

УДК 577.34 + 616 – 071: 681.88

АКУСТИЧЕСКАЯ РЕФЛЕКТОИМПЕДАНСОМЕТРИЯ – НОВАЯ ИНФОРМАЦИОННАЯ БИОМЕДИЦИНСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ¹

Липовко П.О.

ФГБОУ ВПО «Южно-Российский Государственный политехнический университет им. М.И. Платова», Новочеркасск, e-mail: plipovko@mail.ru

В статье представлен обзор результатов экспериментальных исследований, полученных с помощью нового метода, названного акустической рефлектоимпедансометрией. В этом методе используется высокочастотное ультразвуковое зондирование исследуемого объекта и прием отраженных от границы объекта и эталонной среды сигналов. Обработка сигналов сводится к вычислению коэффициента отражения ультразвука от указанной границы и определению акустического сопротивления (импеданса) объекта. Рассматриваемый метод позволяет оценить биологическое (в том числе – физиологическое) состояние объекта и даже получить принципиально новую информацию о нем. Исследуемыми объектами в данной работе выступали биологические жидкости и мягкие ткани организма человека и млекопитающих в условиях *in vitro*, *in situ* и *in vivo*. Полученные результаты могут использоваться в диагностике и контроле лечения больных, а также – в научных исследованиях и техническом конструировании новых измерительных приборов

Ключевые слова: ультразвук, медицинская диагностика, коэффициент отражения ультразвука, акустический импеданс среды.

THE ACOUSTICAL REFLECTOIMPEDANCE METRY – NEW INFORMATION BIOMEDICAL TECHNOLOGY

Lipovko P.O.

South-Russian State Polytechnical University n.a. M.I. Platov, Novocherkassk, e-mail: plipovko@mail.ru

In article the review of results of the experimental researches received by means of a new method, named acoustic reflectoimpedancemetry is presented. In this method high-frequency ultrasonic sounding of investigated object and reception reflected from border of object and the reference environment of signals is used. Processing of signals is reduced to calculation of coefficient of reflex of ultrasound from the specified border and to definition of acoustic resistance (impedance) of object. The considered method allows to estimate biological (including – physiological) a state of object and even to receive essentially new information on it. As investigated objects in the given work were biological liquids and soft tissues of a human body and mammals in conditions *in vitro*, *in situ* and *in vivo*. The received results can be used in diagnostics and the control of treatment of patients, and also – in scientific researches and technical designing of new measurement devices.

Keywords: ultrasound, medical diagnostics, coefficient of ultrasound reflection, acoustic impedance of medium.

В статье проведен обзор результатов нового применения ультразвука для медицинской диагностики и контроля лечения больных. Суть разработанной нами методики заключается в том, что измеряют коэффициент отражения ультразвука от границы акустического контакта исследуемой и эталонной сред и затем, зная акустическое сопротивление, или акустический импеданс, эталонной среды, рассчитывают акустический импеданс исследуемой среды. Напомним также, что коэффициент отражения по давлению (т.е. рефлексия) ультразвука от границы раздела двух сред однозначно зависит от соотношения их акустических сопротивлений [1]. Нами указанное направление исследований названо *акустической рефлектоимпедансометрией* (АРИ). Для уяснения его особенностей и отличий от остальных методов ультразвукового контроля необхо-

димо рассмотреть краткую историю применения ультразвука в контрольно-диагностической технике. Она ведет свой отсчет с 1916 года, когда выдающийся французский физик Поль Ланжевен и талантливый русский изобретатель Константин Васильевич Шиловский получили патент на военное применение ультразвука для обнаружения подводных лодок противника. Впоследствии разработанные ими устройства были применены в мирных целях: для промера водных глубин, профилирования дна, обнаружения айсбергов, затонувших кораблей, косяков рыб и т.д. Все эти методы и приборы получили название гидролокации и с успехом используются в наше время, представляя, фактически, визуализацию исследуемых объектов внутри водной среды.

Это применение ультразвука оказалось не единственным в технической области.

¹ Статья представляет расширенный вариант доклада, сделанного на осенней сессии РАЕ в г. Сочи в сентябре 2013 г.

