

## БЕСКОНТАКТНАЯ ИМПЕДАНСОМЕТРИЯ В ОЦЕНКЕ ЦЕРЕБРАЛЬНОГО ПЕРФУЗИОННОГО ДАВЛЕНИЯ И ВНУТРИЧЕРЕПНОГО ДАВЛЕНИЯ У ПАЦИЕНТОВ В ОСТРОЙ СТАДИИ ВНУТРИЧЕРЕПНЫХ КРОВОИЗЛИЯНИЙ

Труханов С.А.<sup>1</sup>, Стулин И.Д.<sup>1</sup>, Левченко О.В.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ГБОУ ВПО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова Министерства здравоохранения РФ, 127473, Москва; <sup>2</sup>ГБУЗ г. Москвы Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы, 129010, Москва

*В статье обсуждаются возможности бесконтактной импедансометрии в неинвазивной оценке внутричерепного давления у пациентов с внутричерепными кровоизлияниями. Показана связь между церебральным перфузионным давлением и показателем диэлектрической проницаемости; приводится формула расчета церебрального перфузионного давления при отсутствии выраженного отека головного мозга. Подтверждены данные о наличии достоверной связи между динамикой внутричерепного давления и изменением диэлектрической проницаемости при частой динамической импедансометрии, что дает возможность оценивать эффективность терапии внутричерепной гипертензии.*

Ключевые слова: импедансометрия; внутричерепное давление; церебральное перфузионное давление.

THE NONINVASIVE IMPEDANCE MEASUREMENT IN THE EVALUATION OF CEREBRAL PERFUSION PRESSURE AND INTRACRANIAL PRESSURE IN PATIENTS WITH ACUTE INTRACRANIAL HEMORRHAGES

Trukhanov S.A.<sup>1</sup>, Stulin I.D.<sup>1</sup>, Levchenko O.V.<sup>2</sup>

<sup>1</sup>SFEI A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry of Ministry of health of Russia, Moscow; <sup>2</sup>N.V. Sklifosovsky Federal Research Institute of Emergency Medicine, Moscow

*The article discusses the potency of non-invasive impedancemetry for evaluation of intracranial pressure in patients with intracranial hemorrhages. The correlation between the value of cerebral perfusion pressure and figures of dielectric permittivity is shown; new formula for calculating cerebral perfusion pressure is presented for cases without severe brain edema. The study revealed significant correlation between intracranial pressure and dielectric permittivity, that's why frequent dynamic impedance measurement enables to assess the efficacy of intracranial hypertension treatment.*

Key words: impedance measuring; intracranial pressure; cerebral perfusion pressure.

Импедансометрия – определение комплексно-сопротивления объекта при прохождении через него переменного электрического тока. