

УДК 613.495

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ АКУСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ В МЕДИЦИНЕ (ЗА ПОСЛЕДНИЕ 25 ЛЕТ)

¹Федорова В.Н., ²Фаустова Е.Е., ¹Козырь Л.В., ³Быстрова Е.С.

¹ГОУ ВПО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова Минздрава России», Москва, e-mail: rsmu@rsmu.ru;

²Медикал бьюти центр Камелот, Москва, e-mail: fee70@mail.ru;

³Московский научно-практический центр дерматологии и косметологии, Москва, e-mail: dr.bystrova@mail.ru

Представлен обзор применения современных неинвазивных акустических методов. Приборы, на которых основаны эти методы, позволяют измерять скорость распространения поверхностных волн акустического диапазона. Показано, что скорость поверхностных акустических волн в мягких биологических тканях используется как информационный параметр. Этот параметр связан с особенностями структуры тканей. Он рекомендован для объективной дифференциальной диагностики и оценки эффективности лечения. Изложен экспериментальный и клинический материал, накопленный за последние 25 лет в различных областях медицины.

Ключевые слова: кожа, скорость поверхностных акустических волн, дерматология, офтальмология, хирургия, пластическая хирургия, стоматология

REVIEW OF THE APPLICATION OF ACOUSTIC METHODS IN MEDICINE (FOR THE LAST 25 YEARS)

¹Fedorova B.N., ²Faustova E.E., ¹Kozir L.B., ³Bystrova E.S.

¹Russian National Research Medical University by N.I. Pirogov, of Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, e-mail: rsmu@rsmu.ru;

²Medical Beauty Centre Camelot, Moscow, e-mail: fee70@mail.ru

³Moscow scientific research and practical center of dermatology and cosmetology, Moscow, e-mail: dr.bystrova@mail.ru

The review of the modern noninvasive methods using is represented. Devices on which these methods are based allow measuring the propagation of surface waves of acoustic range. It was shown that the speed of surface acoustic waves in soft biological tissues is used as an information parameter. This parameter is associated with the peculiarities of the tissue structure. It is recommended for the objective differential diagnostics and estimation of the effectiveness of treatment. Experimental and clinical data accumulated for the last 25 years in various fields of medicine are presented.

Keywords: skin, speed of surface acoustic waves, dermatology, ophthalmology, surgery, plastic surgery, stomatology

Значительную роль в диагностике и оценке эффективности лечения играет возможность определения объективных критериев состояния мягких тканей. Объективные критерии позволяют получать высокоточная диагностическая аппаратура с точно регламентированными техническими характеристиками. К такой аппаратуре относятся акустические приборы. Для определения акустических механических свойств мягких тканей нами на протяжении многих лет использовались акустические приборы [20, 21, 27], объединенные общим физическим принципом – измерение задержки распространения поверхностной волны (механического возбуждения) с пересчетом его в скорость распространения волны (V, м/с). Задержка распространения измеряется через фазовый сдвиг между сигналом возбуждения и сигналом отклика.

За последние 25 лет накоплен большой экспериментальный и клинический матери-

ал, который позволяет установить соотношения механических акустических величин с различными медико-биологическими показателями тканей.

Дерматология

Разработана дифференциальная диагностика стадий псориаза, нейродермита, атопического дерматита, экземы, грибкового микоза [18]. В качестве объективного критерия использовался параметр, равный отношению скорости в очаге поражения (V_n) к скорости в визуально непораженной коже (V_n) у данного пациента.

На основании сравнения параметра, показывающего быстроту изменения скорости в процессе лечения ($\Delta V/\Delta t$) при различных методиках, предложена объективная оценка сравнения эффективности лечения кожных заболеваний различными методиками, в частности: сравнение лазеро-ауфок-терапии больных диффузным нейродермитом

и их влияние на показатели липидов [2]; сравнительное изучение эффективности химио-и ПУФА-терапии у больных с грибковым микозом [7]; сравнение традиционного лечения и лечения с применением адсорбентов [13]; сравнение бальнеопроцедур с различными кожезащитными ваннами у больных с дермо-респираторным синдромом [3]; сравнение стандартной терапии и сочетанной с криовоздействием у больных с псориазом [10]. В этих работах показана корреляция между акустическими параметрами и клиническими признаками патологий.

Акустический метод был использован для выявления профдерматозов и предрасположенности к ним в производственных условиях. Применение акустического метода в совокупности с биофизическими методами: а) изучение осмотической хрупкости эритроцитов и б) гемолиз эритроцитов, индуцированных повреждающими агентами, позволило установить степень токсичности технологических элементов [22].

Офтальмология

Разработан, экспериментально обоснован и внедрен в клиническую практику акустический способ неинвазивной прижизненной оценки биомеханических свойств тканей глаза: век, роговицы, склеры по их акустической анизотропии (оцениваемой через отношение скоростей, измеренных по взаимно-перпендикулярным направлениям) [14]. Выявлены возрастные особенности этих тканей. Предложен биомеханический экспресс-метод диагностики величины аметропий у детей. Предложен метод оценки течения близорукости у детей (по акустической анизотропии кожи верхнего века), позволяющий выявлять ее прогрессирование [15, 16]. На основании клинического и экспериментального материала разработаны нормативные топографические карты акустических свойств век, роговицы, склеры при эмметропии и аметропии у детей, которые дают диагностическую информацию о распределении в них механического напряжения и могут применяться для диагностики и сравнительного анализа.

Выявленные анатомо-функциональные особенности глаза и его придаточного аппарата позволили установить патогенетические механизмы развития жировых «грыж» век. Это привело к усовершенствованию технологии восстановительного лечения при блефаропластике.

Акустические свойства роговицы и склеры легли в основу моделирования механических свойств этих тканей глаза. Это позволило оценить изменение биомехани-

ческих свойств в результате проведения фоторефракционной кератэктомии и прогнозировать возможность исключения осложнений [25].

В моделях на животных и при клинических испытаниях у детей выявлена связь между тонометрическим внутриглазным давлением и скоростью распространения акустических волн в тарзальной области кожи верхних век [6].

Хирургия

Введена дифференциальная диагностика по параметру (V_n/V_n): типов рубцовых перерождений кожи (неосложненные, гипертрофические, келоидные рубцы) [17]; типов гемангиом (склонные к спонтанной регрессии, плоские, кавернозные) [4]. Точная диагностика акустическим методом позволила сократить число хирургических вмешательств при лечении данных патологий.

Свободная кожная пластика является одним из методов при хирургическом лечении послеожоговых контрактур. Осложнением при этой операции часто является дистрофическое изменение в пересаженном лоскуте. В работе [9] предложена оценка результатов кожной пластики по сравнению параметра $\Delta V = V_{пер} - V_{исх}$, (равному разности скоростей в пересаженном лоскуте и в исходном донорском участке), что позволило прогнозировать удовлетворительное и неудовлетворительное приживление после первой перевязки.

Проблема оценки состояния ран является важной в хирургии. Высокая лабильность и полиморфизм течения раневого процесса, его зависимость от различного рода влияний местного и общего характера обуславливают необходимость тщательного и постоянного контроля состояния раны для своевременной диагностики возможных осложнений. Использование акустического метода позволило [23] объективно осуществить: выделение различных фаз течения раневого процесса по скорости изменения акустического параметра; прогнозировать осложнение послеоперационного процесса (развитие локального нагноения) по резкому увеличению скорости (более чем на 20%) в предполагаемом очаге воспаления.

Пластическая хирургия

Разработана методика оценки результатов хирургической коррекции при патологии в области лица и шеи [5,12]. Составлен протокол инструментальной оценки кожи лица на основании численного значения скорости распространения поверхностной волны и акустической анизотропии в стандартных точках лица (скуловая, орбиталь-

ная, нижнечелюстная). По этому протоколу (в сочетании с данными ультразвукового и эластометрического методов) разработан алгоритм исследования функциональных характеристик состояния мягких тканей лица и шеи, который высокоэффективен при прогнозировании различных вариантов хирургических вмешательств в области лица.

Обоснование техники хирургических вмешательств по устранению врожденных и приобретенных мягкотканых деформаций нижних конечностей представлено в работе [26]. Отработана технология внутритканевого введения гидрогелей в область мышечных групп внутренних поверхностей голени. Состояние мягких тканей до и после имплантации гидрогелей в различные сроки послеоперационного периода оценивалось акустическим методом. Установлены сроки восстановления нормативных показателей.

