

МЕТОД БЛИЖНЕПОЛЬНОГО СВЧ-ЗОНДИРОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ БОЛЕЗНИ ДЮПЮИТРЕНА

DOI: 10.17691/stm2019.11.4.12

УДК 617.3:616.757.7–007.6–072.2:681.787

Поступила 16.04.2019 г.



А.К. Мартусевич, д.б.н., руководитель лаборатории медицинской биофизики Университетской клиники¹;
С.Ю. Краснова, младший научный сотрудник лаборатории медицинской биофизики Университетской клиники¹;
С.В. Петров, к.м.н., ведущий научный сотрудник микрохирургического отделения Университетской клиники¹;
А.Г. Галка, младший научный сотрудник лаборатории медицинской биофизики Университетской клиники¹;
 младший научный сотрудник лаборатории моделирования космической плазмы²;
M.S. Petrov, MD, MPH, PhD, Associate Professor, Department of Surgery³;
А.В. Новиков, д.м.н., главный научный сотрудник Университетской клиники¹

¹Приволжский исследовательский медицинский университет, пл. Минина и Пожарского, 10/1,
Н. Новгород, 603005;

²Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики РАН, ул. Ульянова, 46,
Н. Новгород, 603950;

³The University of Auckland, Private Bag 92019 Victoria St., Auckland, 1142, New Zealand

Цель исследования — изучение диэлектрических свойств фиброзно-измененных тканей у пациентов с контрактурой Дюпюитрена методом ближнепольного СВЧ-зондирования.

Материалы и методы. В исследование включено 12 пациентов с контрактурой Дюпюитрена, проходивших стационарное лечение на базе Университетской клиники Приволжского исследовательского медицинского университета.

Диэлектрические свойства кожи и подкожных структур изучали на различных участках кисти — в области фиброзно-измененных и здоровых тканей. Все пациенты были обследованы до проведения оперативного вмешательства. Ближнепольное СВЧ-зондирование тканей проводили с использованием программно-аппаратного комплекса, разработанного в Институте прикладной физики РАН (Н. Новгород), позволяющего оценивать диэлектрическую проницаемость объектов. Диэлектрические характеристики кожи оценивали на глубинах от 2 до 5 мм с помощью серии зондов.

Результаты. Проведенные исследования позволили сформировать СВЧ-паттерн действительной части диэлектрической проницаемости у пациентов с контрактурой Дюпюитрена в области здоровых и фиброзно-измененных тканей. Обнаружено резкое снижение данного параметра в зоне патологического процесса на глубинах до 3,5 мм. При этом в области здоровых тканей особенностей диэлектрических свойств по сравнению со здоровыми добровольцами не выявлено. Также показано, что фиброзно-измененный ладонный апоневроз имеет достаточно равномерную СВЧ-структуру, что позволяет довольно точно визуализировать его границы. Это принципиально важно для планирования оперативного вмешательства у пациентов с контрактурой Дюпюитрена.

Ключевые слова: СВЧ-зондирование; контрактура Дюпюитрена; ладонный апоневроз; фиброз тканей.

Как цитировать: Martusevich A.K., Krasnova S.Yu., Petrov S.V., Galka A.G., Petrov M.S., Novikov A.V. Application of near-field microwave probing in diagnosing Dupuytren's disease. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2019; 11(4): 106–110, <https://doi.org/10.17691/stm2019.11.4.12>

English

Application of Near-Field Microwave Probing in Diagnosing Dupuytren's Disease

A.K. Martusevich, DSc, Head of the Laboratory of Medical Biophysics, University Clinic¹;
S.Yu. Krasnova, Junior Researcher, Laboratory of Medical Biophysics, University Clinic¹;
S.V. Petrov, MD, PhD, Leader Researcher, Microsurgical Department, University Clinic¹;
A.G. Galka, Junior Researcher, Laboratory of Medical Biophysics, University Clinic¹; Junior Researcher,
 Laboratory of Space Plasma Modeling²;
M.S. Petrov, MD, MPH, PhD, Associate Professor, Department of Surgery³;
A.V. Novikov, MD, DSc, Chief Researcher, University Clinic¹

Для контактов: Мартусевич Андрей Кимович, e-mail: cryst-mart@yandex.ru

¹Privolzhsky Research Medical University, 10/1 Minin and Pozharsky Square, Nizhny Novgorod, 603005, Russia;

²Federal Research Center Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences, 46 Ulyanova St., Nizhny Novgorod, 603950, Russia;

³The University of Auckland, Private Bag 92019, Victoria St., Auckland, 1142, New Zealand

The aim of the investigation was to study dielectric properties of fibrously changed tissues in patients with Dupuytren's contraction using near-field microwave probing technique.

