

М.А. Волох^{1,2}, Г.В. Папаян³, А.А. Акопов³, П.А. Антонян¹, Г.Р. Абзалева¹, А.С. Субботкин¹

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ ЛИМФАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДО И ПОСЛЕ РАЗЛИЧНЫХ ВАРИАНТОВ ЛИФТИНГА ЛИЦА С ПОМОЩЬЮ ФЛЮОРЕСЦЕНТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ В БЛИЖНЕМ ИНФРАКРАСНОМ ДИАПАЗОНЕ

¹ ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова»
Минздрава России, г. Санкт-Петербург

² ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны РФ,
г. Санкт-Петербург

³ ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет
им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург

M.A. Volokh^{1,2}, G.V. Papayan³, A.L. Akopov³, P.A. Antonyan¹, G.R. Abzaleva¹, A.S. Subbotkin¹

ASSESSMENT OF THE LYMPHATIC SYSTEM BEFORE AND AFTER DIFFERENT VARIANTS OF FACELIFT WITH THE HELP OF FLUORESCENCE IMAGING IN THE NEAR INFRARED RANGE

¹ North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation

² Military Medical Academy named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russian Federation

³ The First St. Petersburg State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov, St. Petersburg,
Russian Federation

Определение методов визуализации лимфатической системы (ЛС), отвечающих требованиям клиницистов, является перспективным направлением современных биомедицинских исследований.

В настоящее время системы визуализации продолжают активно совершенствоваться: внедряются новые, появляются еще более чувствительные приборы и совмещаются различные методы.

В статье представлен сравнительный анализ основных существующих методов визуализации ЛС. Отмечены возможности для применения в клинических и экспериментальных условиях.

Рассмотрены основные группы методов, применяемых для визуализации ЛС: прямые, или инвазивные (лимфангиосцинтиграфия), и косвенные, или малоинвазивные (магнитно-резонансный, радионуклидный, ультразвуковой, флуоресцентный).

Охарактеризованы особенности флуоресцентного метода: чувствительность, разрешение, специфичность, глубина проникновения препарата в ткани.

Приведены примеры использования методов визуализации ЛС для изучения динамического статуса лимфодренажа и определения локализации сигнальных лимфатических узлов. Описаны контрастирующие агенты, применяемые как в мировой практике, так и в России. Рассмотрен метод визуализации, наиболее подходящий для применения с точки зрения пластической хирургии.

Ключевые слова: лимфатическая система, лимфодренаж, индоцианин зеленый, флуоресцентная визуализация, магнитно-резонансная томография, однофотонная эмиссионная компьютерная томография, позитронно-эмиссионная томография.

Determination of methods for imaging of the lymphatic system (LS) corresponding to clinician requirements is a promising field of modern biomedical research.

Imaging systems are now being actively improved: new systems are implemented, high-sensitive devices are developed, and different methods are combined.

The paper performs the comparative analysis of main existing LS imaging methods. Possibilities of application under clinical and experimental conditions are discussed.

Main groups of methods used for LS imaging, namely, direct or invasive (lymphangioscintigraphy) and indirect or minimally invasive (magnetic resonance, radionuclide, ultrasonic, fluorescent) methods are considered.

Peculiarities of the fluorescent method are characterized: sensitivity, resolution, specificity, penetration depth in tissues.

The application of LS imaging methods for investigation of the dynamic status of lymphatic drainage and localization of sentinel lymphatic nodes is exemplified. Contrasting agents used both in the international practice and in Russia are described. The imaging method most suitable for application from the viewpoint of plastic surgery is considered.

Key words: *lymphatic system, lymphatic drainage, indocyanine green, fluorescent imaging, magnetic resonance imaging, single-photon emission computed tomography, positron emission tomography.*

УДК 617.52-018-085.846:612.42

doi 10.17223/1814147/66/01

ВВЕДЕНИЕ

Лимфатическая система (ЛС) играет важную роль в иммунном ответе организма, в микроциркуляции и патогенезе воспалительных процессов [1]. Некоторые авторы отмечают, что предотвращение ятрогенных повреждений данной системы занимает важное место в профилактике послеоперационных осложнений и является одним из факторов удачно проведенной операции [2]. Несмотря на то, что в течение прошлого столетия был предложен ряд принципиально новых методов диагностики ЛС, представления о лимфатическом дренаже в большинстве случаев исследований относятся к сторожевым лимфатическим узлам (СЛУ), и полные данные об архитектуре системы отсутствуют. Вместе с тем, эти знания необходимы не только при лечении доброкачественных и злокачественных заболеваний, но и для выбора правильной тактики, а также с целью профилактики послеоперационных осложнений в хирургии лица.

Для оценки состояния лимфатической системы применяются различные методы визуализации. Ранее используемые методы, такие как лимфоангиография, лимфография с красителем «Lymphazurin 1%», лимфосцинтиграфия, компьютерная томография (КТ) и ультразвуковое исследование, оказались не в состоянии полностью удовлетворить всем клиническим потребностям. В последнее время внедрены новые методы: магнитно-резонансная томография (МРТ), 18-фтордезоксиглюкоза позитронно-эмиссионная компьютерная томография (18-ФДГ ПЭТ/КТ), однофотонно-эмиссионная компьютерная томография (ОФЭКТ), контрастно-усиленные ультразвуковые исследования (CEUS), система визуализации методом спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИК). В связи с технической сложностью пункции лимфатических сосудов, прямая лимфоангиография остается невостребованной среди клиницистов.

Важным шагом в развитии исследования ЛС является разработанная японскими хирургами

система визуализации методом спектроскопии ближней инфракрасной области (СБИК) с использованием маркера индоцианин зеленый (ИЦЗ) [3]. ИЦЗ – водорастворимое соединение, широко используемое для оценки сердечного выброса в ангиографии, офтальмологии и реконструктивной хирургии. Индоцианин зеленый является трикарбоцианиновым красителем, спектр поглощения и излучения которого находится в пределах инфракрасного диапазона: абсорбционный максимум — 790–805 нм, пик излучения – 825–835 нм. В отличие от видимого света, инфракрасное излучение лучше проникает через ткани, содержащие биологические пигменты (меланин, гемоглобин), и меньше в них рассеивается. Для визуализации ЛС препарат вводится в интерстициальное пространство в дистальных участках предполагаемой зоны бассейна лимфодренажа. Схожими диагностическими свойствами обладает отечественная система FLUM-808.

Цель работы – оценить диагностические возможности использования системы FLUM-808 для исследования лимфатической системы лица и последующего внедрения полученных данных в практическую омолаживающую хирургию лица для улучшения результатов операций.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено в соответствии с протоколом, утвержденным этическим комитетом ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России (г. Санкт-Петербург).

Прибор FLUM-808 состоит из инфракрасного лазера, камеры со штативом и персонального компьютера для обработки данных. Выносная головка прибора, включающая мультиспектральную телевизионную камеру и оптоволоконную систему лазерной подсветки, показана на рис. 1.

Работа с подопытными животными (кролики) была выполнена сотрудниками, имеющими соответствующую подготовку и квалификацию.

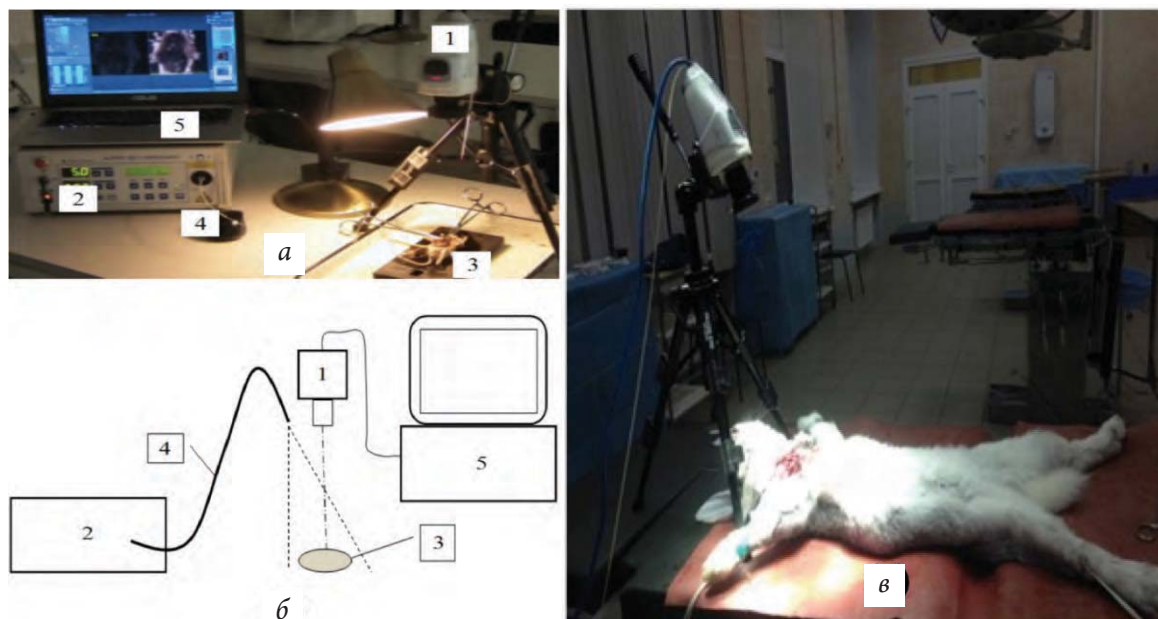


Рис. 1. Проведение эксперимента на кролике с использованием системы FLUM-808: *а* – внешний вид системы FLUM-808: 1 – камера, 2 – лазерный аппарат (808 нм, 9 Вт), 3 – исследуемое поле, 4 – оптоволоконный вывод излучения, 5 – компьютер; *б* – схематическое изображение системы FLUM-808; *в* – вид работы аппарата над испытуемым кроликом

В условиях общей анестезии изофлюраном были выполнены внутрикожные инъекции препарата ИЦЗ дозой 0,0125 мг/0,05 мл в дистальные участки уха. Пошаговые инъекции показали, что при введении препарата визуализируются как основные протоки, так и описанная в литературе система преколлекторов [4]. При попадании в основной проток препарат почти сразу (0,5–1 с) высвечивался хорошо контурированной дорожкой в направлении к заушным лимфатическим сосудам. При остальных инъекциях ИЦЗ можно было проследить ток препарата

к основному потоку в виде тонких сосудистых сетей, что совпадает спреколлекторами (рис. 2).

Для дальнейшего исследования ЛС был произведен разрез по средней линии грудного отдела кролика и мобилизован кожно-фасциальный лоскут с правой стороны размерами 6,0 × 8,0 см, учитывая особенности кровоснабжения кожи (рис. 3). Возможности аппарата позволяют хирургу в режиме реального времени визуализировать лимфатические сосуды и узлы, при возможности не повреждать их.

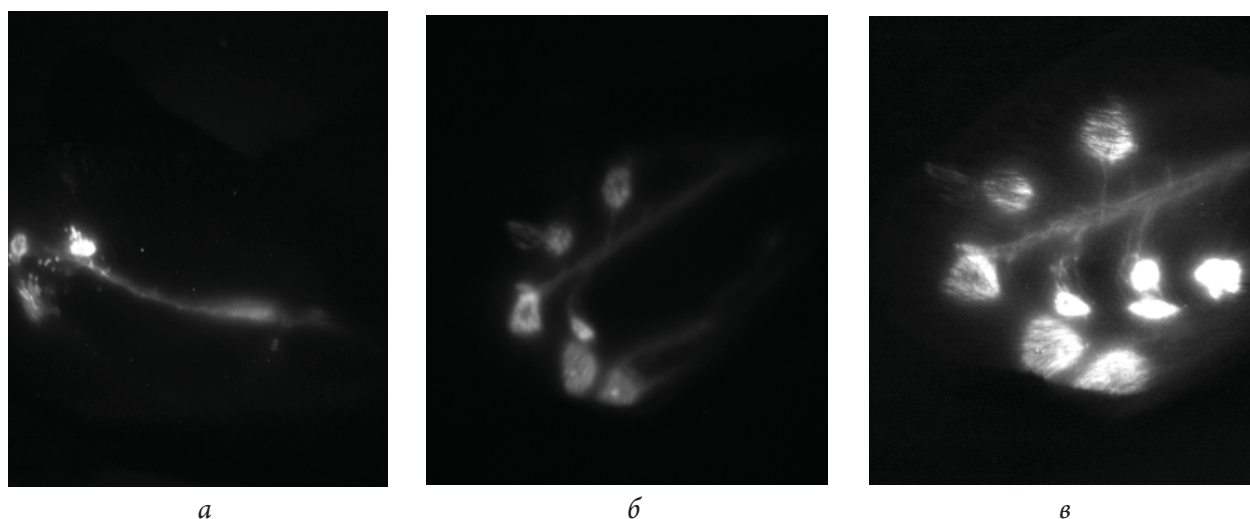


Рис. 2. Пошаговая инъекция препарата индоцианина зеленого в дистальные участки уха кролика: *а* – визуализация медиально расположенного лимфатического магистрального протока уха; *б, в* – визуализация преколлекторов в направлении к основному потоку

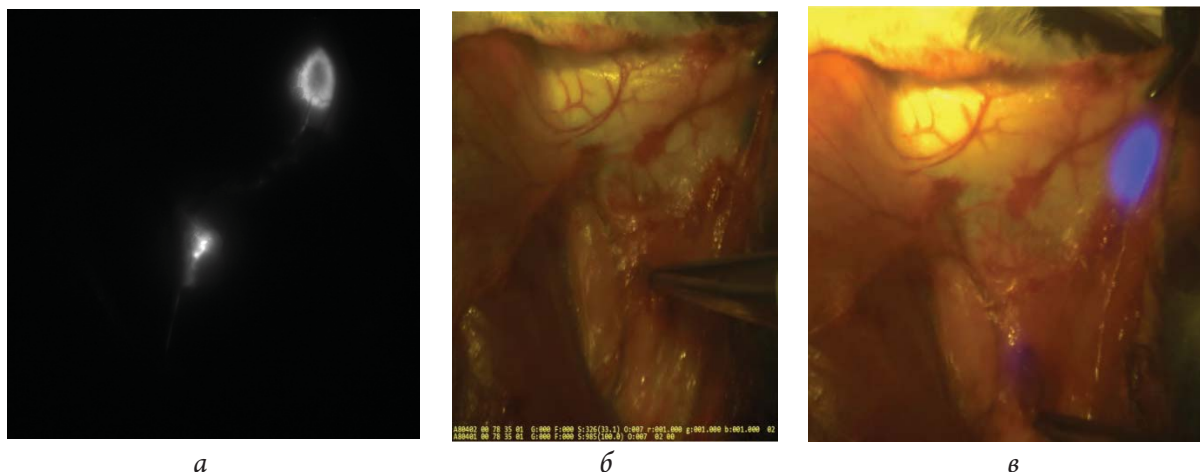


Рис. 3. Метод интраоперационной визуализации лимфатической системы: а – место скопления препарата при инфракрасной съемке; б – фото при обычной съемке, где инструмент указывает на место скопления препарата при инфракрасной съемке; в – наложение картин а и б

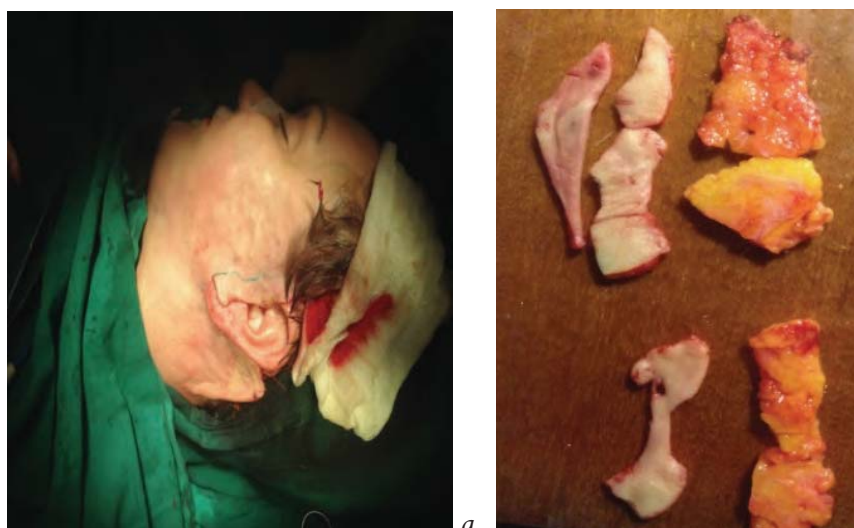


Рис. 4. Интраоперационное фото пациентки при выполнении глубокого лифтинга лица и шеи. Промаркированная область кожи подлежит удалению (а), удаленные участки кожи и глубоких слоев жировой ткани (б)

После проведенных экспериментальных исследований была выполнена клиническая часть работы, включавшая в себя исследование 18 женщин в возрасте от 38 до 51 года с сохраненной функцией яичников до и после лифтинга лица различными методами, и операционного материала – резецируемой кожи боковых отделов при лифтинге лица и удаляемых участков поверхностных и глубоких жировых пакетов средней зоны и боковых отделов лица, полученных при мобилизации SMAS-лоскута (superficial muscular aponeurotic system) (рис. 4). Условно лицо было разделено на поверхностные и глубокие жировые слои. В состав поверхностного слоя включен подкожный верхний слой – до 3 мм поверхностных жировых структур; нижней границей глубокого слоя являлась фасция жевательной мышцы в боковых отделах и в центральной зоне – уровень передней границы буккального пространства (buccal space, *spatium buccalis*).

Исследуемые группы и выполненное оперативное вмешательство представлены в таблице.

Использование техники хирургического лифтинга лица

Группа	Техника операций на лице
1-я (2 человека)	Глубокий фронтотемпороскуловой лифтинг + нижняя блефаропластика
2-я (6 человек)	High SMAS-пластика с ограниченной отслойкой поверхностных тканей
3-я (2 человека)	Обширная отслойка поверхностного слоя + SMAS-пликация SMAS-лоскута
4-я (8 человек)	Глубокий фронтотемпороскуловой лифтинг с выкраиванием SMAS-лоскута на границе средней и нижней трети лица с обширной отслойкой поверхностного слоя + нижняя блефаропластика



Рис. 5. Точки введения препарата

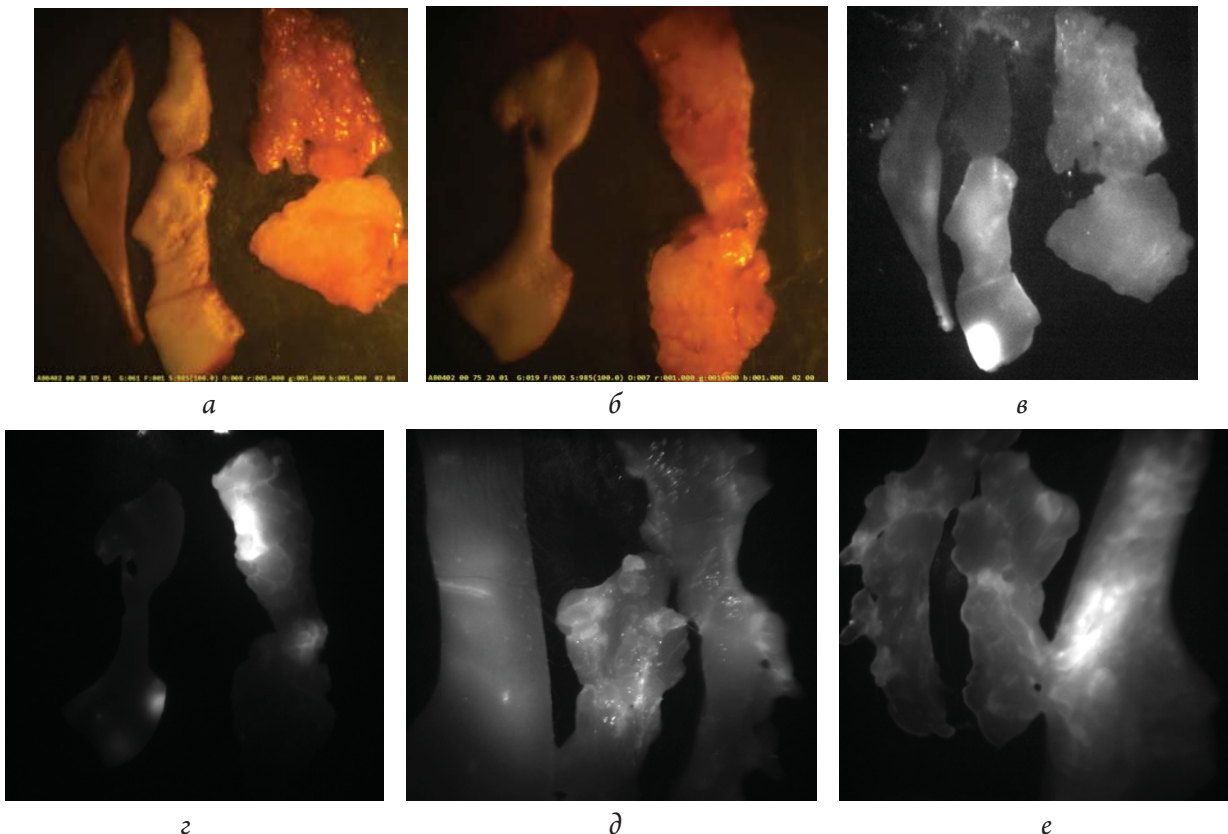


Рис. 6. Исследуемый операционный материал: а, б – фото в режиме обычной съемки; в–д – фото в инфракрасном диапазоне; е – фото в инфракрасном диапазоне того же материала д с обратной (внутренней) стороны

До начала операции, учитывая анатомию протоков ЛС [5], в обозначенные места было выполнено интрадермальное введение микродоз препарата ИЦЗ (0,0125 мг/0,05 мл) (рис. 5).

Поверхностная инъекция (интрадермально) и отдаленность места ввода препарата от места разрезов данных участков предотвращает возможность его диффузного стекания. В ходе проведенных исследований было показано, что при введении препарата в микродозах максимальный диаметр светящегося пятна составляет не более 2,0 см. После окончания операции удаленный материал был исследован в лаборатории аппаратом FLUM-808 (рис. 6).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Путем экспериментального исследования на кроликах была отработана техника введения и выявлены оптимальные дозы препарата. Установлено, что при введении препарата в эпидермальный слой микродозами 0,0125 мг/0,05 мл исследование позволяет визуализировать не только лимфатические сосуды, но и узлы. Также было зафиксировано, что при внутривенном введении препарата свечение в инфракрасном диапазоне продолжается в течение нескольких минут, и максимум через 10 мин эффект полностью исчезает. По сравнению с кровеносной

системой в ЛС свечение может продолжаться в течение нескольких часов (мы наблюдали максимум 6 ч после введения), что позволяет сделать инъекции перед началом операции и наблюдать ЛС до ее завершения.

По данным литературы, поверхностная сеть ЛС лица расположена в дерме и под поверхностной фасцией, и нижней границей данной сети служат поверхностные слои глубоких жировых пакетов лица (рис. 7) [6].

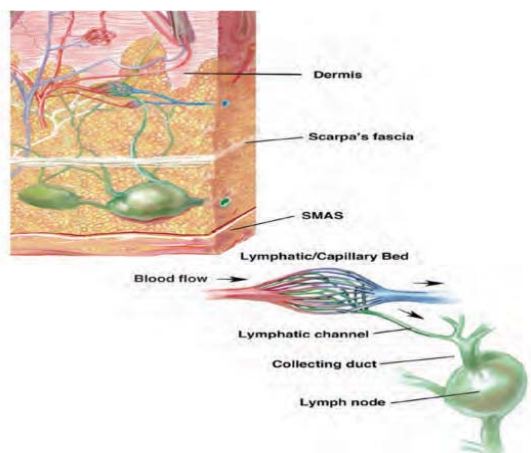


Рис. 7. Структура поверхностной сети ЛС по отношению к SMAS. Рисунок из статьи R. Meade и соавт. (2012)

R.A. Meade и соавт. в 2012 г. провели исследование статуса ЛС до и после трех видов лифтингов средней трети лица: 1) подкожное рассечение с поверхностной пликацией SMAS; 2) подкожное рассечение с SMAS-ectomy; 3) «высокий SMAS» композитный лифтинг лица, где показывает одинаковое повреждение лимфодренажа. Общим среди всех трех техник служит наличие обширной подкожной диссекции, что послужило причиной для почти полного прекращения лимфодренажа средней трети лица.

На рис. 6 видно, что поверхностно (эпидермально) введенный препарат был поглощен не только кожной лимфатической сетью, но также участками жировых пакетов поверхностных и глубоких слоев лица. Повторные исследования по той же технике выполнялись через 1 мес после операции.

Проведенное исследование показало, что лимфатическая сеть не ограничивается слоем над SMAS, и существует сообщение с участками, находящимися под этой структурой или внутри ее.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Выренков Ю.Е., Москаленко В.И., Москаленко В.В., Шишло В.К., Круглова И.С. Роль лимфатической системы в патогенезе воспалительных процессов. Методы лимфатической терапии. Вестник лимфологии. 2014; (2): 4–10. [Verenkov Yu.Ye., Moskalenko V.I., Moskalenko V.V., Shishlo V.K., Kruglova I.S. The Role of the lymphatic system in the pathogenesis of inflammatory processes. Methods of lymphatic therapy. Bulletin of Lymphology. 2014; (2): 4–10. (In Russ.)].
2. Mottura A.A. Face lift postoperative recovery. Aesthetic Plast. Surg. 2002; 26: 172–180.

Таким образом, Можно сделать вывод, что ЛС представлена и расположена не в одном слое, а в виде хорошо развитой трехмерной сети основных протоков и преколлекторов, объединенных друг с другом, начиная от эпидермального слоя до нижних границ жировых пакетов.

В ходе проведенного исследования не были получены данные о наличии скоплений лимфатических узлов в каком-либо конкретном слое. Лимфатические сосуды и узлы были распределены по всей площади иссеченных участков поверхностных и глубоких жировых структур лица.

При анализе данных послеоперационного исследования выявлены сходные повреждения лимфатической системы в группах 3 и 4. При этом в группах 1 и 2 (глубокий фронтотемпороскуловой лифтинг с нижней блефаропластикой и выкраивание High SMAS-лоскута с ограниченной отслойкой поверхностных тканей) наблюдалось наибольшее сохранение целостности лимфатической системы.

В процессе проведенных исследований, как экспериментальных, так и клинических, не было зарегистрировано ни одного случая осложнений.

ВЫВОДЫ

1. Использование системы FLUM-808 для исследования лимфатической системы лица является безопасным и информативным методом.

2. В ходе динамического исследования статуса лимфатической системы лица установлен многоуровневый тип строения ЛС лица с преобладанием в поверхностных и глубоких жировых структурах.

3. Условием сохранения функции лимфатической системы при различных видах подтяжки (лифтинга) лица может служить ограниченная диссекция над SMAS и отсутствие диссекции одновременно на двух уровнях (поверхностном и глубоком).

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования при проведении исследования.

3. Suami H., Chang David W., Soto-Miranda M.A. Mapping Superficial Lymphatic Territories in the Rabbit Department of Plastic Surgery, the University of Texas MD Anderson Cancer Center, Houston, Texas Published online 24 April 2013 in Wiley Online Library (wileyonlinelibrary.com The Anatomical Record). 2013; 296:965–970.
4. Kitai T., Inomoto T., Miwa M, Shikayama T. Fluorescence navigation with indocyanine green for detecting sentinel lymph nodes in breast cancer. Breast Cancer. 2005;12:211–215.
5. Wei-Ren Pan, Hiroo Suami, G. Ian Taylor. Lymphatic Drainage of the Superficial Tissues of the Head and Neck: Anatomical Study and Clinical Implications Plastic and Reconstructive Surgery. June 2008. Impact Factor: 2.99. DOI 10.1097/PRS.0b013e31816aa072 · Source: PubMed Melbourne, Victoria, Australia.
6. Meade R.A., Teotia S.S., Landis K. Griffeth and Fritz E. Barton Facelift and Patterns of Lymphatic Drainage. Aesthetic Surgery Journal. 2012; 32: 39–45. DOI: 10.1177/1090820X11430683.

Поступила в редакцию 15.05.2018

Утверждена к печати 05.09.2018

Авторы:

Волох Мария Александровна – д-р мед. наук, зав. кафедрой пластической и реконструктивной хирургии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России (г. Санкт-Петербург), ассистент кафедры травматологии ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» Министерства обороны РФ (г. Санкт-Петербург).

Папаян Гарри Вазгенович – канд. техн. наук, сотрудник центра лазерной медицины ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России (г. Санкт-Петербург).

Акопов Андрей Леонидович – д-р мед. наук, профессор кафедры госпитальной хирургии №1 ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России (г. Санкт-Петербург).

Антонян Паруйр Арменович – аспирант кафедры пластической и реконструктивной хирургии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России (г. Санкт-Петербург).

Абзалева Гузель Ринатовна – ассистент кафедры пластической и реконструктивной хирургии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России (г. Санкт-Петербург).

Субботкин Андрей Сергеевич – ординатор кафедры пластической и реконструктивной хирургии ФГБОУ ВО СЗГМУ им. И.И. Мечникова Минздрава России (г. Санкт-Петербург).

Контакты:

Волох Мария Александровна

тел.: 8-921-903-7355

e-mail: marivolokh@mail.ru

Conflict of interest. The authors declare the absence of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this paper.

Source of financing. The authors state that there is no funding for the study.

Information about authors:

Volokh Maria A., Dr. Med. Sci., head of Department of Plastic and Reconstructive Surgery, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation; Military Medical Academy named after S.M. Kirov, St. Petersburg, Russian Federation.

Papayan Garri V., Cand. Techn. Sci., Center of Laser Medicine, The First St. Petersburg State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov, St. Petersburg, Russian Federation.

Akopov Andrey L., Dr. Med. Sci., Professor, Department of Hospital Surgery №1, The First St. Petersburg State Medical University named after Acad. I.P. Pavlov, St. Petersburg, Russian Federation.

Antonyan Paruyr A., Department of Plastic and Reconstructive Surgery, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation.

Abzaleva Guzel R., assistant, Department of Plastic and Reconstructive Surgery, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation.

Subbotkin Andrey S., resident, Department of Plastic and Reconstructive Surgery, North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation.

Corresponding author:

Volokh Maria A.

Phone: +7-921-903-7355

e-mail: marivolokh@mail.ru