

УДК 591.147.6:577.311.6.: 577.121

**ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ВОЗМОЖНОСТИ НЕИНВАЗИВНОЙ  
БИОИМПЕДАНСОМЕТРИИ****Торнуев Ю.В., Непомнящих Д.Л., Никитюк Д.Б., Лапий Г.А., Молодых О.П.,  
Непомнящих Р.Д., Колдышева Е.В., Криницына Ю.М., Балахнин С.М.,  
Манвелидзе Р.А., Семенов Д.Е., Чуринов Б.В.***ФГБУ «Научно-исследовательский институт региональной патологии и патоморфологии»  
СО РАМН, Новосибирск, e-mail: pathol@inbox.ru*

Представлен научный обзор по вопросу применения биоимпедансного анализа в диагностических целях и в эксперименте. Показано, что измерение с помощью накожных электродов электрического импеданса позволяет получать информацию, не внося в организм изменений или риска развития осложнений. Биоимпедансные измерения дают возможность оценки широкого спектра морфологических и физиологических показателей. Они основаны на наличии закономерностей, связывающих значения импеданса с параметрами компонентного состава тела и позволяют исследовать динамику и перераспределение жидкости между его регионами в результате действия физических и физиологических нагрузок и в случае патологий. Анализ состава тела по показателям импеданса помогает контролировать состояние липидного, белкового и водного обмена организма. В этой связи он представляет интерес для практической медицины. По показателям электропроводности тканей можно оценить энергетический статус организма спортсмена и прогнозировать его результативность. Метод может легко адаптироваться к условиям эксперимента – расположение отводящих электродов на поверхности тела позволяет оценить параметры конкретного его участка *in vivo*.

**Ключевые слова:** биоимпедансный анализ, коэффициент поляризации, посегментный анализ, морфо-функциональные изменения в тканях

**DIAGNOSTIC CAPABILITY OF NONINVASIVE BIOIMPEDANCE****Tornuev Y.V., Nepomnyaschikh D.L., Nikityuk D.B., Lapiy G.A., Molodykh O.P.,  
Nepomnyaschikh R.D., Koldysheva E.V., Krinitsyna Y.M., Balakhnin S.M.,  
Manvelidze R.A., Semenov D.E., Churin B.V.***Resarch Institute of Regional Pathology and Pathomorphology SD RAMS,  
Novosibirsk, e-mail: pathol@inbox.ru*

Presents a scientific review on the use of bioimpedance analysis for diagnostic purposes in the experiment. It is shown that the measurement using an electrical impedance of skin electrodes allows to obtain information without making changes in an organism or a risk of complications. Bioimpedance measurements make it possible to assess a wide range of morphological and physiological characteristics. They are based on the existence of laws relating the values of impedance parameters of the component composition of the body and allow us to study the dynamics and fluid shifts between its regions as a result of the physical and physiological stresses in the case of pathologies. Analysis of body composition in terms of impedance helps monitor the status of lipid, protein and water metabolism of the body. In this regard, it is of interest for practical medicine. In terms of the electrical conductivity of tissue can be estimated energy status of an athlete, and to predict its performance. The method can be easily adapted to the conditions of the experiment – the location is remote electrodes on the body surface allows us to estimate the parameters of its specific site *in vivo*.

**Keywords:** bioimpedance analysis, the polarization factor, segment by segment analysis, morphological and functional changes in tissues

Электроимпедансометрия (или биоимпедансный анализ) широко вошла в биологический эксперимент и медицинскую практику как неинвазивная методика, позволяющая получать информацию, не внося в организм изменений или риска развития осложнений. Метод сравнительно прост в исполнении, недорог и имеет преимущества перед традиционными методами неинвазивного контроля состояния организма. Он дает возможность оценки широкого спектра морфологических и физиологических показателей и основан на закономерностях, связывающих уровень электрического импеданса с параметрами

компонентного состава тела, и заключается, в первую очередь, в оценке количества жидкости, так как именно она определяет активную составляющую импеданса. Кроме того, на основе данных биоимпедансометрии можно рассчитать такие характеристики, как жировая, тощая, клеточная и скелетно-мышечная масса тела [9, 26, 28]. Перечисленные возможности биоимпедансного анализа частично апробированы в клинических условиях для оценки отека, травмы головного мозга при угрозе отека, травмированных конечностей, грудных желез, десен, мочеочника и мочеиспускательного канала и др. [10, 27, 29, 30]. Конечно,

решение этих задач подразумевает знание и учет взаимосвязей между составом тела и электрофизическими свойствами каждого сегмента как в норме, так и в патологии.

Значения электрического импеданса различных участков тела, как правило, различаются по величине. Поэтому на практике анализируют относительные показатели, например разницу импеданса неповрежденного и поврежденного участка кожи, симметричных участков тела и др.

Диагностическая значимость анализа биоимпеданса тканей связана еще и с информативностью его частотных зависимостей, поэтому иногда оценивают и коэффициент поляризации ( $K_p$ ), равный отношению импедансов на двух фиксированных частотах, низкой и высокой, например 10 кГц и 1 мГц (диапазон  $\beta$ -дисперсии) [13, 22]. Диапазон  $\beta$ -дисперсии характеризуется резким частотным градиентом, свойственным исключительно живым тканям. По мере снижения активности обменных процессов и развития процессов деструкции крутизна дисперсии и соответственно  $K_p$  уменьшается. В ряде случаев используют трехчастотную методику в том же диапазоне [24].

Согласно данным специальной литературы [10, 22, 25], электрический импеданс тканей на сравнительно низких частотах определяется особенностями их структуры, уровнем кровоснабжения и содержанием проводящей жидкости в межклеточных пространствах, «плотностью упаковки» структурных элементов в единице объема. Величина электропроводности на высокой частоте и, соответственно, ее дисперсия в диапазоне частот 10 кГц – 1 мГц – поляризацией фосфолипидов мембран клеток (как правило, диаметром порядка 30 нм) в поле внешнего электрического тока и дипольной поляризацией структурных образований в цитоплазме.

Анализ состава тела по показателям импеданса помогает контролировать состояние липидного, белкового и водного обмена организма. В этой связи он представляет интерес для практической медицины и служит одним из инструментов оценки эффективности лечения больных ожирением [10]. У больных сердечно-сосудистыми заболеваниями биоимпедансометрия позволяет оценить нарушения водного баланса, перераспределения жидкости в водных секторах организма и обеспечить правильный подбор лекарственных препаратов. У реанимационных больных метод апробирован для мониторинга и планирования инфузионной терапии, а при циррозе печени для прогнозирования риска клинических осложнений.

Методы биоимпедансометрии используются на практике для определения границ термических поражений мягких тканей, которые являются одними из наиболее распространенных форм производственных травм.

Так, например, хорошо известно, что закономерности тканевой реорганизации миокарда, печени и некоторых других внутренних органов при контрастных температурных воздействиях и в некоторых других ситуациях, например при некробиозе части кардиомиоцитов и гепатоцитов, развивающиеся на фоне нарушений кровообращения и лимфотока, носят фазный характер. Исследования поляризационных и электропроводящих свойств мышечной ткани, печени и почек при термических воздействиях также выявили фазность их изменения, что позволило предположить наличие связи между электрофизическими параметрами тканей и морфофункциональными изменениями в них, в частности с тканевым кровообращением, гидратацией тканей и процессами некробиоза. Известно, что электропроводящие и поляризационные свойства тканей претерпевают изменения при гипоксических воздействиях различного генеза. Например, отмечена пропорциональная зависимость между нарастанием кислородного долга и изменениями высоко- и низкочастотного импеданса тканей [22].

Если динамика электрического импеданса тканей на низких частотах во многом определяется изменениями кровотока и лимфотока, то высокочастотная составляющая непосредственно связана с внутриклеточными процессами и активацией метаболизма. В этом плане представляет интерес сопоставление известных данных импедансометрии с результатами исследования структурных изменений при гипоксии и термических воздействиях, предполагая, что результат большинства стрессорирующих воздействий на организм будет отражаться в соответствующей динамике электрофизических показателей [7, 8].

В случае воздействия неблагоприятных факторов нарушаются многие корреляционные связи в организме, что может привести к дезадаптации и гибели индивида. Какова цена перестроек, позволяющих сохранить жизнь, каковы механизмы интегрального взаимодействия функциональных систем – все это является весьма актуальной проблемой. Помочь в ее разрешении, по нашему мнению, может комплексное морфофункциональное и электрофизиологическое исследование.

В литературе содержится недостаточно сведений о динамике электропроводящих свойств тканей внутренних органов,

исследованных после экстремальных воздействий на целостный организм, например при гипо- или гипертермии, гипоксии, гипокинезии. Однако в клинической практике в последние годы достаточно широко применяется термотерапия и гипертермия целостного организма для лечения онкологических заболеваний. Как подобное экстремальное воздействие на организм отразится на состоянии тканей других органов, во многом остается неясным.

Своевременное определение границ некротических повреждений и осуществление некроэктомии во многом определяет эффективность лечения и предупреждает развитие осложнений. В работе [15] показано, что временная динамика уровня импеданса сопредельных интактных и симметричных точек у травмированных пациентов была одинаковой, и соотношение их импедансов (Кж) было сравнительно стабильным и находилось в пределах  $1 \pm 0,095$  ( $p < 0,001$ ). При этом импеданс пораженного участка ткани был более высок и зависел от степени тяжести термотравмы. Таким образом, по показателям электрического импеданса можно установить граничные значения показателей, определяющих характер обратимости и необратимости процесса. При значениях коэффициента (Кж), равных  $2,2 \pm 0,21$  и выше, процессы дегенерации ткани необратимы, ниже этого порога – имели место обратимые дистрофические изменения.

