

## СОВРЕМЕННЫЕ АСПЕКТЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТОЧНОСТИ БИОПСИИ СТОРОЖЕВЫХ ЛИМФАТИЧЕСКИХ УЗЛОВ ПРИ РАКЕ МОЛОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ: РОЛЬ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ НАВИГАЦИИ С ИНДОЦИАНИНОМ ЗЕЛЕНЫМ

Д. Ш. Полатова<sup>1</sup>, Д. Р. Алиева<sup>1</sup>, Н. Р. Шойусупов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Научно-практический медицинский центр детской онкологии, гематологии и иммунологии, Ташкент,

<sup>2</sup>Клиника “WOMAN'S LIFE”, Ташкент, Узбекистан

**Ключевые слова:** рак молочной железы, биопсия сторожевых лимфатических узлов, индоцианин зеленый, ICG-навигация, флуоресцентная визуализация, ближний инфракрасный спектр, неоадьювантная химиотерапия.

**Tayanch soʻzlar:** koʻkrak saratoni, qorovul limfa tuguni biopsiyasi, indotsianin yashil, ICG navigatsiya, flyuorescent tasvirlash, yaqin infragizil spektr, neoadyuvant kimyoterapiya.

**Key words:** breast cancer, sentinel lymph node biopsy, indocyanine green, ICG navigation, fluorescence imaging, near-infrared spectrum, neoadjuvant chemotherapy.

Настоящий обзор представляет комплексный анализ современных методов интраоперационной визуализации сторожевых лимфатических узлов (СЛУ) при карциноме молочной железы, с фокусом на флуоресцентную навигацию. Прослеживается эволюция хирургической тактики от радикальной аксиллярной лимфодиссекции к минимально инвазивным органосохраняющим технологиям. Детально рассматриваются фармакокинетические и оптические характеристики индоцианина зеленого (ICG), а также технологическое превосходство фотодинамических систем над конвенциональными методиками (радионуклидной скинтиграфией и витальной колориметрией). В работе проведен сравнительный анализ эффективности различных трейсеров с демонстрацией высокой частоты детекции СЛУ (detection rate > 96%) и минимального процента ложноположительных результатов (false-negative rate) при применении ICG-навигации. Освещены актуальные направления: оптимизация дозиметрических протоколов, применение методики в условиях постнеоадьювантной терапии и интеграция гибридных технологий визуализации. Отдельный раздел посвящен анализу международно-го и регионального клинического опыта, включая результаты имплементации технологии в онкологическую практику Республики Узбекистан. Обзор аргументирует позиционирование флуоресцентной навигации как референсного метода деэскалации хирургического объема, обеспечивающего прецизионное стадирование при максимальном снижении хирургической травмы.

### SUT BEZI SARATONI OPERATSIYALARIDA SIGNAL LIMFA TUGUNLARINI ANIQLIGINI OSHIRISHNING ZAMONAVIY YONDASHUVLARI: INDOTSIANIN YASHIL FLYUORESSANT NAVIGATSIYANING AHAMIYATI

Д. Ш. Полатова<sup>1</sup>, Д. Р. Алиева<sup>1</sup>, Н. Р. Шойусупов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Bolalar onkologiyasi, gematologiyasi va immunologiyasi ilmiy-amaliy tibbiyot markazi, Toshkent,

<sup>2</sup>"WOMAN'S LIFE" klinikasi, Toshkent, O'zbekiston

Ushbu sharh koʻkrak bezi karsinomalarida signal limfa tugunlarini (QLT) operatsiya davomida vizualizatsiya qilishning hozirgi zamon usullarini har tomonlama tahlil qiladi, bunda asosiy eʼtibor flyuorescent navigatsiyaga qaratilgan. Biz jarrohlik taktikasining taraqqiyotini kuzatar ekanmiz — radikal aksiller limfodissektsiyadan tortib, minimal invaziv va organsaqlovchi texnikalargacha qoʻlaniladi. Indotsianin yashilning (ICG) farmakokinetik va optik xususiyatlari batafsil oʻrganilgan, shuningdek fotodinamik tizimlarning anʼanaviy usullarga (radionuklid stsintigrafiya va vital boʻyoqlar) nisbatan texnologik ustunliklari koʻrib chiqilgan. Maqolada turli xil indikatorlarning qiyosiy samaradorlik tahlili keltirilgan boʻlib, ICG-navigatsiya yordamida QLTni aniqlash darajasi yuqori (>96%) va notoʻgʻri-salbiy natijalar minimal ekanligi isbotlangan. Hozirgi tadqiqot yoʻnalishlari taʼkidlangan: dozimetrik protokollarni optimallashtirish, neoadyuvant terapiyadan keyingi holatlarda qoʻllash va gibrid tasvirlash texnologiyalarini integratsiyalash. Alohida boʻlimda xalqaro va mintaqaviy klinik tajriba, jumladan, Oʻzbekiston Respublikasi onkologiya amaliyotida joriy etish natijalari tahlil qilingan. Ushbu sharh flyuorescent navigatsiyani jarrohlik deeskalatsiyasining asosiy usuli sifatida belgilaydi — bu usul aniq stadialashtirish imkonini beradi va ayni paytda jarrohlik travmasini maksimal darajada kamaytiradi.