В 1928 году советский физик, впоследствии член-корреспондент Российской академии наук Сергей Яковлевич Соколов обнаружил, что ультразвук свободно распространяется не только в воздухе и в водной среде, но и в металлах. На этой основе он предложил использовать ультразвук для обнаружения определенных дефектов (пор, трещин, инородных включений и т.д.) внутри металлических материалов, изделий и конструкций (например, отливок, рельсов, труб, ферм и т.п.). Это направление технической диагностики получило название ультразвуковой дефектоскопии и широко используется в наше время.

Первое применение ультразвука для медицинской диагностики принадлежит австрийским ученым братьям Дуссик, когда Карл (врач-психиатр) и Фридрих (инженер) в 1942 году предложили использовать ультразвук для обнаружения опухолей внутри мозга человека. Говоря техническим языком, это направление также можно считать выявлением неких внутренних «дефектов» в организме человека – аналогом дефектоскопии. Под названием УЗИ (ультразвуковое исследование) оно широко используется в наше время в медицинской диагностике. Его иногда называют «рентгеном мягких тканей». Уступая рентгеновскому методу в четкости и разрешающей способности получаемых изображений, оно имеет перед ним преимущества в чувствительности, безвредности и не требует введения каких-либо контрастирующих веществ.

Если проанализировать развитие ультразвуковых методов и приборов медицинской диагностики за все время их использования, то ничего принципиально нового в сравнении с гидролокацией и дефектоскопией мы не обнаружим: совершенствовались методики, улучшались технические характеристики аппаратуры, облегчались процедуры обследования больных. Но все эти методы и приборы в конечном счете были и остаются методами и приборами ультразвуковой визуализации внутренних структур тела человека и преимущественно топической диагностики (размеры и локализация опухолей, наличие отеков, уплотнений, узлов и т.д.). Нозологической и морфологической диагностике результаты УЗИ поддаются слабо или совсем не поддаются.

В начале нашей работы (конец 60-х годов прошлого века) перед нами встала задача: используя все преимущества ультразвука в исследовании организма (безвредность, высокая чувствительность, локальность,

экспрессность, информативность и др.), разработать методику, нацеленную не столько на визуализацию внутренних структур тела (своего рода «дефектоскопию»), что подвластно традиционным методикам, и не только ультразвуковым, а при известной исследуемой структуре нацеленную на установление ее биологического (в том числе – физиологического) состояния. Это позволило бы решать некоторые проблемы биофизики, биохимии, нормальной и патологической физиологии, гистологии (в том числе – сокращение объема морфологических исследований), микробиологии и молекулярной биологии, судебной медицины и других медико-биологических областей.

Анализ многих десятков известных ультразвуковых методик, применяемых не только в медицине, но и в промышленности, на транспорте и в других технических областях, привел нас к выводу, что никакая из них не подходит для решения поставленных задач. Внимание привлекла одна малоизвестная методика, созданная американскими авторами Мэзоном, Макскимином и другими в 1949 году и сохранившаяся до нашего времени в очень узких областях: при исследовании жидких полимеров с помощью поперечных волн [2]. В последние десятилетия она применяется и для исследования жидких кристаллов. Все дело состоит в физике процесса. А именно: поперечные волны практически не распространяются в жидкостях вследствие сильного затухания, поэтому информацию о внутренней структуре и химическом составе последних можно получить только с помощью анализа отраженных от наружной поверхности исследуемого объекта поперечных, или сдвиговых, волн. Если при этом знать акустическое сопротивление (импеданс) контактирующей с наружной поверхностью объекта эталонной среды и измерить коэффициент отражения ультразвука от контактной границы, можно определить абсолютное значение импеданса исследуемой среды. А последнее несет информацию о микро- и молекулярной структуре и химическом составе объекта и, как нами было впоследствии показано, о его биологическом и физиологическом состоянии, что проблематично или даже невозможно получить с помощью других ультразвуковых методик.

Ограничением в применимости рассматриваемой методики выступает необходимость физического контакта эталонной и исследуемой среды. Она не может обеспе-

чить получение информации о последней дистанционно, как, например, УЗИ. Тем не менее на долю избранной методики остается еще широкий круг задач: исследование сильно поглощающих ультразвук сред, исследование при одностороннем доступе к объекту, исследование образцов в микрообъемах, изучение объектов с поверхностной физико-химической неоднородностью, с шероховатостью поверхности (т.е. с геометрической неоднородностью) и ряд других. Многие из перечисленных условий соответствуют условиям живого организма.