Так называемый «посегментный» анализ электрического импеданса по сравнению с его значениями для всего тела может более точно отразить изменения таких параметров, как состояние гидратации тканей, объем жировой и тощей массы, соотношение объемов клеточной и внеклеточной жидкостей в сегментах тела.

В клинических исследованиях показано, что значения импеданса регионов тела являются чувствительными индикаторами функционального состояния пациентов и дают возможность получать оперативную информацию. На ее основе можно планировать и контролировать процесс реабилитации, осуществлять подбор препаратов для лечения заболеваний, прогнозировать возможность неблагоприятных исходов у больных в критических состояниях, отслеживать развитие отеков, оценивать эффективность физиотерапии и других лечебных воздействий.

При измерениях импеданса тела здорового человека в отведении рука – рука была выявлена его практическая симметричность относительно срединной меридианальной линии тела [22]. Естественная асимметрия

значений активного и реактивного сопротивлений тела здорового человека при измерении по сегментам в области грудной клетки связывается авторами с левосторонним положением сердца. Показатели асимметрии импеданса грудной клетки у больных гипертонической болезнью достоверно отличаются от нормы, что позволило авторам предложить диагностировать гипертоническую болезнь и контролировать процесс реабилитации по динамике активной и реактивной составляющих импеданса при измерении по секторам. Было установлено, что у больных с недостаточностью кровообращения снижение импеданса отражает повышение степени клеточной и внеклеточной гипергидратации, преимущественно на ногах и в меньшей степени на руках и торсе [10, 14]. В последующем другими авторами был проведен анализ изменений электропроводящих свойств так называемых «водных секторов организма» [11] у группы больных с различными формами ишемической болезни сердца. Используемое ими приборно-методическое решение позволило следить за динамикой импеданса (и, соответственно, гидратации) по отдельности в каждой руке, ноге и туловище и установить диапазоны нормальных значений импеданса по регионам тела для лиц с различными показателями индекса массы тела и возрастных групп.

Показатели баланса «водных секторов» у больных были сопоставлены с данными здоровых лиц. В частности, показано, что у больных по мере нарастания «тяжести сердечной недостаточности» вначале имеет место изменение электропроводящих свойств, вызванное увеличением клеточной и внеклеточной гидратации, и в последующем – внеклеточной дегидратации. Оценка состояния водного баланса у больных острым инфарктом миокарда показала, что накопление внеклеточной жидкости и соответствующее изменение импеданса нижних конечностей четко проявляются на 5–7 сутки. Зафиксировано также снижение импеданса торса (в среднем на 17%) и его повышение на руках. Авторы приходят к выводу о диагностической ценности метода электроимпедансометрии и эффективности его использования для определения степени недостаточности кровообращения.

Попытка оценить изменения с возрастом полного электрического импеданса рук здорового человека (на частотах в 10 кГц и 1 мГц) впервые осуществлена в 80-е годы прошлого века [22], когда была выявлена тенденция к его снижению в среднем на 15% за 10 лет наблюдения за одними и теми же пациентами. Однако какие про-

цессы в приводят к изменению импеданса, в те времена не было выяснено.

Впоследствии [24] были проведены более подробные исследования показателей импеданса участков тела здоровых испытуемых в онтогенезе на частотах 5 и 500 кГц. Одну пару электродов накладывали на границе нижней и средней трети голени левой ноги, вторую – на нижней и средней трети предплечья правой руки. На основании проведенных экспериментов авторы установили, что за первые 20 лет онтогенеза уменьшение уровня низкочастотного импеданса приблизительно соответствовало последующему снижению за 30 лет. Указанные тенденции более четко проявляются при анализе вторичных показателей, например, коэффициента поляризации Кп – за это время он снизился почти на 40%.

Цикл исследования динамики поляризационных и электропроводящих свойств ряда внутренних органов животных в онтогенезе, в частности надпочечника, проведенный нами в последние годы [6, 17, 19, 21], во многом способствовал установлению связи между структурными изменениями в тканях и их поляризационными свойствами. Можно утверждать, что естественный процесс изменения импеданса тела с возрастом замедляется, свидетельствуя об ослаблении поляризационных процессов на мембранах клеток. Параллельный рост импеданса току высокой частоты связан с тем, что решающую роль в его формировании играет «электролитная компонента» тканей, их «гидратационная» насыщенность, как межклеточная, так и внутриклеточная. По характеру динамики импеданса авторы делают вывод, с одной стороны, об уменьшении в процессе онтогенеза функциональных возможностей клеточных мембран, а с другой – об изменении гидратации тканей. При этом процессы количественно-качественного «ухудшения» состояния мембран клеток обгоняют процессы обезвоживания тканей в онтогенезе [7, 24].