Materials and Methods. Twelve patients with Dupuytren's contraction treated in the in-patient department of the University Clinic of Privolzhsky Research Medical University were included in the study.

The dielectric properties of the skin and subcutaneous structures were studied in various areas of the hand including fibrous and healthy tissues. All patients were examined prior to surgical intervention. Near-field microwave probing was performed using soft- and hardware complex developed at the Institute of Applied Physics, Russian Academy of Sciences (Nizhny Novgorod) providing the opportunity to estimate dielectric permittivity of biological objects. A set of probes allowed us to test the dielectric skin characteristics at the depth of 2 to 5 mm.

Results. The investigations performed enabled us to form a microwave pattern of real part of dielectric permittivity in patients with Dupuytren's contracture in the field of healthy and fibrously altered tissues. A sharp reduction in this parameter has been detected in the area of the pathological process as deep as 3.5 mm. In the area of healthy tissues, no specific changes in dielectric properties have been found in comparison with healthy volunteers. Fibrously altered palmar aponeurosis has also been shown to have a fairly uniform microwave structure which makes it possible to visualize its boundaries rather accurately. This is of fundamental importance for planning surgical interventions in patients with Dupuytren's contracture.

Key words: microwave probing; Dupuytren's contracture; palmar aponeurosis; tissue fibrosis.

Введение

Болезнь Дюпюитрена — заболевание соединительной ткани, ведущее к сморщиванию ладонного апоневроза и прогрессирующей деформации пальцев. В Германии около 1,9 млн. людей страдают контрактурой Дюпюитрена, в США имеют эту патологию 3% населения [1, 2]. По данным отделения хирургии кисти Московского НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского, число больных, оперированных по поводу контрактуры Дюпюитрена, составляет около 20% от общего числа планомерно оперируемых [3].

Хирургическое лечение болезни Дюпюитрена является наиболее радикальным. «Золотым стандартом» в большинстве случаев считается частичная или тотальная фасциэктомия [4, 5]. Однако неудовлетворительные исходы лечения достигают 30%, причем по мере прогрессирования контрактуры результаты операций ухудшаются [6]. Число рецидивов заболевания составляет от 26 до 80% [2, 4].

Одной из причин плохих результатов оперативного лечения контрактуры Дюпюитрена является сложность выявления границ поражения ладонного апоневроза, что и обуславливает выбор рациональной хирургической тактики. Как правило, границы определяются хирургом визуально непосредственно в ходе выполнения операции. И.Ж. Осмоналиев с соавт. [7] предлагают для этой цели использовать МРТ без подавления сигнала от жировой ткани. Авторами показано, что с помощью МРТ можно более точно идентифицировать границы пораженного апоневроза у больных при I–III степенях контрактуры Дюпюитрена и, соответственно, выбрать малоинвазивный доступ и малотравматичный способ иссечения пораженных тканей.

Однако применение МРТ для оценки границ поражения при контрактуре Дюпюитрена не всегда доступно, в связи с чем актуален поиск других объективных методов диагностики площади и границ патологически-измененного апоневроза.

На протяжении последних десятилетий ведутся исследования, посвященные СВЧ-диагностике структуры биотканей [8–11]. Среди неинвазивных методов перспективной считается резонансная ближнепольная СВЧ-томография, которая позволяет изучать пространственное распределение диэлектрической проницаемости и проводимости живых тканей с разрешением значительно меньше длины волны излучения. В отличие от пассивного СВЧ-зондирования для проведения ближнепольной томографии требуются значительно меньшие размеры датчика (зонда). При этом разрешающая способность технологии существенно выше [8–14].

Преимущества метода подтверждают пилотные исследования. Так, оценка электродинамических свойств кожи при дерматозах показала ценность СВЧ в определении микробной экземы и кератодермии [8, 9, 15]. Резонансная ближнепольная СВЧ-диагностика потенциально информативна для выявления онкологических новообразований органов (поверхностной или субэпителиальной локализации), при определении границ патологического очага [8, 15]. А.В. Арсеньев с соавт. [16] исследовали данным методом уровень функциональной активности ростковой зоны тканей костей у детей, на основании чего установили наличие особенностей этого процесса в зависимости от пола ребенка. Кроме того, ближнепольное СВЧ-зондирование позволяет проводить экспресс-диагностику жизнеспособности органов при трансплантации [8].