### CONTEMPORARY APPROACHES TO ENHANCING SENTINEL LYMPH NODE BIOPSY ACCURACY IN BREAST CANCER: THE ROLE OF INDOCYANINE GREEN FLUORESCENCE NAVIGATION

Д. Ш. Полатова<sup>1</sup>, Д. Р. Алиева<sup>1</sup>, Н. Р. Шойусупов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Scientific and Practical Medical Center of Pediatric Oncology, Hematology and Immunology, Tashkent,

<sup>2</sup>"WOMAN'S LIFE" Clinic, Tashkent, Uzbekistan

This review provides a comprehensive analysis of current intraoperative sentinel lymph node (SLN) visualization methods in breast carcinoma, with emphasis on fluorescence-guided navigation. We trace the evolution of surgical strategy—from radical axillary lymph node dissection to minimally invasive, organ-preserving techniques. The pharmacokinetic and optical properties of indocyanine green (ICG) are examined in detail, alongside the technological advantages of photodynamic systems over conventional approaches (radionuclide scintigraphy and vital dye methods).

The paper presents a comparative efficacy analysis of various tracers, demonstrating high SLN detection rates (>96%) and minimal false-negative rates with ICG-guided navigation. Current research directions are highlighted: optimization of dosimetric protocols, application in post-neoadjuvant therapy settings, and integration of hybrid imaging technologies. A dedicated section analyzes international and regional clinical experience, including implementation outcomes in oncology practice within the Republic of Uzbekistan. This review positions fluorescence navigation as a reference method for surgical de-escalation—one that enables precision staging while maximally reducing surgical trauma.

**Введение.** Рак молочной железы (РМЖ) сохраняет доминирующую позицию в структуре онкологической заболеваемости и летальности женской популяции глобально, демонстрируя аналогичные эпидемиологические тренды в Республике Узбекистан [33]. Статус регионарного лимфатического коллектора представляет собой критический прогностический маркер, детерминирующий стратегию адьювантного лечения и показатели общей выживаемости (overall survival, OS). Метастатическое поражение аксиллярных лимфоузлов (ЛУ) служит не только определяющим фактором хирургического объема, но и биологическим индикатором

Исторически тотальная аксиллярная лимфаденэктомия (АЛЭ) позиционировалась как стандартизированный компонент радикального лечения РМЖ. Тем не менее, процедура ассоциирована с высокой частотой инвалидизирующих постоперационных осложнений: лимфедема верхней конечности (частота до 30%), сенсорная нейропатия вследствие повреждения интеркостобрахиального нерва, контрактура плечевого сустава и синдром хронической постмастэктомиической боли [21].

Парадигмальный сдвиг в направлении деэскалации хирургической агрессии и функционального консерватизма инициировал разработку концепции биопсии сторожевого лимфоузла (БСЛУ, sentinel lymph node biopsy, SLNB). Мультицентровые рандомизированные контролируемые исследования (NSABP B-32, ACOSOG Z0011, AMAROS) убедительно продемонстрировали онкологическую безопасность селективной лимфаденэктомии: при клинически негативном аксиллярном статусе (cN0) отказ от радикальной диссекции в пользу БСЛУ обеспечивает эквивалентные показатели безрецидивной и общей выживаемости при статистически значимом снижении морбидности и улучшении параметров качества жизни пациенток [1,2,12].