Анализ динамики электрического импеданса кожи кисти рук во время хирургических операций позволил установить, что наибольшую практическую значимость имеет также показатель Кп. Установлено, что его количественные значения изменяются под действием общих анестетиков и факторов операционного стресса. Регистрируемые на этапах оперативного вмешательства значения Кп в «диапазоне безопасности для пациента» от 2,0 до 3,9 свидетельствовали об адекватности общей анестезии у больного. Выход значений Кп за пределы «диапазона безопасности» свидетельствовал не только о неадекватности

анестезии, но и о возможности опасных для больного нарушениях жизненно важных функций организма [5, 15]. Информативность показателя Кп для оценки адекватности наркоза, по мнению авторов [4, 15], более высока по сравнению с таковой при регистрации традиционных критериев (АД, ЧСС), так как изменения Кп, как правило, предшествуют во времени гемодинамическим сдвигам. Отклонения уровня Кп во время операции коррелируют ( $K = +0,85$ ) с изменениями уровней классического биохимического маркера стресса. Простота регистрации Кп, неинвазивность и высокая оперативность регистрации информации позволяют авторам рекомендовать показатель Кп в качестве нового критерия оценки адекватности общей анестезии.

Импедансометрия секрета и тканей молочной железы (на частотах 2 и 200 кГц) была осуществлена для диагностики доброкачественных и злокачественных опухолей, характера воспалительных процессов [15, 20, 23], когда была показана возможность выявлять развитие воспаления в железе еще до появления явных клинических признаков заболевания и осуществлять дифференциацию новообразований по показателям электрического импеданса. Впоследствии, другими авторами [13, 25] на основании оценки импеданса эпидермиса и подлежащих структур проведено доклиническое исследование нарушений оттока лимфы от верхних конечностей у больных с сосудистой патологией, позиционным синдромом, а также с различными заболеваниями молочной железы. Подтверждена возможность по показателям электрического импеданса выявлять доклинические нарушения оттока лимфы при наличии воспалительных процессов или возникновении злокачественных новообразований молочной железы.

В работе [1, 12] представлены результаты исследования электрического импеданса секторов организма на этапах лечения острого панкреатита. Авторами показано, что развитие его клинической картины всегда сопровождается динамикой импеданса. Наибольшие его изменения, как на низкой, так и на высокой частотах имеют место у больных острым деструктивным инфицированным панкреонекрозом и обусловлены нарушениями водно-электролитного баланса организма, структурными изменениями как вне, так и внутри клеток. Восполнение объема циркулирующей в секторах крови в процессе лечения, нормализуя содержание общей воды в организме, приводит к увеличению интерстициального пространства за счет капиллярной утечки, и сопровождается приближением показателей импеданса к норме.

Авторы работ [2, 5, 17], используя известный факт, что электрическое сопротивление неповрежденной кожи и зоны повреждения (рана, кровоподтек) достоверно различаются, показали, что эти различия в принципе не зависят от пола и возраста обследуемых лиц и могут применяться в практике судебной медицины. Авторы установили, что разница электрических сопротивлений участков здоровой и поврежденной тканей изменяется во времени по степенному закону, что позволяет использовать их в качестве критериев давности нанесения травмы. Исходя из того обстоятельства, что способность тканей к поляризации (дисперсия импеданса) в течение некоторого времени сохраняется и после гибели индивидуума, неинвазивная электроимпедансометрия с поверхности тела позволяет провести оценку степени повреждения клеток в зависимости от времени наступления смерти [2, 3, 5]. Однако мы полагаем, что в ряде случаев динамика электрического импеданса тканей трупов может определяться изменениями их структуры в результате возможного прижизненного воздействия этанола за счет частичного склерозирования стенок сосудов, нарушения электролитного обмена и др. [2, 9]. Вследствие этого наблюдается изменение импеданса не только на низких частотах, но и рост импеданса тканей всех органов на высокой частоте [17]. Следовательно, исходные (предсмертные) значения показателей импеданса у этих животных уже существенно отличаются от нормы, что должно учитываться при определении срока наступления смерти.

Проведенное нами [17] сравнение данных электроимпедансометрии тканей трупов с таковыми для животных, подвергавшихся при жизни воздействию алкогольной нагрузки, свидетельствует о том, что тенденция к снижению  $K_p$  в течение первых суток после гибели животного и в этом случае сохраняется. Низкие значения  $K_p$  свидетельствуют о более раннем развитии необратимых изменений в тканях внутренних органов.