Таким образом, с помощью ближнепольного СВЧ-зондирования структуры тканей можно получать информацию о самом биообъекте и процессах, происходящих в нем [17–19]. В то же время в доступной нам литературе отсутствуют сведения о возможности применения СВЧ-визуализации при контрактуре Дюпюитрена.

Цель исследования — изучение диэлектрических свойств фиброзно-измененных тканей у пациентов с контрактурой Дюпюитрена методом ближнепольного резонансного СВЧ-зондирования.

Материалы и методы

В исследование включено 12 пациентов (все — мужчины, средний возраст — 53,9 года) с контрактурой Дюпюитрена II–III степени по классификации R. Tubiana (1968), проходивших стационарное лечение на базе Университетской клиники Приволжского исследовательского медицинского университета. Все пациенты были обследованы до выполнения оперативного вмешательства. Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (2013) и одобрено Этическим комитетом Приволжского исследовательского медицинского университета. От каждого пациента получено информированное согласие.

Диэлектрические свойства кожи и подкожных структур изучали на произвольно выбранных участках кисти — в области фиброзно-измененных (точки 2, 3, 4) и здоровых (точка 1) тканей (рис. 1).

Диэлектрические характеристики биологических тканей оценивали методом ближнепольного резонансного СВЧ-зондирования с использованием специальной установки, разработанной в Институте прикладной физики РАН (Н. Новгород), а также программного обеспечения, сопрягающего установку с ПК и позволяющего проводить расчет действительной части диэлектрической проницаемости [8, 9]. Диэлектрические свойства регистрировали в указанных точках, на основании чего рассчитывали уровень диэлектрической

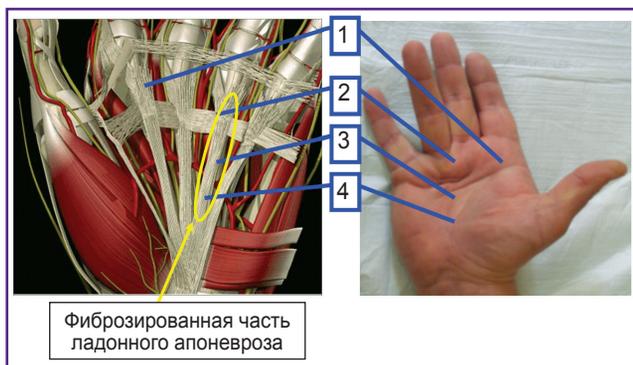


Рис. 1. Положение измеряемых точек относительно фиброзно-измененных тканей и «плавательной перегородки»: 1 — здоровая ткань; 2 — краевая зона области фиброза; 3, 4 — центральные области фиброза

проницаемости и проводимости на глубинах от 2 до 5 мм с помощью серии зондов.

Результаты обрабатывали с использованием программы Statistica 6.0.

Результаты и обсуждение

В области здоровых тканей СВЧ-профиль кожи пациентов с контрактурой Дюпюитрена соответствует физиологическому паттерну, сформированному нами на основании обследования здоровых добровольцев [10, 15]. Выявлено, что действительная часть диэлектрической проницаемости в интактной части ладонного апоневроза постепенно возрастает с увеличением глубины зондирования (рис. 2).

Были сопоставлены СВЧ-профили подкожных тканей в точках 1 и 3 (по рис. 1), соответствующих интактной и фиброзно-измененной областям (рис. 3).

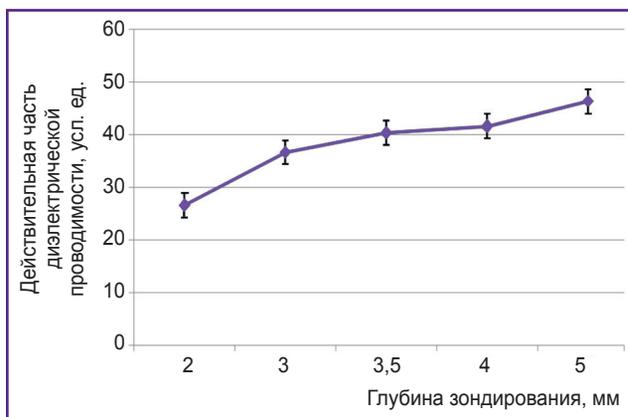


Рис. 2. Диэлектрический профиль кожи интактного участка кисти пациентов с контрактурой Дюпюитрена