Несмотря на признание БСЛУ «золотым стандартом» стадирования аксиллярной зоны при клинически негативном статусе, технические аспекты визуализации сторожевых лимфоузлов остаются предметом активной научной дискуссии. Традиционные методы детекции характеризуются рядом существенных ограничений, лимитирующих их универсальное применение:

#### **Радиоизотопная лимфосцинтиграфия (Технеций-99m).**

Метод обеспечивает высокую диагностическую точность (частота идентификации СЛУ достигает 95-98%), однако его широкая имплементация сопряжена с существенными организационными и экономическими барьерами. Сюда можно включить императивную необходимость функционирующего отделения радионуклидной диагностики с лицензированным радиофармацевтическим производством. Логистические сложности обращения с короткоживущими радиофармпрепаратами (период полураспада <sup>99m</sup>Tc составляет 6 часов). Кумулятивная радиационная экспозиция медицинского персонала, требующая строгого дозиметрического контроля. Высокая капитальная стоимость гамма-детекционного оборудования и эксплуатационные расходы. Необходимость двухэтапной процедуры (предоперационная скintiграфия + интраоперационная детекция) [27,28]

#### **Витальная окраска «синими красителями» (метиленовый синий, Patent Blue V, лимфазурин)**

Метод характеризуется доступностью и технической простотой, однако демонстрирует субоптимальные операционные характеристики, такие как переменная чувствительность (detection rate 70-85%), уступающая радиоизотопному методу, отсутствие возможности транскутанной визуализации лимфатических коллекторов в режиме реального времени, риск анафилактических реакций (частота до 2,7% для Patent Blue V), персистирующая татуировка кожных покровов и окрашивание мочи, потенциальная интерференция с пульсоксиметрией вследствие артефактного снижения SpO<sub>2</sub> [33,34]

#### **Флуоресцентная навигация: современная альтернатива**

В последние 5 лет фокус трансляционных исследований сместился в сторону флуоресцентной лимфографии с использованием индоцианина зеленого (indocyanine green, ICG). Данная технология базируется на уникальных оптических свойствах ICG: молекула обладает пиком абсорбции в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR, 750-800 нм), обеспечивая глубину тканевой пенетрации до 1,5-2 см при сохранении высокого контрастного разрешения. Диагностическая эффективность: частота идентификации СЛУ сопоставима с радиоизотопным методом (93-98%), при этом комбинация ICG + синий краситель демонстрирует синергетический эффект [39]. Частота нежелательных явлений не превышает 0,05%, отсутствие ионизирующего излучения. Элиминация необходимости радионуклидной инфраструктуры при сохранении высокой точности. Интраоперационная визуализация: режим реального времени позволяет идентифицировать aberrантные лимфатические пути и множественные СЛУ. Технологическая доступность: современные NIR-камеры интегрируются с существующим хирургическим оборудованием

Для Республики Узбекистан и государств Центральной Азии внедрение ICG-технологий представляет стратегический интерес в контексте оптимизации онкологической помощи. Метод обеспечивает возможность стандартизации высокотехнологичных вмешательств в условиях ограниченной доступности радионуклидных подразделений, способствуя децентрализации специализированной помощи и повышению комплаентности пациенток к органосохраняющему лечению [16,18]

### **Физико-химические свойства индоцианина зеленого (ICG)**

Индоцианин зеленый (Indocyanine Green, ICG) представляет собой водорастворимое трикарбоцианиновое соединение, которое на протяжении более 50 лет успешно применяется в медицине для оценки сердечного выброса, функции печени и в офтальмологической ангиографии [32]. Молекулярная формула препарата ( $C_{43}H_{47}N_2NaO_6S_2$ ) обуславливает его уникальную способность связываться с белками плазмы (преимущественно альбумином) сразу после введения. При интерстициальном (перитуморальном или субареолярном) введении ICG быстро проникает в лимфатические капилляры, образуя макромолекулярные комплексы, которые не диффундируют в окружающие ткани, а направленно транспортируются к первому барьерному лимфатическому узлу — «сторожевому» [19,21]. Препарат обладает коротким периодом полураспада (3–5 минут при внутривенном введении, дольше при лимфатическом дренаже) и экскретируется исключительно печенью в неизменном виде, что подтверждает его высокий профиль безопасности [12].

В основе метода лежит феномен флуоресценции в ближнем инфракрасном диапазоне (Near-Infrared, NIR). При поглощении фотонов с длиной волны в диапазоне 760–800 нм (пик возбуждения), молекулы ICG переходят в возбужденное состояние, после чего излучают свет в более длинноволновом диапазоне — 820–845 нм (пик эмиссии) [37]. Ключевым преимуществом NIR-излучения является его способность проникать сквозь биологические ткани на глубину до 1,5–2 см, что значительно превышает возможности видимого спектра (например, метиленового синего). Это позволяет хирургу визуализировать ход лимфатических сосудов трансдермально, «просвечивая» подкожно-жировую клетчатку в режиме реального времени [24,25,31].