Отсутствие инерционности и безопасность биоимпедансометрии позволяют использовать ее в качестве средства мониторинга у самых тяжелых больных, в том числе и в медицине критических состояний. В середине прошлого столетия показатели электрического импеданса использовались главным образом для оценки общей, вне- и внутриклеточной гидратации организма. В настоящее время появилась возможность одновременного контроля всех регионов тела, а также комплексной оценки состояния липидного, белкового и энергетического обмена, состояния клеточных мембран [10, 26].

Биоимпедансный анализ в настоящее время апробирован при оценке индивидуальной адаптации организма к внешним воздействиям, например, к силовым нагрузкам, изменениям режимов труда и отдыха, трансмеридианальным перемещениям и др. Показатели электрического импеданса участков тела можно использовать и для выявления специфики физической подготовки спортсмена. Так, установлено, что для основной массы спортивных специализаций информативными являются параметры импеданса всех регионов тела. Однако у футболистов и бегунов основной вклад следует ожидать со стороны показателей электрического импеданса ног, а у стрелков из лука – рук и туловища [10].

Приведенные авторами [10, 15, 22] результаты позволяют утверждать, что показатели электрического импеданса и его изменения под воздействием нагрузок, являясь интегральной характеристикой всего комплекса перестроек в тканях, достаточно полно отражают различия физиологической реакции на дозированную нагрузку у лиц с разной степенью и характером тренированности. Поведение электрических и физиологических показателей при физических нагрузках подтверждает известный факт увеличения интенсивности восстановительных процессов с повышением уровня тренированности организма. При этом повышение эффективности работы и восстановительного периода оказывается выше у спортсменов, занимающихся видами спорта, связанными с тренировкой выносливости, чем в игровых видах спорта. Стабилизация импеданса и  $K_p$  после стрессовой нагрузки наступала быстрее у лиц с показателями латеральной организации головного мозга, близкими к оптимальной для того или иного вида спорта. Пребывание спортсмена в состоянии длительного стресса, вызванного спортивной нагрузкой, к которой организм физиологически и психологически не приспособлен, по мнению авторов, может привести к напряжению и даже перенапряжению его функциональных систем.

Можно полагать, что при адаптации спортсмена к новым, непривычным для него условиям спортивной деятельности происходят морфофункциональные изменения в тканях, во многом определяемые состоянием латеральной организации (асимметрии) головного мозга.

Положительная корреляционная связь между показателем  $K_p$  и характеристикой самочувствия спортсмена [22] позволяет предположить наличие и функциональной связи между ними. Показано, что ответ организма на действие любых внешних и вну-

тренних факторов, в том числе и физических нагрузок, проявляется в изменении активного и реактивного сопротивлений участков тела, например голени, и происходит параллельно, однако рост реактивной составляющей импеданса превышает изменение активной по крайней мере в три раза. Этот факт авторы объясняют изменениями не только геометрии икроножных мышц, но и структуры мышечных волокон при их сокращении, изменениями электропроводящих свойств мембран клеток и внутриклеточного содержимого [6, 18, 28].

Эксперименты [22] показали, что спортсмены с более высокими значениями Кп (как правило, выше 3,2) получали сравнительно высокие спортивные результаты при прочих равных условиях соревнований или тренировок. По мнению авторов, малые значения Кп (ниже 3,2) свидетельствуют о невысоких энергетических возможностях спортсмена и риске перенапряжения систем организма во время соревнований.

То есть по показателям электропроводности тканей можно оценить энергетический статус организма спортсмена и прогнозировать его результативность [10, 22]. Состояние стресса, испытываемое спортсменом, например, перед ответственными соревнованиями, сопровождалось нестабильностью коэффициента асимметрии импеданса и даже его инверсией. Наибольшая устойчивость показателей наблюдалась у лиц, адаптированных к тому или иному виду спорта.

Таким образом, анализ электрического импеданса тела позволяет исследовать динамику его компонентного состава и перераспределение жидкости между его регионами в результате действия физических и физиологических нагрузок. Нарушения нормального течения физиологических процессов, структурные изменения в тканях, проявляющиеся при патологии висцеральных органов и дисбалансе нервных и гуморальных влияний, могут быть зарегистрированы на поверхности кожи в виде изменений ее электрического импеданса при измерении с помощью накладных электродов. Метод может быть легко адаптирован к условиям конкретного эксперимента – расположение отводящих электродов на поверхности тела позволяет оценить параметры конкретного его участка. То есть с помощью одного и того же приборного устройства возможно оценивать уровень гидратации тканей, состояния клеток и других характеристик органов и сегментов тела *in vivo*. Методики расчетов в каждом случае оказываются сходными, так как в их основе лежит оценка одних и тех же физических величин: активной и реактивной составляющих импеданса [10, 16, 26].

