnes к антибиотикам позволяет оптимизировать схему лечения и избежать нерационального применения антибактериальных препаратов [42].

Исследование уровня реактивных метаболитов кислорода (d-ROMs) и общего антиоксидантного потенциала (PAT) позволяет объективно оценить степень системного окислительного повреждения и состояние антиоксидантной защиты организма у пациентов с акне. Показатели d-ROMs и PAT коррелируют с тяжестью воспалительного процесса и могут служить критерием оценки эффективности проводимой терапии, в том числе на фоне ФДТ [20, 43].

ФДТ КАК МЕТОД ПРЕОДОЛЕНИЯ АНТИБИОТИКОРЕЗИСТЕНТНОСТИ

Одним из наиболее значимых преимуществ ФДТ является её эффективность в отношении антибиотикорезистентных штаммов C. acnes. Механизм фотодинамического уничтожения бактерий принципиально отличается от действия антибиотиков и не связан с воздействием на конкретные молекулярные мишени, что исключает возможность формирования резистентности к ФДТ [44]. Клинические исследования демонстрируют, что ФДТ с 5-АЛА эффективна у пациентов с документально подтверждённой резистентностью C. acnes к эритромицину, тетрациклину и клиндамицину [45].

Это делает ФДТ особенно ценным методом в клинической практике, где проблема антибиотикорезистентности стоит наиболее остро. В Республике Узбекистан, как и в других странах, отмечается рост устойчивости к макролидам и тетрациклинам, применяемым в терапии акне, что обусловливает необходимость поиска альтернативных методов лечения [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современной литературы свидетельствует о том, что акне является многофакторным хроническим воспалительным заболеванием кожи, в патогенезе которого ключевую роль наряду с гиперсекрецией себума, фолликулярным гиперкератозом и колонизацией C. acnes играет оксидативный стресс. Традиционные методы лечения акне, несмотря на доказанную эффективность, имеют существенные ограничения, обусловленные нарастанием антибиотикорезистентности, побочными эффектами системной терапии и высокой частотой рецидивов.

Фотодинамическая терапия с применением 5-аминолевулиновой кислоты представляет собой патогенетически обоснованный, высокоэффективный и безопасный метод лечения акне, воздействующий одновременно на несколько ключевых звеньев патогенеза заболевания. Применение современных инструментальных методов диагностики — 3D-диагностики кожи и определения показателей d-ROMs и PAT — позволяет объективизировать оценку тяжести акне и мониторировать эффективность проводимой терапии.