В работе [8] акустический метод использован при изучении реакции тканей на введение полиакриламидных гидрогелей. Выявлено, что при различных способах введения геля (внутримышечно и подкожно) на формирование и ориентацию капсулы (гель в межфазной зоне) существенно влияет естественное натяжение кожи в области введения. Это является методической рекомендацией для практических хирургов. Совместное проведение акустических и морфологических исследований позволило выявить влияние структурной организации тканей на их механические свойства. Акустическим методом установлен срок, после которого наблюдается стабилизация в системе гидрогель-ткань.

Акустический метод использован при оценке и сравнении терапевтической эффективности различных физиотерапевтических методов (механо-вакуумная терапия, ультразвуковая терапия, электростатический массаж) в реабилитации пациентов после пластических операций на лице [1]. На основании данных акустического метода выявлено, что: при сильно выраженном отеке наибольшее противоотечное действие оказывает электростатический массаж; при застойных явлениях в коже в виде участков цианоза рекомендовано применение механо-вакуумной терапии.

Разработан объективный метод предоперационного обследования пациенток перед маммопластикой на основе механических свойств кожи молочной железы до операции [24]. Предложен алгоритм обследования кожи молочной железы до операции посредством сканирования кожи по определенной схеме: по медиальной, срединной, латеральной линиям, исходящим лучами от ареола. На каждой линии выбрано три

точки, равноотстоящих от ареола, в каждой из которых акустическое сканирование осуществлялось во взаимно-перпендикулярных направлениях. По численным значениям скорости V и степени анизотропии можно объективно оценить натяжение кожи молочных желез, что важно для прогнозирования методики хирургического вмешательства при маммопластике.

Стоматология

Изучение динамики изменения акустометрических параметров мягких тканей, регистрируемых в процессе регенерации ран челюстно-лицевой области и шеи, проведено в работе [11]. Показано, что динамика акустических показателей в процессе регенерации гнойной раны четко коррелирует с соответствующими изменениями количественно-качественного клеточного состава раны и концентрацией маркеров воспалительных реакций индивидуальных белков крови. Изменения этих показателей, регистрируемых при акустическом сканировании в различные сроки заживления раны, объективно и достоверно отображают ход процесса регенерации, позволяют прогнозировать развитие гнойно-воспалительных осложнений.

Анатомия

На основании полученного большого клинического и экспериментального материала создан нормометрический атлас механической анизотропии кожи тела человека [19]. Степень выраженности акустической анизотропии совпадает с линиями естественного натяжения Лангера.

Таким образом, в различных областях медицины показано, что скорость поверхностных акустических волн в биологических тканях может быть рекомендована в качестве информационного параметра при изменении их структуры и, следовательно, может быть использована при диагностике и оценке эффективности лечения.

Список литературы

1. Авдошенко К.Е., Федорова В.Н., Фаустова Е.Е. Оценка акустических характеристик и динамика отека мягких тканей лица и шеи после мобилизации и на фоне применения различных методов физиотерапевтического воздействия в послеоперационном периоде // Российский биомедицинский журнал. – 2005. – Т.6. – С.694-704.
2. Ахтямов С.Н. Сравнительное изучение эффективности химио- и ПУФА-терапии у больных с грибовидным микозом: дисс. канд. мед. наук. – М., 1991.
3. Блинова О.В. Традиционные и нетрадиционные подходы к лечению и реабилитации детей с дермо-респираторным синдромом: дисс. канд. мед. наук. – М., 2001.
4. Буторина А.В. Акустический метод определения эффективности лечения гемангиом у детей: дисс. канд. мед. наук. – М., 1994.

