

12. Baltussen, E.J.M. Diffuse reflectance spectroscopy as a tool for real-time tissue assessment during colorectal cancer surgery / E.J.M. Baltussen, P. Snaebjornsson, S.G. Brouwer de Koning, H.J.C.M. Sterenborg, A.G.J. Aalbers, N. Kok, G.L. Beets, B.H.W. Hendriks, K.F.D. Kuhlmann, T.J.M. Ruers // *Journal of Biomedical Optics*. – 2017. – V. 22. – №. 10. – 106014.
13. Zherebtsov, E.A. Fluorescence lifetime needle optical biopsy discriminates hepatocellular carcinoma / E.A. Zherebtsov, E.V. Potapova, A.V. Mamoshin, V.V. Shupletsov, K.Y. Kandurova, V.V. Dremin, A.Y. Abramov, A.V. Dunaev // *Biomedical Optics Express*. – 2022. – V. 13. – №. 2. – P. 633-646.
14. Zherebtsov, E. Hyperspectral imaging of human skin aided by artificial neural networks / E. Zherebtsov, V. Dremin, A. Popov, A. Doronin, D. Kurakina, M. Kirillin, I. Meglinski, A. Bykov // *Biomedical Optics Express*. – 2019. – V. 10. – №. 7. – P. 3545-3559.
15. Kim, S.K. Mouse hepatic tumor vascular imaging by experimental selective angiography / S.K. Kim, H. Kim, G.Y. Koh, D.-S. Lim, D.-Y. Yu, M.D. Kim, M.-S. Park, J.S. Lim // *PLoS One*. – 2015. – V. 10. – №. 7. – e0131687.

FINE-NEEDLE OPTICAL BIOPSY AS A WAY TO IMPROVE THE DIAGNOSTIC EFFICIENCY OF PERCUTANEOUS LIVER PUNCTURE BIOPSY

Potapova E.V.^{1*}, Zherebtsov E.A.^{1,2}, Shupletsov V.V.¹, Kandurova K.Y.¹,
Dremin V.V.^{1,3}, Mamoshin A.V.^{1,4}, Dunaev A.V.¹

¹ Orel State University named after I.S. Turgenev, *potapova_ev_ogu@mail.com
² Optoelectronics and Measurement Techniques, University of Oulu, Oulu, Finland
³ College of Engineering and Physical Sciences, Aston University, Birmingham, UK
⁴ Orel Regional Clinical Hospital

Annotation. The relatively high probability of false-negative results of liver puncture biopsies aimed at verifying the presence of malignant tumors remains a relevant problem in surgery. The paper presents the results of experimental measurements in the murine model of hepatocellular carcinoma. The experimental setup used included fluorescence lifetime and diffuse reflectance channels, as well as a custom needle optical probe compatible with 17.5G standard biopsy needles. The obtained parameters of short and slow fluorescence lifetimes, fluorescence intensities and blood oxygen saturation in tissues allowed us to distinguish the control and malignant tissues as well as metabolically altered liver tissues near the tumor. We suppose that the proposed multimodal approach for real-time tissue evaluation can significantly reduce the number of mistakes during percutaneous needle biopsy.

ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ КОЖИ ЛИЦА МЕТОДОМ ЛАЗЕРНОЙ ДОПЛЕРОВСКОЙ ФЛОУМЕТРИИ ПОСЛЕ ПРОВЕДЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПИЛИНГА

Паршакова В.Е.* , Потапова Е.В.
ФГБОУ ВО «ОГУ имени И.С. Тургенева», vivivi@yandex.ru

Кожа – орган, который является защитным барьером и выполняет важные функции. Она состоит из трех слоев: эпидермис, дерма, подкожная жировая клетчатка. Именно эпидермис защищает организм от внешних факторов, сохраняя внутренний гомеостаз. Защитные функции кожи включают УФ-защиту, антиоксидантную и противомикробную функции. Также кожа является органом чувств и первичным регулятором температуры тела. Кожа лица больше других органов подвержена воздействию негативных факторов, таких как прямое действие солнечных лучей, механическое воздействие грязных рук в течение дня, неправильный уход, что приводит к истощению, закупориванию пор, потере влаги, неспособности к регенерации. Коллагеновые волокна являются одним из главных структурных элементов кожи, чье основное предназначение заключается в обеспечении прочности тканей и защиты от механических повреждений, а также в поддержании эластичности тканей совместно с эластиновыми волокнами.