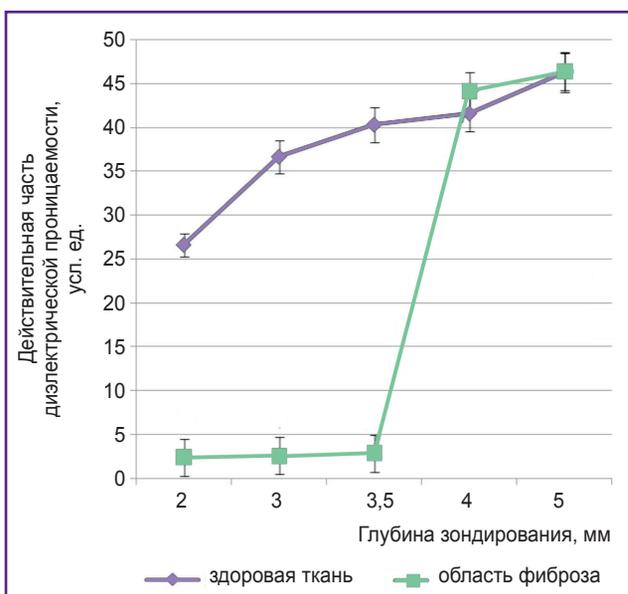


Рис. 3. Диэлектрический профиль подкожных тканей интактного и фиброзно-измененного участка кисти пациентов с контрактурой Дюпюитрена

Установлено, что фиброзированные ткани существенно отличаются по диэлектрическим свойствам от здоровых, что обуславливает значительную трансформацию СВЧ-профиля в зоне измененного ладонного апоневроза относительно физиологического паттерна. Полученные нами данные свидетельствуют, что фиброзированные ткани поглощают СВЧ-излучение, обладая крайне низкими значениями действительной части диэлектрической проницаемости. Подобные сдвиги регистрируются на глубине 2–3,5 мм, что соответствует глубине залегания патологически-измененных тканей у пациентов с контрактурой Дюпюитрена [20, 21]. При зондировании более глубоких слоев (4–5 мм) не обнаружено значимых отклонений от нормы. Это указывает на наличие в них интактных морфологических структур.

Проведена оценка однородности изменений диэлектрических свойств подкожных тканей на различных участках кисти (рис. 4). Для реализации данного аспекта работы выбрана одна глубина зондирования (3 мм), которая соответствовала центру СВЧ-профиля фиброзированной ткани. Установлено резкое снижение уровня действительной части диэлектрической проницаемости как в краевой зоне (точка 2 на рис. 1), так и в центральных областях фиброза (точки 3 и 4 на рис. 1).

Снижение значений в данных точках относительно интактного участка (точка 1) регистрируется примерно в равной степени, что свидетельствует об однородности патологического процесса на различных участках трансформированной части ладонного апоневроза. Наличие статистически значимых различий показателя между точкой 1 и точками 2–4 ($p < 0,05$ для всех случаев), а также отсутствие таковых между точками 2, 3 и 4 подтверждают эффективность метода ближнепольного СВЧ-зондирования в определении границы патологически-измененных тканей.

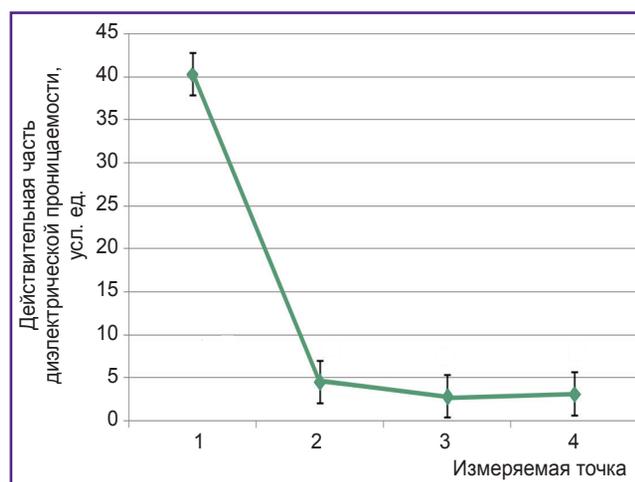


Рис. 4. Пространственное распределение действительной части диэлектрической проницаемости подкожных тканей в изучаемых точках при глубине зондирования 3 мм

Заключение

Проведенные исследования позволили сформировать СВЧ-паттерн действительной части диэлектрической проницаемости у пациентов с контрактурой Дюпюитрена в области здоровых и фиброзно-измененных тканей. Обнаружено резкое снижение данного параметра в зоне патологического процесса на глубинах до 3,5 мм. При этом в области неизмененных тканей особенностей диэлектрических свойств по сравнению со здоровыми добровольцами не выявлено. Фиброзно-измененный ладонный апоневроз имеет достаточно равномерную СВЧ-структуру, что позволяет довольно точно визуализировать его границы. Это принципиально важно при планировании оперативного вмешательства у пациентов с контрактурой Дюпюитрена, поэтому ближнепольное СВЧ-зондирование может рассматриваться в качестве перспективного метода диагностики патологически-измененных тканей.