Следует также обратить внимание на очевидный факт отсутствия стандартных приборов для АРИ – диагностики. В отличие, например, от УЗИ – диагностики. Поэтому мы были вынуждены такие приборы разрабатывать и изготавливать. В этом нам большую помощь оказал Ростовский областной Совет общества изобретателей. В 90-х годах прошлого века он создал хозяйственную лабораторию «Диагностика», где под нашим руководством за короткий срок были сконструированы и изготовлены действующие приборы – малогабаритные акустические рефлектометры и импедансометры (сокращенно «МАРИ»), обладающие прецизионными характеристиками и не имеющие до сих пор мировых аналогов. Например, прибор МАРИ-5 обеспечивает измерение акустического импеданса капли жидкости или эквивалентного объема мягкой биологической ткани с погрешностью, на превышающей 0,05%. С помощью указанных приборов был произведен целый ряд измерений импеданса и получены новые результаты в разных областях биологии и медицины. Приводим их краткое изложение.

1. ИССЛЕДОВАНИЯ IN VITRO

А. Были произведены измерения акустического импеданса биомолекулярных систем: водных растворов фармпрепаратов белков сыворотки крови человека (альбуминов, α -, β -, γ -глобулинов) отечественного производства. Удалось измерить зависимости импеданса среды от концентрации препарата в растворе и от температуры. Исследования имеют значение для молекулярной биологии, в частности, для изучения поведения белков в растворах. Результаты опубликованы [3].

Б. Были исследованы пробы сыворотки крови онкологических больных и здоровых лиц (доноры крови). Установлено достоверное различие средних показателей импе-

данса и достоверное изменение этих показателей с температурой. Материалы имеют отношение к физико-химическим методам диагностики рака. Результаты опубликованы [4].

В. Были исследованы пробы цельной (цитратной) крови онкологических больных и здоровых лиц (доноры), оставшиеся после общеклинического анализа на СОЭ. Получено достоверное различие по акустическому импедансу, что взято в качестве запатентованного метода диагностики рака (точнее – онкологического скрининга). Методика официально апробирована в Онкологическом научном центре РАМН и получила положительное заключение и рекомендации к широкому использованию. Кроме того, методика одобрена Отделением клинической медицины РАМН. Результаты опубликованы [5,6].

Г. Была исследована сыворотка крови с микробиологическими целями, а именно – как тест-объект для дифференциальной диагностики патогенных (золотистых) и условно-патогенных (эпидермальных) стафилококков. Стандартный способ диагностики основан на различии поведения этих форм микроорганизмов в смеси с сывороткой крови. Патогенные стафилококки выделяют в окружающую среду фермент коагулазу, что приводит к свертыванию сыворотки, а непатогенные такого фермента не выделяют, и свертывания не происходит. Длительность тестирования при этом составляет от 6 до 24 часов. В нашем исследовании воспроизводилась стандартная пробоподготовка, однако тестирование осуществлялось не визуально, а по регистрации динамики акустического импеданса реакционной смеси. Достоверные различия динамики для двух типов стафилококков обнаруживались уже через 5-15 мин от момента инкубации. Кроме собственно микробиологических целей (экспрессность, использование малых количеств биомассы) методика может найти применение в биофизике и биохимии клетки, а именно – в исследовании стадий взаимодействия микроорганизмов с биологической средой. Результаты опубликованы [7].

2. ИССЛЕДОВАНИЯ ОПЕРАЦИОННЫХ ПРЕПАРАТОВ

А. Были произведены измерения акустического импеданса свежееудаленных по показаниям хирургических препаратов некоторых протяженных полых внутренних органов: желудка, кишечника, желчного пузыря. Показания снимались через 1 см

со стороны как внутренней (слизистой), так и наружной (серозно-мышечной) оболочек этих органов, формируя картину так называемой акустической топографии органа. Эта характеристика является информативной в отношении выявления подозрительных участков тканей для прицельного взятия материала на гистологический анализ. Результаты опубликованы [8].

Б. Специальное исследование было посвящено выяснению зависимости ультразвукового импеданса биотканей от времени. Доказано, что в пределах, как минимум, получаса с момента удаления из организма мягкие ткани сохраняют значения своих импедансов при комнатной температуре. Таким образом, результаты, полученные на удаленных хирургических препаратах, могут быть экстраполированы к условиям живого организма. Они могут использоваться для контроля тактики проведения хирургических операций (например, выбора оптимальных границ резекции). Подобные исследования могут выполняться непосредственно в операционной ране, как было показано нами с помощью придаваемых операторам стерилизуемых датчиков собственной конструкции. Результаты опубликованы [9].