Для улучшения состояния кожи существует ряд косметологических процедур, которые проводятся в клиниках врачами-дерматологами: пилинги (УЗ, химический, растительный); лифтинг-маски, вакуумно-роликовый массаж, мезотерапия гиалуроновой кислотой и др. Наряду с этим всё большую популярность набирают домашние процедуры ухода за лицом. Рынок домашних косметических устройств быстро растет, увеличившись более чем в три раза за последние несколько лет. К относительно доступным с экономической точки зрения, а также простым в использовании, относятся аппараты ультразвуковой чистки лица.

Ультразвуковая чистка лица (УЗ-пилинг) – это аппаратная процедура по очищению кожи от излишков кожного сала и загрязнений, удалению ороговевших клеток эпидермиса и устранению комедонов за счет воздействия интенсивных ультразвуковых волн, вызывающих вскипание (кавитацию) нанесенной на кожу контактной среды. Ультразвук вызывает отшелушивание кератиноцитов, а также влияет на дерму, особенно на ее плотные фиброзные структуры, «разрыхляя» и ускоряя их обновление. Эффект лифтинга, наблюдаемый

после ультразвуковой процедуры, обусловлен прежде всего повышением гидратации рогового слоя. Все производители УЗ-аппаратов для очистки кожи заявляют о том, что под воздействием волновых вибраций осуществляется микромассаж кожи, улучшается местное кровообращение и стимулируется выработка эластина и коллагена. Одним из наиболее перспективных методов для изучения системы микроциркуляции крови (МЦК) кожи лица является лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ) [1], а методом, позволяющим зарегистрировать изменения в содержании биологических флуорофоров, в том числе эластина и коллагена в коже – флуоресцентная спектроскопия (ФС) [2].

ЛДФ является неинвазивным методом исследования МЦК, позволяющим не только оценить общий уровень периферической перфузии, но и выявить особенности регуляции кровотока в микроциркуляторном русле. ЛДФ базируется на зондировании *in vivo* эпителиальных тканей низкоинтенсивным лазерным излучением инфракрасной или красной длины волны с последующей регистрацией обратно рассеянного излучения и определением динамических параметров микроциркуляции крови, таких как перфузия тканей кровью и частотные ритмы микроциркуляции, по доплеровскому сдвигу частоты излучения лазера при рассеянии этого излучения на движущихся форменных элементах крови (эритроцитах). Дополнительные возможности в оценке изменений, происходящих в системе МЦК, дает проведение спектрального анализа регистрируемого сигнала, что делает возможным анализ различных механизмов регуляции в широком диапазоне частот (0,0095-1,6 Гц) [3]. ФС основана на зондировании биоткани излучением в видимой или УФ области спектра с целью возбуждения эндогенных флуоресцирующих биомаркеров кожи (NADH, флавины, коллаген, липофусцины и др.) и регистрации спектров интенсивности флуоресценции. При этом изменение суммарной концентрации коллагена и эластина, а также NADH, возможно зарегистрировать при использовании света в УФ области длин волн [4]. Методы ЛДФ и ФС нашли применение и в дерматологической практике [5,6], в том числе при оценке состояния перфузионно-метаболических процессов в коже после лечебных и косметологических процедур [7–9].

Целью данной работы явилась оценка влияния процедуры ультразвукового пилинга, осуществляемого аппаратом для ультразвуковой чистки лица BON-990 Gezatone в домашних условиях, на состояние МЦК кожи лица методами ЛДФ и ФС.