Финансирование исследования. Работа выполнена при частичной поддержке гранта Российского фонда фундаментальных исследований №18-42-520053 p_a и стипендии Президента Российской Федерации СП-471.2019.4.

Конфликт интересов. Авторы подтверждают отсутствие конфликтов интересов, о которых необходимо сообщить.

Литература/References

- Gonzalez S.M., Gonzalez R.I. Dupuytren's disease. *West J Med* 1990; 152(4): 430–433.
- Brenner P., Krause-Bergmann A., Van V.H. Dupuytren contracture in North Germany. Epidemiological study of 500 cases. *Unfallchirurg* 2001; 104(4): 303–311, <https://doi.org/10.1007/s001130050732>.
- Яшина Т.Н., Афанасьев А.В. Оперативное лечение контрактур пальцев и кисти при болезни Дюпюитрена и ее рецидивах. В кн.: *Современные технологии диагностики, лечения и реабилитации при повреждениях и заболеваниях верхней конечности*. М; 2007; с. 266–267. Yashina T.N., Afanas'ev A.V. Operativnoe lechenie kontraktur pal'tsev i kisti pri bolezni Dyupuytrena i ee retsidivakh. V kn.: *Sovremennye tekhnologii diagnostiki, lecheniya i reabilitatsii pri povrezhdeniyakh i zabolevaniyakh verkhney konechnosti* [Surgical treatment of contractures of fingers and hands in Dupuytren's disease and its relapses. In: *Modern technologies for diagnosis, treatment, and rehabilitation of injuries and diseases of the upper limb*]. Moscow; 2007; p. 266–267.
- Au-Yong I.T., Wildin C.J., Dias J.J., Page R.E. A review of common practice in Dupuytren surgery. *Tech Hand Up Extrem Surg* 2005; 9(4): 178–187, <https://doi.org/10.1097/01.bth.0000186794.90431.a4>.
- Skoff H.D. The surgical treatment of Dupuytren's contracture: a synthesis of techniques. *Plast Reconstr Surg* 2004; 113(2): 540–544, <https://doi.org/10.1097/01.prs.0000101054.80392.88>.
- Манько А.М., Губочкин Н.Г., Трапезников А.В.

Лечение больных по поводу контрактуры Дюпюитрена с позиций микрохирургии. В кн.: Состояние и перспективы развития военной травматологии и ортопедии. СПб; 1999; с. 471–477. Man'ko A.M., Gubochkin N.G., Trapeznikov A.V. Lechenie bol'nykh po povodu kontraktury Dyupuytrena s pozitsiy mikrokhirurgii. V kn.: *Sostoyanie i perspektivy razvitiya voennoy travmatologii i ortopedii* [Treatment of patients with Dupuytren's contracture from the perspective of microsurgery. In: State and prospects of the development of military traumatology and orthopedics]. Saint Petersburg; 1999; p. 471–477.

7. Осмоналиев И.Ж., Микусев Г.И., Байкеев Р.Ф., Афлетонов Е.Н., Закиров Р.Х. Визуализация границ распространения контрактуры Дюпюитрена по данным МРТ. Современные проблемы науки и образования 2013; 2: 73. Osmonaliev I.Zh., Mikusev G.I., Baykeev R.F., Afletonov E.N., Zakirov R.Kh. Visualization of Dupuytren's contracture borders spread according to MRI data. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* 2013; 2: 73.

8. Kostrov A.V., Smirnov A.I., Yanin D.V., Strikovskiy A.V., Panteleeva G.A. Near-field microwave resonance diagnostics of inhomogeneous media. *Bulletin of the Russian Academy of Sciences: Physics* 2005; 69(12): 1911–1916.