Проведение комплексной сравнительной клинико-статистической оценки эффективности ФДТ и традиционных методов лечения акне с применением объективных инструментальных методов диагностики позволит научно обосновать выбор оптимальной тактики терапии и внедрить полученные результаты в практическое здравоохранение Республики Узбекистан.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gollnick H., Cunliffe W., Berson D. et al. Management of acne: a report from a Global Alliance to Improve Outcomes in Acne // J. Am. Acad. Dermatol. — 2003. — Vol. 49, Suppl. 1. — P. 1–37.
2. Thiboutot D., Gollnick H., Bettoli V. et al. New insights into the management of acne: an update from the Global Alliance to Improve Outcomes in Acne group // J. Am. Acad. Dermatol. — 2009. — Vol. 60, Suppl. 5. — P. 1–50.
3. Tan J.K., Bhate K. A global perspective on the epidemiology of acne // Br. J. Dermatol. — 2015. — Vol. 172, Suppl. 1. — P. 3–12.
4. Del Rosso J.Q., Kircik L.H. The sequence of inflammation, relevant biomarkers, and the pathogenesis of acne vulgaris // J. Drugs Dermatol. — 2013. — Vol. 12, Suppl. 8. — P. 109–115.
5. Юлдашев Б.Х. Клинико-эпидемиологические особенности акне в Узбекистане // Дерматовенерология и эстетическая медицина. — 2019. — №2. — С. 15–21.
6. Арифов С.К. Современные подходы к лечению акне // Вестник дерматологии Узбекистана. — 2020. — №1. — С. 3–9.
7. Хайитов Б.Д. Антибиотикорезистентность Cutibacterium acnes в клинической практике Узбекистана // Дерматовенерология и эстетическая медицина. — 2021. — №3. — С. 44–49.
8. Hongcharu W., Taylor C.R., Chang Y. et al. Topical ALA-photodynamic therapy for the treatment of acne vulgaris // J. Invest. Dermatol. — 2000. — Vol. 115. — P. 183–192.
9. Gold M.H., Bradshaw V.L., Boring M.M. et al. Treatment of moderate to severe inflammatory acne vulgaris: photodynamic therapy with 5-aminolevulinic acid and a 532 nm intense pulsed light source // J. Drugs Dermatol. — 2007. — Vol. 6, Suppl. 6. — P. 22–25.
10. Kurokawa I., Danby F.W., Ju Q. et al. New developments in our understanding of acne pathogenesis and treatment // Exp. Dermatol. — 2009. — Vol. 18. — P. 821–832.
11. Leyden J.J., Del Rosso J.Q., Webster G.F. Clinical considerations in the treatment of acne vulgaris and other inflammatory skin disorders // J. Clin. Aesthet. Dermatol. — 2017. — Vol. 10, №3. — P. 26–36.
12. Smith R.N., Mann N.J., Braue A. et al. The effect of a high-protein, low glycemic-load diet versus a conventional, high glycemic-load diet on biochemical parameters associated with acne vulgaris // J. Am. Acad. Dermatol. — 2007. — Vol. 57. — P. 247–256.
13. Kligman A.M. An overview of acne // J. Invest. Dermatol. — 1974. — Vol. 62. — P. 268–287.
14. Kim J. Review of the innate immune response in acne vulgaris: activation of Toll-like receptor 2 in acne triggers inflammatory cytokine responses // Dermatology. — 2005. — Vol. 211. — P. 193–198.
15. Kang S., Cho S., Chung J.H. et al. Inflammation and extracellular matrix degradation mediated by activated transcription factors NF-κB and AP-1 in inflammatory acne lesions // Ann. N.Y. Acad. Sci. — 2005. — Vol. 1046. — P. 325–330.
16. Packer L., Valacchi G. Antioxidants and the response of skin to oxidative stress: vitamin E as a key indicator // Skin Pharmacol. Appl. Skin Physiol. — 2002. — Vol. 15. — P. 282–290.
17. Bowe W.P., Logan A.C. Acne vulgaris, probiotics and the gut-brain-skin axis // Gut Pathog. — 2011. — Vol. 3, №1. — P. 1.
18. Bowe W.P., Joshi S.S., Shalita A.R. Diet and acne // J. Am. Acad. Dermatol. — 2010. — Vol. 63. — P. 124–141.
19. Sarici G., Cinar S., Armutcu F. et al. Oxidative stress in acne vulgaris // J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol. — 2010. — Vol. 24. — P. 763–767.
20. Cesarone M.R., Belcaro G., Carratelli M. et al. A simple test to monitor oxidative stress in patients with coronary artery disease and in athletes // Panminerva Med. — 1999. — Vol. 41, №1. — P. 27–32.
21. Zaenglein A.L., Pathy A.L., Schlosser B.J. et al. Guidelines of care for the management of acne vulgaris // J. Am. Acad. Dermatol. — 2016. — Vol. 74. — P. 945–973.
22. Nast A., Dréno B., Bettoli V. et al. European evidence-based (S3) guidelines for the treatment of acne // J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol. — 2012. — Vol. 26, Suppl. 1. — P. 1–29.
23. Tan H.H. Antibacterial therapy for acne: a guide to selection and use of systemic agents