В пилотных экспериментальных исследованиях приняли участие 8 добровольцев в возрасте 19 ± 3 лет без признаков поражения кожи, у которых регистрировались параметры МЦК и тканевого метаболизма в точке, расположенной в центре лба на протяжении трех дней до проведения ультразвукового пилинга и через три дня после проведения косметологической процедуры. Оценивались перфузия ткани кровью методом ЛДФ и содержание коферментов NADH/коллагена/эластина методом ФС. Регистрация параметров перфузии и амплитуд флуоресценции коферментов обеспечивалась комплексом «ЛАЗМА Д» (ООО НПП «ЛАЗМА», Россия) одновременно и в одном объеме ткани (примерно 2-3 мм³). В доплеровском канале применялся лазерный модуль с длиной волны излучения 1064 нм, для возбуждения флуоресценции NADH/коллагена/эластина использовался источник на длине волны излучения 365 нм. Доставка зондирующего излучения и прием обратно отраженного от ткани вторичного излучения осуществлялась оптоволоконным зондом одновременно двумя каналами.

В процессе проведения экспериментальных исследований в течение всех этапов в канале ЛДФ производилась регистрация показателя микроциркуляции крови (перфузия, пф.ед.), а далее проводился анализ амплитудно-частотного спектра зарегистрированных сигналов ЛДФ по известной методике [10], а именно – амплитуд колебаний эндотелиального (Аэ, пф.ед.), нейрогенного (Ан, пф.ед.), миогенного (Ам, пф.ед.), дыхательного (Ад, пф.ед.) и сердечного (Ас, пф.ед.) генеза. В канале ФС регистрировали спектры интенсивности флуоресценции, возбужденной на длине волны 365 нм. Далее анализировали максимальные амплитуды флуоресценции, нормированные на интенсивность обратно отраженного излучения возбуждения. Полученные результаты расчета показателей гемодинамики и интенсивности флуоресценции до и после ультразвукового пилинга в области лба приведены на рисунке 1.

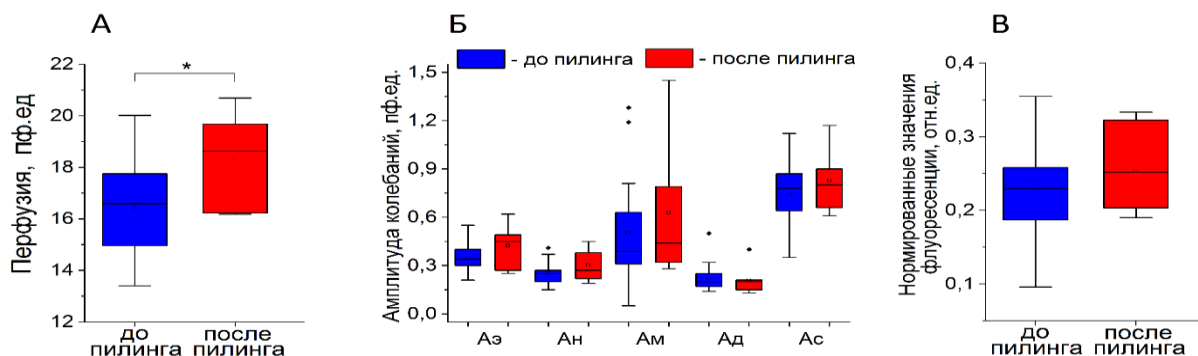


Рисунок 1 – Результаты расчета показателей гемодинамики и интенсивности флуоресценции до и после ультразвукового пилинга в области лба: а – показатель микроциркуляции; б – амплитуды колебаний осцилляций кровотока; в – нормированные значения флуоресценции