9. Костров А.В., Стриковский А.В., Янин Д.В., Смирнов А.И., Загайнов В.Е., Васенин С.А., Дружкова И.Н., Пантелеева Г.А., Давоян З.В. Исследование электродинамических параметров биологических тканей. Альманах клинической медицины 2008; 17–2: 96–99. Kostrov A.V., Strikovskiy A.V., Yanin D.V., Smirnov A.I., Zagaynov V.E., Vasenin S.A., Druzhkova I.N., Panteleeva G.A., Davoyan Z.V. The study of the electrodynamic parameters of biological tissues. *Al'manakh klinicheskoy meditsiny* 2008; 17–2: 96–99.

10. Мартусевич А.К., Янин Д.В., Богомолова Е.Б., Галка А.Г., Клеменова И.А., Костров А.В. Возможности и перспективы применения СВЧ-томографии в оценке состояния кожи. Биомедицинская радиоэлектроника 2017; 12: 3–12. Martusevich A.K., Yanin D.V., Bogomolova E.B., Galka A.G., Klemenova I.A., Kostrov A.V. Possibilities and perspectives of the use of microwave tomography in estimation of skin state. *Biomeditsinskaya radioelektronika* 2017; 12: 3–12.

11. Reznik A.N., Yurasova N.V. Near-field microwave tomography of biological objects. *Tech Phys* 2004; 49(4): 485–493, <https://doi.org/10.1134/1.1736920>.

12. Hayashi Y., Miura N., Shinyashiki N., Yagihara S. Free water content and monitoring of healing processes of skin burns studied by microwave dielectric spectroscopy in vivo. *Phys Med Biol* 2005; 50(4): 599–612, <https://doi.org/10.1088/0031-9155/50/4/003>.

13. Gaikovich K.P. Subsurface near-field scanning

tomography. *Phys Rev Lett* 2007; 98(18): 183902, <https://doi.org/10.1103/physrevlett.98.183902>.

14. Raicu V., Kitagawa N., Irimajiri A. A quantitative approach to the dielectric properties of the skin. *Phys Med Biol* 2000; 45(2): L1–L4, <https://doi.org/10.1088/0031-9155/45/2/101>.

15. Богомолова Е.Б., Мартусевич А.К., Клеменова И.А., Янин Д.В., Галка А.Г. Применение современных методов визуализации в оценке состояния и прогнозировании развития патологических рубцов. Медицина 2017; 5(3): 58–75. Bogomolova E.B., Martusevich A.K., Klemenova I.A., Yanin D.V., Galka A.G. Application of modern methods of visualization in study and prognosing of pathological scars. *Meditsina* 2017; 5(3): 58–75.

16. Арсеньев А.В., Волченко А.Н., Лихачева Л.В., Печерский В.И. Применение метода ВЧ-ближнепольного зондирования в диагностике биообъектов. Научно-технический вестник Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики 2011; 2(72): 154–157. Arsen'yev A.V., Volchenko A.N., Likhacheva L.V., Pecherskiy V.I. Close-field high frequency probing method in biological diagnostics. *Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta informatsionnykh tekhnologii, mekhaniki i optiki* 2011; 2(72): 154–157.

17. Турчин И.В. Методы оптической биомедицинской визуализации: от субклеточных структур до тканей и органов. Успехи физических наук 2016; 186(5): 550–567. Turchin I.V. Methods of biomedical optical imaging: from subcellular structures to tissues and organs. *Uspekhi fizicheskikh nauk* 2016; 186(5): 550–567, <https://doi.org/10.3367/ufnr.2015.12.037734>.

18. Sunaga T., Ikehira H., Furukawa S., Shinkai H., Kobavashi H., Matsumoto Y., Yoshitome E., Obata T., Tanada S., Murata H., Sasaki Y. Measurement of the electrical properties of human skin and the variation among subjects with certain skin conditions. *Phys Med Biol* 2002; 47(1): N11–N15, <https://doi.org/10.1088/0031-9155/47/1/402>.

19. Tamura T., Tenhunen M., Lahtinen T., Repo T., Schwan H.P. Modelling of the dielectric properties of normal and irradiated skin. *Phys Med Biol* 1994; 39(6): 927–936, <https://doi.org/10.1088/0031-9155/39/6/001>.

20. Dupuytren's disease: pathobiochemistry and clinical management. Berger A., Delbrück A., Brenner P., Hinzmann R. (editors). Springer Berlin Heidelberg; 1994, <https://doi.org/10.1007/978-3-642-78517-7>.

21. Warwick D., Tomas A., Bayat A. Dupuytren's disease: overview of a common connective tissue disease with a focus on emerging treatment options. *Int J Clin Rheumatol* 2012; 7(3): 309–323, <https://doi.org/10.2217/ijr.12.25>.