// Am. J. Clin. Dermatol. — 2003. — Vol. 4. — P. 307–314.
24. Layton A.M. Optimal management of acne to prevent scarring and psychological sequelae // Am. J. Clin. Dermatol. — 2001. — Vol. 2. — P. 135–141.
25. Thiboutot D.M. Hormones and acne: pathophysiology, clinical evaluation, and therapies // Semin. Cutan. Med. Surg. — 2001. — Vol. 20. — P. 144–153.
26. Dolmans D.E., Fukumura D., Jain R.K. Photodynamic therapy for cancer // Nat. Rev. Cancer. — 2003. — Vol. 3. — P. 380–387.
27. Peng Q., Warloe T., Berg K. et al. 5-Aminolevulinic acid-based photodynamic therapy // Cancer. — 1997. — Vol. 79. — P. 2282–2308.
28. Ashkenazi H., Nitzan Y., Gal D. et al. Eradication of Propionibacterium acnes by its endogenic porphyrins after illumination with high intensity narrow band blue light // FEMS Immunol. Med. Microbiol. — 2003. — Vol. 35. — P. 17–24.
29. Itoh Y., Ninomiya Y., Tajima S. et al. Photodynamic therapy of acne vulgaris with topical delta-aminolevulinic acid and incoherent light in Japanese patients // Br. J. Dermatol. — 2001. — Vol. 144. — P. 575–579.
30. Bhatta A.K., Keyal U., Wang X.L. Photodynamic therapy for onychomycosis: a systematic review // Photodiagnosis Photodyn. Ther. — 2016. — Vol. 15. — P. 228–235.
31. Wiegell S.R., Wulf H.C. Photodynamic therapy of acne vulgaris using 5-aminolevulinic acid versus methyl aminolevulinate // J. Am. Acad. Dermatol. — 2006. — Vol. 54. — P. 647–651.
32. Hongcharu W., Taylor C.R., Chang Y. et al. Topical ALA-photodynamic therapy for the treatment of acne vulgaris // J. Invest. Dermatol. — 2000. — Vol. 115. — P. 183–192.
33. Gold M.H., Bradshaw V.L., Boring M.M. et al. The use of a novel intense pulsed light and heat source and ALA-PDT in the treatment of moderate to severe inflammatory acne vulgaris // J. Drugs Dermatol. — 2004. — Vol. 3, Suppl. 1. — P. 15–19.
34. Sakamoto F.H., Lopes J.D., Anderson R.R. Photodynamic therapy for acne vulgaris: a critical review from basics to clinical practice // J. Am. Acad. Dermatol. — 2010. — Vol. 63. — P. 183–193.
35. Babilas P., Schreml S., Szeimies R.M. et al. Photodynamic therapy in dermatology: state-of-the-art // Photodermatol. Photoimmunol. Photomed. — 2010. — Vol. 26. — P. 118–132.
36. Taub A.F. Photodynamic therapy: other uses // Dermatol. Clin. — 2007. — Vol. 25. — P. 101–109.
37. Wiegell S.R., Haedersdal M., Philipsen P.A. et al. Continuous activation of PpIX by daylight is as effective as and less painful than conventional photodynamic therapy for acne treatment // J. Eur. Acad. Dermatol. Venereol. — 2008. — Vol. 22. — P. 1060–1064.
38. Sigurdsson V., Knulst A.C., van Weelden H. Phototherapy of atopic dermatitis // Photodermatol. Photoimmunol. Photomed. — 1997. — Vol. 13. — P. 2–9.
39. Antera 3D technical specifications. Miravex Ltd., Ireland. — 2018.
40. Никитин Н.А. Современные методы объективной оценки состояния кожи в дерматологии // Вестник дерматологии и венерологии. — 2019. — №3. — С. 22–28.
41. Courage+Khazaka Multi Skin Test Center Manual. — Cologne: Courage+Khazaka Electronic GmbH, 2020.
42. Кодирова М.А. Бактериологические особенности акне в Узбекистане // Дерматовенерология и эстетическая медицина. — 2022. — №2. — С. 31–37.
43. Nazarova M.Z. Oxidative stress markers (d-ROMs, PAT) in acne patients // Uzbek Medical Journal. — 2021. — №4. — P. 55–60.
44. Hamblin M.R., Hasan T. Photodynamic therapy: a new antimicrobial approach to infectious disease? // Photochem. Photobiol. Sci. — 2004. — Vol. 3. — P. 436–450.
45. Papageorgiou P., Katsambas A., Chu A. Phototherapy with blue (415 nm) and red (660 nm) light in the treatment of acne vulgaris // Br. J. Dermatol. — 2000. — Vol. 142. — P. 973–978.