Полученные данные показали, что в результате проведенной косметической процедуры наблюдалось статистическое повышение микроциркуляции крови в исследуемой области (рисунок 1,а). При этом была отмечена тенденция к возрастанию амплитуд сердечных, эндотелиальных, нейрогенных и миогенных колебаний (рисунок 1,б), что может свидетельствовать о том, что в области регистрации сигнала был увеличен приток крови при повышении миогенного тонуса и усилился нутритивный кровоток. Однако, зарегистрированные спектры флуоресценции не отображали каких-либо значимых изменений сигнала после проведения пилинга (рисунок 1,в), что, возможно, связано с тем, что данная процедура никак не влияет на заявленные изменения в содержании эластина и коллагена в коже или необходимо более длительное время для выработки данных веществ в коже.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что ультразвуковая чистка лица является достаточно эффективной процедурой для улучшения кровообращения, при регулярном проведении данной процедуры можно улучшить местное кровообращение и состояние кожи лица даже в домашних условиях. Однако, в данном пилотном исследовании (на небольшой выборке) методами оптической диагностики не выявлено подтвержденных данных о стимулировании УЗ-пилингом выработки эластина и коллагена, что является предметом дальнейших исследований.

Библиографический список

1. Dunaev, A.V. Investigating tissue respiration and skin microhaemocirculation under adaptive changes and the synchronization of blood flow and oxygen saturation rhythms // A.V. Dunaev, V.V. Sidorov, A.I. Krupatkin, I.E. Rafailov, S.G. Palmer, N.A. Stewart, S.G. Sokolovski, E.U. Rafailov // *Physiological Measurement*. – 2014. – V.35. – №4. – P. 607-621.
2. Флуоресцентная диагностика митохондриальной функции в эпителиальных тканях in vivo: монография / Е.А. Жеребцов, В.В. Дрёмин, А.И. Жеребцова, Е.В. Потапова, А.В. Дунаев. – Орел: ОГУ имени И.С. Тургенева, 2018. – 107 с.
3. Stefanovska, A. Wavelet analysis of oscillations in the peripheral blood circulation measured by laser Doppler technique / A. Stefanovska, M. Bracic, H.D. Kvernmo // *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*. – 1999. – Vol.46. – №10. – P. 1230-1239.
4. Akbar, N. In vivo noninvasive measurement of skin autofluorescence biomarkers relate to cardiovascular disease in mice / N. Akbar, S. Sokolovski, A. Dunaev, J.J.F. Belch, E. Rafailov, F. Khan // *Journal of microscopy*. – 2014. – Vol. 255. – № 1. – P. 42-48.
5. Давыдова, А.В. Оценка состояния микроциркуляторного русла кожи лица методом лазерной доплеровской флоуметрии / А.В. Давыдова, А.В. Моррисон, В.В. Лыгачев // *Саратовский научно-медицинский журнал*. – 2012. – Т.8. – №2. – С.615-621.
6. Галкина, Е.М. Флуоресцентная диагностика в дерматологии (обзор) / Е.М. Галкина, С.Р. Утц // *Саратовский научно-медицинский журнал*. – 2013. – Т. 9. – № 3. – С. 566-572.
7. Новиков, К.А. Оценка изменений показателей лазерной доплеровской флоуметрии у пациентов с сочетанным подтипом розацеа под влиянием курса комплексной фототерапии / К.А. Новиков, О.Б. Тамразова, Ю.И. Матушевская // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. – 2021. – Т. 20. – №2. – С. 125-136.
8. Глаголева, Е. Н. Оценка микроциркуляторно-тканевых систем после косметологических процедур, направленных на коррекцию возрастных изменений / Е.Н. Глаголева, В.В. Сидоров, Н.Д. Подоплекина, Д.Р. Файзуллина // *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. – 2020. – Т. 19. – №. 3. – С. 25-30.
9. Grechkanyova, O. The usage of laser Doppler flowmetry for evaluation of the efficiency of ozone-containing drugs for external use / O. Grechkanyova, O. Bitkina, S. Peretyagin, P. Peretyagin, I. Gabasov, P. Razheva // *Journal of Pharmacy and Pharmacology*. – 2018. – V. 6. – №. 1. – P. 32-37.
10. Крупаткин, А.И. Функциональная диагностика состояния микроциркуляторно-тканевых систем: колебания, информация, нелинейность: руководство для врачей / А.И. Крупаткин, В.В Сидоров. – М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2013. – 496 с.

ASSESSMENT OF THE MICROCIRCULATION OF THE FACIAL SKIN BY LASER DOPPLER FLOWMETRY AFTER ULTRASOUND PEELING

Parshakova V.E. *, Potapova E.V.

Orel State University named after I.S. Turgenev *yivivi@yandex.ru

Annotation. The paper evaluates the effect of the ultrasonic facial cleansing procedure on blood microcirculation and the content of the complex of fluorophores (collagen, elastin, NADH). A series of experimental studies was conducted with the participation of 8 volunteers. The state of peripheral blood flow was assessed by laser Doppler flowmetry, the total content of the fluorophores of interest by fluorescence spectroscopy. Based on the data obtained, it was revealed that the home cosmetology procedure really affects the microcirculation of the blood of the face, enhancing local perfusion. At this stage of research, optical noninvasive diagnostic methods failed to confirm the assumption that ultrasonic peeling stimulates the production of elastin and collagen.

◆

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ГИПЕРСПЕКТРАЛЬНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАРУШЕНИЯ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ В ЖИВОТНОЙ МОДЕЛИ ИШЕМИИ КИШЕЧНИКА

Шуплецов В.В.¹, Горюнов И.А.¹, Адаменков Н.А.², Мамошин А.В.^{1,3}, Потапова Е.В.¹, Дрёмин В.В.¹

¹ Научно-технологический центр биомедицинской фотоники
ОГУ имени И.С. Тургенева, Орёл, Россия

² Больница скорой медицинской помощи им. Н.А. Семашко, Орёл, Россия

³ БУЗ Орловской области «Орловская областная клиническая больница», Орёл, Россия

Кишечная ишемия возникает в результате различных нарушений, вызывающих недостаточный приток крови к кишечнику. Тип и прогноз такого повреждения зависит от множества факторов, в том числе и от того, насколько своевременно проведена соответствующая диагностика [1]. В этой связи разработка новых методов оценки жизнеспособности тканей во время хирургического вмешательства является перспективным направлением развития современной биомедицинской инженерии и хирургии.

При поиске новых подходов к оценке состояния кишечной стенки закономерно рассмотрение в качестве объекта исследования мезентериального кровотока, нарушения которого напрямую связаны с патологическими изменениями биоткани [2]. В этом ключе перспективным является использование оптических методов, уже показавших свою эффективность в различных медицинских приложениях, в том числе при диагностике онкопатологии на различных органно-тканевых уровнях [3, 4].

На сегодняшний день уже был проведен ряд исследований по диагностике ишемии кишечной стенки с использованием оптических методов исследования, как например с применением метода лазерной доплеровской флоуметрии и флуоресцентной визуализации с введением контрастного препарата, показавших достаточную эффективность при анализе жизнеспособности кишечника [5-7]. В рамках данной проблемы интересным является изучение возможностей применения метода гиперспектральной визуализации (ГВ) с целью дифференциации интактных и ишемизированных тканей кишечника. Эффективность применения ГВ для анализа ишемии кишечной стенки была продемонстрирована в ряде исследований, результаты которых свидетельствуют о высокой чувствительности метода к изменению микроциркуляции крови, особенно в ближней инфракрасной оптической области исследования [8-11]. Перспективы внедрения ГВ в клиническую практику, в первую очередь, продиктованы возможностью количественной оценки параметров кровенаполнения и кислородонасыщения исследуемой области ткани [12, 13]. Таким образом актуальной задачей является дальнейшая разработка метода ГВ для внедрения метода в клиническую практику.

В настоящем исследовании изучаются возможности применения технологии ГВ для анализа микроциркуляции тканей кишечной стенки лабораторных животных при моделировании локальной ишемии кишечника. Для реализации поставленной задачи была разработана система оптической визуализации, основанная на регистрации диффузного отражения света от тканей с применением гиперспектрального подхода, позволяющая получать пространственное распределение спектральной информации (рисунок 1). В качестве широкополосного источника излучения использовался разработанный галогенный источник. В качестве детектора, для регистрации обратного диффузно-отраженного свет от объекта, использовалась гиперспектральная камера Specim (Spectral Imaging Ltd., Финляндия) со спектральным диапазоном 400-1000 нм.