### Список литературы

1. Булатов Р.Д. Применение интегральной двухчастотной импедансометрии в клиническом мониторинге у больных деструктивным панкреатитом // Анестезиология и реаниматология. – 2012. – № 3. – С. 59–62.
2. Витер В.И., Ковалева М.С., Халиков А.А. Зависимость импедансометрических показателей от индивидуальных характеристик труппы в аспекте адаптивного подхода к их учету // Проблемы экспертизы в медицине. – 2006. – № 4. – С. 13–17.
3. Витер В.И., Онянов А.М. Импедансометрическая диагностика времени смерти на поздних сроках постмортального периода // Морфологические ведомости. Международный морфологический журнал. – Москва-Берлин, 2008. – № 1. – С. 162–165.
4. Гилевич А.В. Кожная электроимпедансометрия в оценке адекватности общей анестезии: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – Новосибирск, 1996. – 18 с.
5. Ковалева М.С., Халиков А.А., Вавилин А.Ю. Определение давности образования кровоподтеков методом импедансометрии // Проблемы экспертизы в медицине. – 2006. – № 3. – С. 15–19.
6. Колдышева Е.В. Морфологическая характеристика коры надпочечников крыс OXYS в онтогенезе // Бюллетень СО РАМН. – 2008. – № 6. – С. 131–138.
7. Лушникова Е.Л., Непомнящих Л.М., Колдышева Е.Л., Молодых О.П. Надпочечники. Ультраструктурная реорганизация при экстремальных воздействиях и старении. – М., 2009. – 336 с.
8. Лушникова Е.Л., Непомнящих Л.М., Молодых О.П., Клиникова М.Г. Гибель, элиминация и регенерация кардиомиоцитов мышечной ткани после гипертермии // Бюл. экспер. биол. – 2000. – Т. 130, № 8. – С. 228–231.
9. Мартиросов Э.Г., Николаев Д.В., Руднев С.Г. Технологии и методы определения состава тела человека. – М., 2006. – 248 с.
10. Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. Биоимпедансный анализ состава тела человека. – М., 2009. – 392 с.
11. Павлович А.А., Озерова М.С., Панина М.А., Кислая С.Н., Дворников В.Е., Иванов Г.Г. Анализ нарушений баланса водных секторов организма при остром инфаркте миокарда методом биоимпедансометрии // Вестник РУДН, серия «Медицина». – 2008. – № 1. – С. 51–59.
12. Свиридов С.В., Николаев Д.В., Гафоров Д.А. Исследование водных секторов у хирургических больных острым панкреатитом методом биоимпедансометрии // Российский медицинский журнал. – 2010. – № 3. – С. 23–27.
13. Томилина Ю.А. Доклиническая биоимпедансная диагностика нарушений оттока лимфы от верхних конечностей: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 2005. – 31 с.
14. Торнуев Ю.В. Диагностическое значение электродермальной активности при гипертонической болезни: методические рекомендации. – Новосибирск, 1997. – 23 с.
15. Торнуев Ю.В. Патологическое исследование электродермальной активности при хронических общепатологических состояниях: дис. ... д-ра биол. наук. – Новосибирск, 1996. – 54 с.
16. Торнуев Ю.В., Колдышева Е.В. Возрастные изменения электропроводности надпочечников крыс OXYS // Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук. – 2008. – № 6. – С. 27–30.
17. Торнуев Ю.В., Колдышева Е.В., Глухов Б.М., Кулешов В.М., Исаенко В.Н., Семенов Д.Е., Чуринов Б.В. Поляризационные свойства и электропроводность тканей мышечной СВА при алкогольной интоксикации в раннем постмортальном периоде // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 10. – С. 580–583.
18. Торнуев Ю.В., Колдышева Е.В., Лапий Г.А., Балахнин С.М., Бушманова Г.М., Преображенская В.К. Электроимпедансометрия в гистологической технологии // Фундаментальные исследования. – 2013. – № 6. – С. 1164–1167.
19. Торнуев Ю.В., Колдышева Е.В., Балахнин С.М., Глухов Б.М., Жук А.Г., Исаенко В.И., Сенчукова С.Р. Возрастная инверсия показателей электрического импеданса

надпочечников при генетически детерминированных нарушениях метаболизма // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 5. – С. 203–206.

20. Торнуев Ю.В., Колдышева Е.В., Балахнин С.М., Клиникова М.Г. Электрофизиологическое и морфометрическое исследование надпочечников при генетически детерминированных нарушениях метаболизма // *Сибирский научный вестник*. – 2012. – № 16. – С. 71–74.

21. Торнуев Ю.В., Колдышева Е.В., Лапий Г.А., Молодых О.П., Балахнин С.М., Бушманова Г.М., Семенов Д.Е., Преображенская В.К. Биоимпедансометрия в диагностике воспалительного процесса молочной железы // *Бюлл. экпер. биол.* – 2013. – Т. 156, № 9. – С. 359–361.