Применение индоцианина зеленого (ICG) для детекции сигнальных лимфатических узлов (СЛУ) базируется на специфическом механизме лимфатической миграции препарата. После интерстициального введения ICG образует стабильные белковые конъюгаты с молекулярной массой комплекса около 67 кДа. Гидродинамический диаметр данных ICG-альбуминовых комплексов варьируется в пределах 4–7 нм, что превышает пороговый размер, необходимый для венозной абсорбции. Благодаря этому обеспечивается селективный захват препарата лимфатическими капиллярами и выраженный лимфотропизм. Средняя скорость миграции составляет 0,5–2 см/мин, что позволяет приступать к визуализации СЛУ уже через 5–30 минут после инъекции.

Эффективность метода в хирургической навигации обусловлена уникальными физическими свойствами ближнего инфракрасного диапазона (NIR). В данном спектре наблюдается минимальная аутофлуоресценция тканей, поскольку эндогенные флуорофоры, такие как коллаген, эластин и NADH, не создают помех. Это гарантирует высокое

соотношение сигнал/шум. Оптимальное «окно прозрачности» тканей (700–900 нм) характеризуется низким поглощением со стороны гемоглобина и воды, обеспечивая достаточную глубину визуализации. В частности, глубина обнаружения подкожных структур достигает 20 мм, лимфатических сосудов — 5–15 мм, а СЛУ в аксиллярной клетчатке визуализируется на глубине до 10 мм от поверхности.

Стандартные протоколы дозирования при биопсии СЛУ (БСЛУ) предполагают использование раствора ICG в концентрации 0,5–2,5 мг/мл, приготовленного на стерильной воде. Объем вводимого препарата обычно составляет 2–5 мл, что соответствует суммарной дозе 2,5–12,5 мг. Указанные дозировки существенно ниже предельно допустимой разовой дозы (5 мг/кг). В зависимости от клинической ситуации и локализации опухоли рекомендуется применение субдермальной, субареолярной или перитуморальной техник введения [23].

Фармакологический профиль препарата характеризуется высокой степенью безопасности. Частота нежелательных явлений крайне низка и составляет менее 0,05%, проявляясь преимущественно легкими аллергическими реакциями. Для ICG не установлено тератогенных или мутагенных эффектов. Единственным абсолютным противопоказанием к применению является задокументированная гиперчувствительность к йодидам, так как в состав ICG входит 5% йодида натрия в качестве стабилизатора. К относительным ограничениям, требующим осторожности при назначении, относятся тяжелая печеночная недостаточность (стадия Child-Pugh C) и гипертиреоз. [10,11].

#### **Сравнительная эффективность методов визуализации.**

Главный показатель эффективности биопсии сторожевых лимфоузлов — это частота успешного обнаружения хотя бы одного «сторожевого» лимфоузла (DR). Мета-анализы последних пяти лет (2020–2025) показывают, что метод ICG-флуоресценции обеспечивает DR на уровне 96–99%. Это сопоставимо с «золотым стандартом» — радиоизотопным методом  $^{99m}\text{Tc}$ , а в некоторых исследованиях даже превосходит его [2,34,35]

Крупные международные исследования (GREEN-OR и INFLUENCE) продемонстрировали, что при использовании только «синего красителя» (метиленового синего) DR редко превышает 85–88%. ICG позволяет обнаружить в среднем на 0,5–1,2 лимфоузла больше по сравнению с изотопами. Это снижает риск ложноотрицательных результатов (FNR) до уровня ниже 5% [27,28].

Сравнение этих двух технологий выявляет несколько преимуществ флуоресценции:

- Визуализация в реальном времени. В отличие от гамма-датчика, который подаёт только звуковой сигнал, ICG позволяет хирургу “видеть” лимфатический путь. Это сокращает время поиска узла в среднем на 8–12 минут [8,9,10,11].
- Отсутствие ионизирующего излучения. Исключается лучевая нагрузка на пациентку и операционную бригаду. Не требуется специальная лицензия на работу с изотопами и утилизацию радиоактивных отходов.
- Автономность. Метод ICG не зависит от работы отделения ядерной медицины и времени полураспада технеция. Это позволяет гибко планировать график операций [5,6,7].

#### **Комбинированные методики: «двойной стандарт»**

Несмотря на высокую точность ICG, многие эксперты — в том числе онкологи из Узбекистана и России — рекомендуют комбинированное использование методов (ICG +  $^{99m}\text{Tc}$ ) в период освоения методики (learning curve). Исследования показывают, что комбинация двух трейсеров позволяет достичь 100% частоты детекции [25, 29]. Однако для клиник без доступа к радиоизотопам монотерапия ICG признана адекватной и безопасной альтернативой, превосходящей по точности комбинацию «изотоп + синька» [4, 33].

#### **Совершенствование точности: современные тренды.**

Одним из ключевых факторов, влияющих на точность флуоресцентной навигации, является концентрация и объем вводимого препарата. Исследования 2022–2025 гг. показывают, что использование ICG в концентрации 0,5 мг/мл (разведение 25 мг препарата на 50 мл физиологического раствора или дистиллированной воды) обеспечивает оптимальный баланс между интенсивностью свечения и четкостью визуализации лимфатических путей. Избыточная концентрация (>2,5 мг/мл) может приводить к эффекту

«гашения» флуоресценции (quenching effect), что затрудняет поиск глубоко расположенных узлов [24,25].

Важным трендом стало изменение времени экспозиции. Если ранее БСЛУ начинали через 15–20 минут после инъекции, то современный подход «динамического картирования» предполагает начало визуализации через 2–5 минут после субареолярного или перитуморального введения. Это позволяет хирургу наблюдать «лимфатический драйв» (\*lymphatic flow\*) и дифференцировать истинные сторожевые узлы от узлов второго и третьего порядков [6,38].

#### **Протоколы введения: субареолярная vs. перитуморальная инъекция**

Дискуссия о месте введения ICG продолжается. Субареолярная техника (введение в зону ареолы) технически проще и обеспечивает стабильную DR 95–98%, независимо от локализации опухоли. Однако при периферических опухолях (особенно в верхне-наружном квадранте) перитуморальное введение может выявлять дополнительные лимфатические пути, включая экстра-аксиллярные узлы [26].

#### **БСЛУ после неоадьювантной химиотерапии (НАХТ)**

Наиболее сложной и обсуждаемой областью остается применение БСЛУ у пациенток, прошедших системное лечение. Химиотерапия вызывает фиброз лимфатических путей, что теоретически повышает риск ложноотрицательных результатов (FNR). Однако результаты мета-анализов (например, обновление протоколов \*SENTINA\* и \*Z1071\* в 2023–2024 гг.) подтверждают, что использование именно флуоресцентной навигации позволяет снизить FNR после НАХТ до приемлемых 8–10% [20].

Совершенствование точности в этой группе достигается за счет:

1. Техники «Targeted Axillary Dissection» (TAD): Сочетание ICG-навигации с предварительной маркировкой метастатического узла клипсой или магнитным маркером. Это позволяет целенаправленно удалить именно тот узел, который был поражен до начала лечения, и оценить патоморфологический ответ.

2. Повышения объема детекции: Удаление не менее 3-х лимфоузлов («правило трех»), что значительно легче реализовать под визуальным контролем ICG, чем при использовании только радиоизотопов [5,6,7].

3. Двойного трейсинга: В сложных случаях (cN2→усN0) комбинация ICG + 99m-Tc остается предпочтительной, снижая FNR до 5–7% [22].

#### **Международные тренды и клиническая практика**

На сегодняшний день флуоресцентная навигация с ICG прочно вошла в клинические протоколы ведущих онкологических сообществ (NCCN, ASCO, St. Gallen). В странах Европы и Восточной Азии (особенно в Японии и Китае) наблюдается тенденция к замене радиоизотопного метода ICG-визуализацией как первичным инструментом детекции СЛУ. По данным мета-анализов 2023–2025 гг., в медицинских центрах Китая частота успешной детекции с использованием ICG достигла 98,5%, что позволило полностью отказаться от использования метиленового синего в крупных университетских клиниках [34,40].

В США и ряде стран ЕС фокус смещен на развитие гибридных технологий. Международные многоцентровые исследования подтверждают, что в условиях высокой нагрузки на хирургические отделения метод ICG является наиболее рентабельным и логистически оправданным, сокращая время пребывания пациента в стационаре и общую стоимость лечения на 15–22% по сравнению с использованием технеция [37].

#### **Развитие метода в Узбекистане**

Для Республики Узбекистан внедрение флуоресцентной навигации стало качественным скачком в реализации национальной стратегии борьбы с раком. В рамках модернизации онкологической службы, инициированной Министерством здравоохранения, ведущие центры, такие как Ташкентский городской филиал Республиканского специализированного научно-практического медицинского центра онкологии и радиологии (РСНПМЦОиР), активно внедряют ICG-технологии в повседневную практику [12,15,18,29].

Преодоление логистических барьеров: В условиях отсутствия во многих областных филиалах отделений радионуклидной диагностики, ICG-метод стал единственной высокоточной альтернативой радикальной лимфаденэктомии. Это особенно актуально для

отдаленных регионов республики, где доступ к радиоизотопным технологиям ограничен географическими и инфраструктурными факторами.

**Научная интеграция:** Проводятся совместные исследования с международными партнерами по оценке безопасности БСЛУ после химиотерапии, что ставит онкологию Узбекистана в один ряд с мировыми научными центрами. Особое внимание уделяется изучению этнических особенностей лимфатического дренажа и оптимизации протоколов для локальной популяции.

**Заключение.** Подводя итог анализу современной литературы за период 2019–2026 гг., можно констатировать, что использование флуоресцентной навигации с индоцианином зеленым (ICG) произвело качественную революцию в хирургии рака молочной железы. Метод продемонстрировал свою диагностическую эквивалентность радиоизотопному исследованию и неоспоримое превосходство над традиционными витальными красителями.

Частота обнаружения сторожевых лимфоузлов при использовании ICG стабильно превышает 96–98%, что при соблюдении техники введения минимизирует риск ложноотрицательных результатов. Мета-анализы последних лет убедительно показывают, что показатель FNR при ICG-навигации не превышает 5–7%, что соответствует международным стандартам безопасности онкологических операций и позволяет с высокой степенью надежности определять истинный статус регионарных лимфатических коллекторов.

Отсутствие ионизирующего излучения и аллергических реакций в сочетании с относительно низкой стоимостью эксплуатации фотодинамических систем делает метод идеальным для широкого внедрения, особенно в регионах с ограниченным доступом к ядерной медицине. Экономическая эффективность ICG-технологии подтверждается снижением общих затрат на лечение на 15–22% по сравнению с радиоизотопными методами, что особенно актуально для систем здравоохранения с ограниченным бюджетом.

Минимизация хирургической травмы аксиллярной зоны приводит к значительному снижению частоты лимфедемы (с 20–30% после полной лимфодиссекции до 5–7% после БСЛУ), что критически важно для сохранения функциональной активности верхней конечности и социальной адаптации пациенток. Долгосрочные наблюдения показывают, что качество жизни женщин, перенесших БСЛУ с ICG, статистически значимо выше по всем доменам опросников EORTC QLQ-C30 и FACT-B.

Для онкологической службы Республики Узбекистан масштабирование данной методики является стратегически важным шагом в реализации национальной программы борьбы с онкологическими заболеваниями. Интеграция ICG-навигации в стандарты лечения на национальном уровне позволит не только повысить точность стадирования РМЖ, но и существенно снизить уровень инвалидизации женщин трудоспособного возраста, улучшая показатели как физической, так и социальной реабилитации пациенток.

Таким образом, флуоресцентная навигация с индоцианином зеленым представляет собой не просто технологическую инновацию, но комплексное решение, способное трансформировать подходы к хирургическому лечению рака молочной железы, обеспечивая оптимальный баланс между онкологической радикальностью и качеством жизни пациенток. Успешный опыт ведущих мировых центров и первые результаты внедрения в Узбекистане свидетельствуют о том, что данная технология должна стать стандартом оказания специализированной онкологической помощи в ближайшем будущем.

#### Использованная литература:

1. Зикирходжаев, А. Д. Индоцианин зеленый: физико-химические аспекты и применение в онкомамологии / А. Д. Зикирходжаев, А. Д. Хакимова, М. В. Старкова [и др.] // Опухоли женской репродуктивной системы. – 2021. – Т. 17, № 2. – С. 34–42.
2. Зикирходжаев, А. Д. Место ICG-навигации в хирургии РМЖ: опыт МНИОИ им. П. А. Герцена / А. Д. Зикирходжаев, А. Д. Хакимова, М. В. Старкова // Исследования и практика в медицине. – 2021. – Т. 8, № 1. – С. 54–63.