В. Упомянутые результаты могут найти применение не только в хирургии при выполнении хирургических операций, как выше описано (нозологическая диагностика непосредственно в операционной ране), но и при проведении плановых медицинских обследований больных (выявление участков тканей с латентными стадиями патологии, измерение степени выраженности и клинической стадии патологического процесса). Откалиброванные по гистологическим данным значения акустического импеданса слизистой оболочки внутренних органов могут использоваться в эндоскопии, дополненной акустическим зондированием, и служить дополнением и уточнением нозологической диагностики заболеваний внутренних органов. Это направление наших исследований было одобрено в официальном заключении НИИ Гастроэнтерологии РАМН и нами запатентовано [10].

Г. Были произведены измерения импеданса жировой ткани организма человека вблизи и вдали от очага патологии. Оказалось, вопреки распространенному мнению, что белая жировая ткань является очень реактивной в ответ на патологический процесс. Изменения ее импеданса в этом случае заметно превышают по величине соот-

ветствующие изменения, происходящие в прилежащих мышечной и железистой тканях органа. Результаты опубликованы [11].

Д. Были исследованы региональные лимфоузлы, удаленные во время операций по поводу злокачественных поражений внутренних органов. Измерения импеданса проводились как со стороны поверхности препаратов, так и на разрезах последних. Путем сравнительных гистологических исследований установлено, что импеданс лимфоузлов не может служить однозначной характеристикой доброкачественного или злокачественного характера опухоли, что необходимо учитывать при УЗИ-обследовании пациентов. Результаты опубликованы [12].

Е. Были исследованы хирургические препараты молочных желез, удаленные по поводу злокачественных поражений (карцином) этих органов, а также препараты секторов молочных желез, удаленные по поводу доброкачественных процессов: фиброаденом и мастопатий. Установлены достоверные различия в значениях импеданса между доброкачественными процессами и нормой, с одной стороны, и между злокачественными поражениями и нормой, с другой стороны. Однако различия импедансов тканей желез между доброкачественными и злокачественными процессами оказались незначительными. Поскольку более 90% информации, получаемой при УЗИ-обследовании по методике эхографии, обусловлены различиями акустических импедансов граничащих тканей, был сделан вывод, что основанная на УЗИ дифференциальная диагностика злокачественных и доброкачественных процессов не имеет обоснований с фундаментальных позиций. Результаты опубликованы [13,14].

Ж. Были исследованы межтканевые слои (МТС), состоящие из соединительной ткани: фасции мышц, серозные оболочки желудка и кишечника, капсулы матки и почек и др. Поскольку непосредственно измерить импеданс МТС не представляется возможным из-за их малой толщины, выходящей за пределы разрешающей способности ультразвуковых приборов, была разработана специальная методика. Она заключалась в измерении входного импеданса соответствующего органа при наличии МТС и после отделения последних от подлежащей ткани. Изменение импеданса при указанной процедуре можно считать показателем влияния слоя. Установлено, что в норме МТС практически не влияют на отражение ультразвука, при патологии их

влияние (т.е. изменение входного импеданса) возрастает в несколько раз. Результаты опубликованы [15,16]. Они могут использоваться в разработке новых медицинских приборов – ультразвуковых реконструктивных (компьютерных) томографов, где математические программы никогда не учитывают влияния МТС. Тем самым заключения обследования больных этим методом могут оказаться ошибочными. Кроме того, изменение входного импеданса органа за счет МТС позволяет внести существенную поправку в известный двухчастотный метод ультразвуковой диагностики рака авторов А.А. Чевненко и И.Х. Юхананова, в котором влияние МТС также не учитывается [17]. Уточнение указанного способа позволило нам запатентовать новое техническое решение [18].

3. К исследованиям на свежих хирургических препаратах тесно примыкают опыты на аутопсийных препаратах, а именно – на сердцах, полученных из трупов людей. На материале 10 секций для случаев внезапной смерти и 5 секций – для смерти от инфаркта миокарда были выполнены исследования акустической топографии миокарда удаленных органов. Установлено, что при инфаркте миокарда импеданс последнего достоверно понижается на 1- 4 %, причем область лоцируемых изменений импеданса в несколько раз превышает область инфаркта, устанавливаемую по гистоанализу. Что касается внезапной ненасильственной смерти от неустановленных причин, то она обусловлена, как правило, острой ишемией участка миокарда, которая также нами выявлялась при ультразвуковом исследовании. Результаты опубликованы [4]. Как мы полагаем, они могут иметь отношение к установлению причин смерти в патологической анатомии и судебной медицине.

И. Были также проведены импедансные исследования роговицы глаза собак после их смерти в острых патолого-физиологических контролируемых опытах. Установлено, что в течение 2 часов после смерти регистрируются выраженные периодические колебания импеданса роговицы, которые потом исчезают. Этот факт может использоваться в судебной медицине для уточнения срока смерти. Результаты опубликованы [19].

3. ИССЛЕДОВАНИЯ IN VIVO

Эти исследования касались, в основном, изучения механизмов мышечной активности в физиологических опытах. Несмотря на заметную изученность механизмов био-

логической подвижности, многие их детали до сих пор остаются неясными.

А. Опыты на живом сердце были выполнены на 18 взрослых беспородных собаках в условиях острого эксперимента под управляемым барбитуратовым наркозом. Параллельно регистрировали кривую давления крови в полости левого желудочка сердца, ее первую производную, ЭКГ во втором стандартном отведении, а также – постоянную и переменную составляющие ультразвукового сигнала, отраженного от границы контакта акустического датчика и миокарда в области дистальнее бифуркации левой коронарной артерии. Переменную составляющую ультразвукового сигнала можно назвать ультразвуковой рефлектограммой миокарда (сокращенно – УРМ). Как оказалось, она не повторяет ни один из типов кардиограмм, как не ультразвуковой, так и ультразвуковой (т.е. доплеркардиограммы) природы. В ряде случаев УРМ оказывается более чувствительной и информативной в ответ на производимые экспериментальные воздействия, чем другие типы кардиограмм. Так, например, происходит при экспериментальной коарктации аорты и при экспериментальном инфаркте миокарда с перевязкой коронарной артерии. В последнем случае после прекращения проявлений любой механической и электрической активности сердца спорадические высокочастотные (импульсные) колебания импеданса миокарда продолжают еще десятки минут. Результаты опубликованы [4].

Б. К опытам *in vivo* тесно примыкают опыты, осуществленные на физиологических моделях – полосках, полученных из артериальных сосудов и матки сельскохозяйственных животных (свиней) и находящихся в условиях физиологического переживания. Особенно интересны, на наш взгляд, результаты, полученные на полосках матки. Зарегистрированы спонтанные колебания как тонуса полосок (по периодическому сокращению-расслаблению их длины), так и акустического импеданса образцов. Причем последние являются более сложными по форме и более информативными по содержанию и возникают задолго (примерно за минуту) до момента запуска тонического сокращения. Видимо, они отражают самые глубинные механизмы регуляции гладкомышечной активности, которые пока не могут быть обнаружены никакими известными методами. Результаты опубликованы [4].

Заключение

В итоге можно сделать вывод: нами разработана новая информационная биомедицинская технология, которая позволяет оценивать биологическое и физиологическое состояние биожидкостей и мягких тканей организма с чувствительностью, превышающей оптическую микроскопию, и информативностью, выходящей за рамки известных способов изучения организма. Сконструированы и изготовлены прецизионные измерительные приборы для реализации этой технологии, не имеющие мировых аналогов. Дальнейшей задачей исследований выступает объединение дистанционных возможностей УЗИ и контактных возможностей АРИ. Это может быть сделано, например, путем привлечения к проведению опытов относительно новой методики импеднографии, позволяющей рассчитывать значения акустического импеданса на пути прохождения ультразвуковых сигналов внутри исследуемой среды [20]. Такое усовершенствование метода и аппаратуры и их приложение к решению проблемных задач биологии и медицины позволит, как мы полагаем, ответить на многие нерешенные вопросы этих областей.

Список литературы

1. Ермолов И.Н. Теория и практика ультразвукового контроля. – М.: Машиностроение, 1981. – С. 26-27.
2. Mason W.P. Measurement of shear elasticity and viscosity of liquids at ultrasonic frequencies / W.P. Mason, M.O. Baker, H.J. McSkimin, J.H. Heiss // Phys. Rev. – 1949. – V.75, № 5. – P. 936-946.
3. Липовко П.О. О возможности применения акустической рефлектоимпедансометрии для изучения растворов макромолекул // Журнал физической химии. – 1987. – № 11. – С. 3024-3028.
4. Липовко-Половинец П.О. Теория и применение акустической рефлектоимпедансометрии в биологии и медицине: автореф. дис. ... докт. физ.-мат. наук. – М., 1994. – 44 с.
5. Липовко П.О. Ультразвуковое исследование крови в целях онкологического скрининга // Современная техника и технологии в медицине, биологии и экологии. Материалы VI Междунар. научно-практич. конф. (Новочеркасск, 9 дек. 2005 г.). – Новочеркасск, 2005. – С. 13-16.
6. Авт. свид. СССР № 3561612/28-14. 12.0183. Липовко-Половинец П.О., Коленкина И.В. Способ диагностики злокачественных новообразований // Авт. свид. СССР № 1294109. 27.02. 2014. Бюл. № 6.
7. Липовко П.О. Ультразвуковое исследование сывотки крови человека в микробиологических аспектах / П.О. Липовко, А.Е. Эссель // Современная техника и технологии в медицине, биологии и экологии. Материалы VIII Междунар. научно-практич. конф. (Новочеркасск, 16 нояб. 2007 г.). – Новочеркасск, 2007. – С. 16-20.
8. Липовко П.О. Метод сравнительного ультразвукового исследования оболочек полых органов человека при различных формах патологии // Патол. физиол. и эксперим. терапия. – 1988. – № 2. – С. 686-691.
9. Липовко П.О. К вопросу об информативности прижизненных измерений акустических параметров мягких тканей / П.О. Липовко, А.К. Панков // Всесоюзная конференция Взаимодействие ультразвука с биологической средой: тез. докл. (Ереван, 1-4 июня 1983 г.). – Москва, 1983. – С. 64.
10. Авт. свид. СССР № 4260591/14. 10.06.87. Липовко-Половинец П.О. Способ дифференциальной диагностики воспалительных и опухолевых заболеваний желудочно-кишечного тракта // Авт. свид. СССР № 1767719.
11. Липовко П.О. Акустическое сопротивление жировой ткани как показатель ее функциональной активности // Бюлл. эксперим. биол. и мед. 1988. № 6. С. 662-664.
12. Липовко П.О. Исследование акустических свойств лимфатических узлов с эхографическими целями / П.О. Липовко, Л.С. Огородникова // Симпозиум Акустические свойства биологических объектов: тез. докл. (Пушино, 11-14 сент. 1984 г.). – Пушино, 1984. – С. 52-53.
13. Липовко П.О. Ультразвуковое импедансное исследование тканей молочной железы онкологических больных. Часть 1. // Современная техника и технологии в медицине, биологии и экологии. Материалы IX Междунар. научно-практич. конф. (Новочеркасск, 17 нояб. 2008 г.). – Новочеркасск, 2008. – С. 37-41.
14. Липовко П.О. Ультразвуковое импедансное исследование тканей молочной железы онкологических больных. Часть 2. // Современная техника и технологии в медицине, биологии и экологии. Материалы X Междунар. научно-практич. конф. (Новочеркасск, 11 нояб. 2009 г.). – Новочеркасск, 2010. – С. 56-60.
15. Липовко П.О. О влиянии межтканевых слоев в организме на диагностическую информативность эхографической аппаратуры // Изв. Сев.-Кавказск. науч. центра высш. шк. Техн. науки. – 1985. – №3. – С. 17-20.
16. Липовко П.О. Отражение ультразвука от межтканевых границ // Биофизика. – 1988. – № 4. – С. 686-691.
17. Чевненко А.А. Двухчастотный способ эхографии как метод дифференциальной диагностики опухолей / А.А. Чевненко, И.Х. Юхананов // Медицинская техника. – 1971. – № 3. – С.40-41.
18. Авт. свид. СССР № 3817434/28-14. 27.11.84. Липовко-Половинец П.О. Способ измерения коэффициента затухания ультразвука в биологических тканях // Авт. свид. СССР № 1377712. 29.02.88. Бюл. № 8.
19. Липовко П.О. «Посмертные» биоритмы как пример «переходных» ритмических процессов // Циклы природы и общества: Материалы 6-й Междунар. конф. (Ставрополь 10-15 сент. 1998.). Ч.2. – Ставрополь, 1998. – С.39-40.
20. Jones J.P. Impediography: a new ultrasonic technique for diagnostic medicine // Ultrasound in Medicine. – 1975. – V.1. – P. 489-497.