22. Торнуев Ю.В., Непомнящих Л.М., Колдышева Е.В. Воздействие низкохолениновой диеты и этанола на электропроводящие свойства тканей мышей СВА // *Бюлл. экпер. биол.* – 2005. – Т. 140, № 11. – С. 515–518.

23. Торнуев Ю.В., Хачатрян А.П., Хачатрян Р.Г. Электрический импеданс биотканей. – М., 1990. – 155 с.

24. Хачатрян А.П., Хачатрян Р.Г., Торнуев Ю.В., Арутюнян А.П. Лактационный мастит. – Новосибирск, 1991. – 142 с.

25. Шарпан О.В., Ярошенко В.Т. Варианты импедансометрии при изучении возрастной физиологии // *Научные вести НТГУ «КПИ»*. – 2009. – № 1. – С. 26–29.

26. Ярема И.В., Акопян И.Г., Меркулов И.А., Томила Ю.А. Объективизация оценки отека мягких тканей оперированной конечности методом биоимпедансного анализа // *Паллиативная медицина и реабилитация*. – 2005. – № 1 – С. 91.

27. Heymsfield S.B., Lohman T.G., Wang Z., Going S.B. Human body composition. *Champaign Human Kinetics*. – 2005. – 533 p.

28. Ishikawa M., Hirose H., Sasaki E. et al. Evaluation of myocardial viability during simple cold storage with the use of electrical properties in broad frequencies // *J. Heart Lung Transplant*. – 1996. – Vol. 15, № 10. – P. 1005–1011.

29. Janssen I., Heymsfield S.B., Baumgartner R.N., Ross R. Estimation of skeletal muscle mass by bioelectrical impedance analysis // *J. Appl. Physiol.* – 2000. – Vol. 89, № 2. – P. 465–471.

30. Johnson M.S., Nagy T.R. Animal body composition methods // *Human body composition*, 2nd ed. (Eds. S.B. Heymsfield, T.G. Lohman, Z. Wang, S.B. Going). Champaign, IL: Human Kinetics, 2005. – P. 141–150.

### References

1. Bulatov R.L. *Anestезиология i reanimatologiya – Anesthesiology and Resuscitation*, 2012, no. 3, pp. 59–62.

2. Viter V.I., Kovaleva M.S., Halikov A.A. *Problemy ekspertizy v meditsine – Expertise problems in medicine*, 2006, no. 4, pp. 13–17.

3. Viter V.I., Onyanov A.M. *Morfologicheskie vedomosti. Mezhdunarodnyy morfologicheskyy zhurnal – Morphological statements. International Journal of Morphology*, Moscow-Berlin, 2008, no. 1, pp. 162–165.

4. Gilevich A.V. *Kozhnaya elektroimpedansometriya v otsenke adekvatnosti obschey anestezii: Avtoref. diss. kand nauk – Skin elektroimpedansometriya to assess the adequacy of general anesthesia: Abstract of the dissertation of the candidate of medical sciences*, Novosibirsk, 1996, 18 p.

5. Kovaleva M.S., Khalikov A.A., Vavilin A.Yu. *Problemy ekspertizy v meditsine – Expertise problems in medicine*, 2006, no. 3, pp. 15–19.

6. Koldysheva E.V. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny – Bulletin of experimental biology and medicine*, 2008, no. 6, pp. 131–138.

7. Lushnikova E.L., Nepomnyashchikh L.M., Koldysheva E.V., Molodykh O.P. *Nadpochechniki. Ultrastrukturnaya reorganizatsiya pri ekstrimalnykh vozdeystviyakh i starenii – Adrenal glands. Ultrastructural reorganization under extreme impacts and during ageing*, Moscow, 2009, 336 p.

8. Lushnikova E.L., Nepomnyashchikh L.M., Molodykh O.P., Klinnikova M.G. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny – Bulletin of experimental biology and medicine*, 2000, vol. 130, no. 8, pp. 228–231.

9. Martirosov E.G., Nikolaev D.V., Rudnev S.G. *Tehnologii i metody opredeleniya sostava tela cheloveka – The technologies and methods for determining the composition of the human body*, Moscow, 2006, 248 p.

10. Nikolaev D.V., Smirnov A.V., Bobrinskaya I.G., Rudnev S.G. *Bioimpedansnyy analiz sostava tela cheloveka –*

*Bioimpedance analysis of the composition of the human body*, Moscow, 2009, 392 p.

11. Pavlovich A.A., Ozerova M.C., Panina M.A., Kislaya C.N., Dvornikov B.E., Ivanov G.G. *Vestnik RUDN. Seriya «Meditsina» – Herald RUDN, Series «Medicine»*, 2008, no. 1, pp. 51–59.