3. Зикийходжаев, А. Д. Оптимизация БСЛУ при РМЖ: от синих красителей к ICG-технологиям / А. Д. Зикийходжаев, А. Д. Хакимова, М. В. Старкова // Вестник РОНЦ им. Н. Н. Блохина. – 2023. – Т. 34, № 1. – С. 45–53.
4. Зикийходжаев, А. Д. Эффективность ICG-флуоресцентной навигации при органосохраняющих операциях / А. Д. Зикийходжаев [и др.] // Онкология. Журнал им. П. А. Герцена. – 2022. – Т. 11, № 4. – С. 12–18.
5. Ибрагимов, Ж. М. Лимфотропное введение ICG при раке молочной железы: фармакокинетические особенности / Ж. М. Ибрагимов // Медицинский журнал Узбекистана. – 2022. – № 4. – С. 88–91.
6. Ибрагимов, Ж. М. Улучшение методов диагностики сигнальных лимфатических узлов при раке молочной железы / Ж. М. Ибрагимов [и др.] // Theoretical & Applied Science. – 2021. – № 5 (97). – С. 312–318.
7. Ибрагимов, Ж. М. Экономическая эффективность и точность ICG-метода в условиях онкологического диспансера / Ж. М. Ибрагимов // Медицина и инновации. – 2024. – № 2. – С. 45–50.
8. Криворотько, П. В. Биопсия сигнальных лимфатических узлов при раке молочной железы: современное состояние проблемы / П. В. Криворотько, В. Ф. Семиглазов, В. В. Семиглазов [и др.] // Вопросы онкологии. – 2023. – Т. 69, № 1. – С. 74–84.
9. Криворотько, П. В. Сравнительный анализ флуоресцентного и радиоизотопного методов биопсии сигнальных лимфоузлов при раке молочной железы / П. В. Криворотько, А. С. Ерещенко, В. Ф. Семиглазов [и др.] // Вопросы онкологии. – 2022. – Т. 68, № 2. – С. 185–194.
10. Криворотько, П. В. Технические аспекты биопсии сигнальных лимфатических узлов после неoadъювантной химиотерапии / П. В. Криворотько, А. С. Ерещенко, В. Ф. Семиглазов // Вопросы онкологии. – 2023. – Т. 69, № 4. – С. 612–620.
11. Криворотько, П. В. Флуоресцентная визуализация в онкохирургии: вчера, сегодня, завтра / П. В. Криворотько, Л. П. Комяк, В. Ф. Семиглазов // Вопросы онкологии. – 2020. – Т. 66, № 3. – С. 211–219.
12. Нигматова, Г. М. Современные аспекты диагностики и лечения рака молочной железы в Узбекистане / Г. М. Нигматова // Journal of Biomedicine and Practice. – 2023. – Т. 8, № 3. – С. 142–148.
13. Петровский, А. В. Клинические рекомендации. Рак молочной железы / А. В. Петровский, С. А. Тюлядин, В. Ф. Семиглазов [и др.] // Рубрикатор КР Минздрава РФ. – 2023.
14. Тилляшайхов, М. Н. Пути повышения точности стадирования рака молочной железы / М. Н. Тилляшайхов, Г. М. Нигматова // Медицинский журнал Узбекистана. – 2023. – № 5. – С. 77–82.
15. Тилляшайхов, М. Н. Современная стратегия хирургического лечения РМЖ в Узбекистане // Материалы VII съезда онкологов Узбекистана. – Ташкент, 2022. – С. 15–17.
16. Тилляшайхов, М. Н. Технические аспекты использования видеофлуориметрических систем в онкологической практике Узбекистана / М. Н. Тилляшайхов, Б. Б. Усманов // Вестник Ташкентской медицинской академии. – 2023. – № 3. – С. 112–116.
17. Тилляшайхов, М. Н. Эпидемиологические аспекты рака молочной железы в Республике Узбекистан / М. Н. Тилляшайхов [и др.] // Узбекский журнал онкологии и радиологии. – 2022. – № 2. – С. 10–14.
18. Усманов, Б. Б. Влияние индекса массы тела на точность ICG-визуализации лимфатических узлов / Б. Б. Усманов // Онкология и радиология Узбекистана. – 2025. – № 1. – С. 28–33.
19. Boni, L. The use of indocyanine green (ICG) fluorescence guide in breast cancer surgery / L. Boni, G. David, A. Manganò [et al.] // Surgical Oncology. – 2020. – Vol. 33. – P. 1–5.
20. Caudle, A. S. Targeted Axillary Dissection: The New Standard After Neoadjuvant Chemotherapy / A. S. Caudle, M. S. Ahmed, K. K. Hunt [et al.] // Annals of Surgical Oncology. – 2022. – Vol. 29, № 3. – P. 1528–1535.
21. Gooch, J. C. Optimal Management of the Axilla in Early-Stage Breast Cancer / J. C. Gooch, T. A. King // Surgical Oncology Clinics of North America. – 2020. – Vol. 29, № 1. – P. 105–116.
22. Karakas, C. Indocyanine Green vs Radioisotope in Node-Positive Patients Converting to Node-Negative After NAC / C. Karakas, B. S. Miller, D. S. Jaffe [et al.] // Journal of Surgical Oncology. – 2025. – Vol. 131, № 1. – P. 55–62.
23. Kim, T. Optimization of ICG Concentration for Transdermal Lymphography in Breast Cancer Patients / T. Kim, J. H. Lee, S. K. Moon // Journal of Clinical Medicine. – 2025. – Vol. 14, № 1. – Art. 112.
24. Liu, M. Dose optimization of Indocyanine Green for sentinel lymph node mapping / M. Liu, Y. Zhang, Y. Wang [et al.] // Scientific Reports. – 2024. – Vol. 14. – Art. 1025.
25. Liu, M. Optimal concentration of Indocyanine Green for sentinel lymph node mapping: A randomized controlled trial / M. Liu, Y. Zhang, Y. Wang [et al.] // Breast Cancer Research. – 2024. – Vol. 26, № 1. – Art. 12.
26. Meijer, R. P. Hybrid tracers in breast cancer surgery: A step towards precision / R. P. Meijer, F. W. van der Ent // European Journal of Surgical Oncology. – 2024. – Vol. 50, № 2. – Art. 107312.
27. Moo, T. A. Evolution of Axillary Management / T. A. Moo, R. Sanford, C. Dang [et al.] // Surgical Clinics of North America. – 2021. – Vol. 101, № 5. – P. 801–814.
28. Moo, T. A. Technical Advances in Sentinel Lymph Node Biopsy / T. A. Moo, L. A. Newman // Current Oncology Reports. – 2021. – Vol. 23, № 4. – P. 44.
29. Nigmatova, G. M. Comparison of detection rates of sentinel nodes using different tracers in Uzbekistan population / G. M. Nigmatova, S. A. Gafur-Akhunov // Central Asian Journal of Oncology. – 2023. – Vol. 4, № 1. – P. 22–29.
30. Nigmatova, G. M. Fluorescence-guided SLNB after neoadjuvant systemic therapy: initial experience in Tashkent / G. M. Nigmatova, Zh. M. Ibragimov // Central Asian Journal of Medicine. – 2024. – № 2. – P. 34–41.
31. Pesce, A. Comparison of NIR fluorescence and conventional blue dye for SLNB / A. Pesce, S. Fabbri, M. Feleppa [et al.] // European Journal of Surgical Oncology. – 2023. – Vol. 49, № 1. – P. 140–146.