5. Виссарионов В.А., Мантурова Н.Е., Федорова В.Н. К вопросу об оценке эффективности эстетических операций в области лица // *Анналы хирургии*. 2004. – №3. – С.19-21.
6. Виссарионов В.А., Обрубов С.А., Сидоренко Е.И., Федорова В.Н., Рогожина И.В. Способ оценки внутриглазного давления. Патент № 2165232. 20.04.2001.
7. Головин С.Н. Лазеро-ауфок-терапия больных диффузным неродермитом и их влияние на показатели липидо: дисс. канд. мед. наук. – М., 1991.
8. Дирш А.В. Исследование взаимодействия полиакриламидных гидрогелей с биологическими тканями: дисс. канд. мед. наук. – М., 2004.
9. Исаков Ю.Ф., Шафранов В.В., Федорова В.Н., Плигин В.А. Акустическая оценка кожной пластики у детей с послеожоговыми контрактурами // *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 1996. – №10. – С. 478-480.
10. Карпова А.В., Васенова В.Ю., Бутов Ю.С., Федорова В.Н. Оценка эффективности криотерапии псориаза по изменению акустических параметров кожи // *Экспериментальная и клиническая дерматокосметология*. – 2011. – №1. – С.3-5.
11. Кравец В.И. Анализ акустических свойств мягких тканей, как метод функционального контроля состояния ран челюстно-лицевой области: дисс. канд. мед. наук. – М., 2010.
12. Мантурова Н.Е., Смирнова Г.О., Федорова В.Н., Ступан В.А. Проблемы борьбы со старением с точки зрения эстетической медицины // *Российский медицинский журнал*. – 2008. – т.16. №23. – С.1584 – 1588.
13. Маруденко Е.Э. Совершенствование методов терапии атопического дерматита у детей дошкольного возраста, страдающих диспанкреатизмом: дисс. канд. мед. наук. – М., 2000.
14. Обрубов С.А., Воронков В.Н., Сидоренко Е.И., Федорова В.Н. Метод прижизненной оценки биомеханических свойств тканей глаза (экспериментальное исследование) // *Вестник офтальмологии*. – 1995. – №4. – С.27-30.
15. Обрубов С.А., Сидоренко Е.И., Федорова В.Н. Биомеханические закономерности распределения напряжений в различных топографических зонах век у детей в норме и с различной величиной близорукости // *Вестник офтальмологии*. – 1996. – №5. – С.24-27.
16. Обрубов С.А., Сидоренко Е.И., Федорова В.Н. Способ прогнозирования течения близорукости. Патент № 2068654. 21.08.92.
17. Плигин В.А. Оценка эффективности лечения келоидных и гипертрофических рубцов у детей с помощью акустического метода: дисс. канд. мед. наук. – М., 1997.
18. Сарвазян А.П., Пономарев В.П., Векслер А.М., Потапенко А.Я. Способ контроля за состоянием больного кожными заболеваниями. А.с. № 1602470/ Заявка № 4208901, 1.07 1990.
19. Фаустова Е.Е., Федорова В.Н., Бурлыгина О.М., Шарова Н.М., Фаустов Е.В. Что нужно знать косметологу // «ГЭОТАР-Медиа». – 2015. – 147 с.
20. Фаустова Е.Е., Федорова В.Н., Куликов В.А. Способ неинвазивного измерения скорости распространения акустических колебаний в эластичной ткани. Патент RU 2362487 C2 27. 07. 2009.
21. Фаустова Е.Е., Куликов В.А., Фаустов Е.В., Федорова В.Н. Акустический медицинский диагностический прибор. Патент № 112618 (RU 112618 U1) 20. 01. 2012.
22. Федорова В.Н. Экспериментальное обоснование использования акустических свойств кожи и других тканей для диагностики и оценки эффективности их лечения: дисс. докт. биол. наук. – М., 1996.
23. Федорова В.Н., Новосельцева Г.Д., Фаустова Е.Е., Обрубов С.А. Акустические свойства кожи в диагностике и оценке эффективности лечения. – М.: Изд. РГМУ, 1998. – С.47-55.
24. Федорова В.Н., Кононец О.А., Фаустова Е.Е., Способ исследования механических свойств кожи молочной железы. Патент №2526428, 30. 06. 2014.
25. Эскина Э.Н. Оценка и прогнозирование результатов фоторефракционной кератэктомии: докт. дисс. мед.наук. – М., 2002.
26. Якимец В.Г. Коррекция мягкотканых деформаций нижних конечностей: дисс. канд. мед.наук. – М.2001.
27. Sarvazyan A.P. et al., Method and device for acoustic testing of elasticity of biological tissues, United States Patent, № 4, 947851, 14. 08. 1990.