12. Sviridov S.V., Nikolaev D.V., Gafarov D.A. *Rossiyskiy meditsinskiy zhurnal – Russian Medical Journal*, 2010, no. 3, pp. 23–27.

13. Tomilina Ju. A. *Doklinicheskaya bioimpedansnaya diagnostika ottoka limfy ot verkhnikh konechnostey: Avtoref. diss... kand. med. nauk – Bioimpedance preclinical diagnosis of disorders of lymph drainage from the the upper extremities: Abstract of the dissertation of the candidate of medical sciences*, Moscow, 2005, 31 p.

14. Tornuev Yu.V. *Diagnosticheskoe zhanenie elektrodermalnoy aktivnosti pri gipertonicheskoy bolezni. Metodicheskoe rekomendatsii – Diagnostic value of electrodermal activity in hypertension. Guidelines*, Novosibirsk, 1997, 23 p.

15. Tornuev Yu.V. *Patofiziologicheskoe issledovanie elektrodermalnoy aktivnosti pri khronicheskikh obshepatologicheskikh protsessakh: Diss. ... dokt. biol. nauk – Pathophysiological study of electrodermal activity in chronic general pathological states: Diss. ... doctor. biol. sciences*, Novosibirsk, 1996, 54 p.

16. Tornuev Yu.V., Koldysheva E.V. *Byulleten SO RAMN – Bulletin SD RAMS*, 2008, no. 6, pp. 27–30.

17. Tornuev Yu.V., Koldysheva E.V., Glukhov B.M. et al. *Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental research*, 2013, no. 10, pp. 580–583.

18. Tornuev Yu.V., Koldysheva E.V., Lapii G.A. et al. *Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental research*, 2013, no. 5, pp. 203–206.

19. Tornuev Yu.V., Koldysheva E.V., Balakhnin S.M. et al. *Fundamentalnye issledovaniya – Fundamental research*, 2012, no. 6, pp. 1164–1167.

20. Tornuev Yu.V., Koldysheva E.V., Balakhnin S.M., Klinnikova M.G. *Sibirskiy nauchnyy vestnik – Siberian Scientific Herald*, 2012, no. 16, pp. 71–74.

21. Tornuev Yu.V., Koldysheva E.V., Lapii G.A. et al. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny – Bulletin of experimental biology and medicine*, 2013, vol. 156, no. 9, pp. 359–361.

22. Tornuev Yu.V., Nepomnyashchikh L.M., Koldysheva E.V. *Byulleten eksperimentalnoy biologii i meditsiny – Bulletin of experimental biology and medicine*, 2005, vol. 140, no. 11, pp. 515–518.

23. Tornuev Yu.V., Hachatryan A.P., Hachatryan R.G. *Elektricheskiy impedans biotkaney – The electrical impedance of tissues*, Moscow, 1990, 155 p.

24. Hachatryan A.P., Hachatryan R.G., Tornuev Yu.V., Arutyunyan A.P. *Laktatsionny mastit – Lactational mastitis*, Novosibirsk, 1991, 142 p.

25. Sharpan O.B., Yaroshenko B.T. *Nauchnye vesti NTGU «KPI» – Scientific conduct NTGU “KPI”*, 2009, no. 1, pp. 26–29.

26. Yarema I.V., Bobrinskaya I.G., Akopyan I.G., Merkulov I.A., Tomilina Ju. A. *Palliativnaya meditsina i reabilitatsiya – Palliative medicine and rehabilitation*, 2005, no. 1, pp. 91.

27. Heymsfield S.B., Lohman T.G., Wang Z., Going S.B. *Human body composition Champaign Human Kinetics*, 2005, 533 p.

28. Ishikawa M., Hirose H., Sasaki E. et al. *J. Heart Lung Transplant.*, 1996, vol. 15, no. 10, pp. 1005–1011.

29. Janssen I., Heymsfield S.B., Baumgartner R.N., Ross R. *J. Appl. Physiol.*, 2000, vol. 89, no. 2, pp. 465–471.

30. Johnson M.S., Nagy T.R. *Human body composition*, 2nd ed. (Eds. S.B. Heymsfield, T.G. Lohman, Z. Wang, S.B. Going), Champaign, IL: Human Kinetics, 2005, pp. 141–150.

### Рецензенты:

Поляков Л.М., д.м.н., профессор, ведущий лабораторией медицинской биотехнологии, ФГБУ «Научно-исследовательский институт биохимии» Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск;

Селятицкая В.Г., д.б.н., профессор, ведущая лабораторией эндокринологии, ФГБУ «Научный центр клинической и экспериментальной медицины» Сибирского отделения РАН, г. Новосибирск.

Работа поступила в редакцию 02.10.2014.