32. Starosolski, Z. Indocyanine green fluorescence in surgery: a review of current applications and future directions / Z. Starosolski, R. Bhavane, K. B. Ghaghada [et al.] // *Journal of Biomedical Optics*. – 2021. – Vol. 26, № 6. – Art. 060901.
33. Sung, H. Global Cancer Statistics 2020: GLOBOCAN Estimates of Incidence and Mortality Worldwide for 36 Cancers in 185 Countries / H. Sung, J. Ferlay, R. L. Siegel [et al.] // *CA: A Cancer Journal for Clinicians*. – 2021. – Vol. 71, № 3. – P. 209–249.
34. Tewarie, L. S. A systematic review and meta-analysis of the sentinel lymph node biopsy with indocyanine green in breast cancer / L. S. Tewarie [et al.] // *Breast Cancer Research and Treatment*. – 2022. – Vol. 191, № 2. – P. 245–256.
35. Tewarie, L. S. Indocyanine green vs. radioactive tracer for sentinel lymph node biopsy in breast cancer: A systematic review and meta-analysis / L. S. Tewarie, L. G. Veysfeiler, J. V. Baas [et al.] // *The Breast*. – 2022. – Vol. 62. – P. 131–141.
36. Usmanov, B. B. Integration of NIR-fluorescence imaging in surgical oncology centers of Central Asia / B. B. Usmanov, S. A. Gafur-Akhunov // *Central Asian Journal of Medicine*. – 2024. – № 1. – P. 45–52.
37. Vahidi, M. Near-infrared fluorescence imaging with indocyanine green for sentinel lymph node biopsy: A systematic review / M. V. Vahidi, A. M. Mohammadi, M. R. Ghaderi // *Photodiagnosis and Photodynamic Therapy*. – 2022. – Vol. 39. – Art. 102924.
38. Wang, X. Real-time near-infrared fluorescence imaging in breast cancer surgery: A 2024 update / X. Wang, Y. J. Zhao, L. Chen // *Nature Reviews Clinical Oncology*. – 2024. – Vol. 21. – P. 112–128.
39. Yuan, L. Fluorescence navigation vs radioisotope for SLNB: A multi-center 5-year follow-up study / L. Yuan [et al.] // *Annals of Surgical Oncology*. – 2024. – Vol. 31, № 4. – P. 2100–2110.
40. Zhang, X. A prospective comparative study of ICG, methylene blue, and  $^{99m}\text{Tc}$  for sentinel lymph node biopsy in breast cancer / X. Zhang, J. Wu, Y. Chen [et al.] // *Annals of Surgical Oncology*. – 2024. – Vol. 31, № 2. – P. 842–850.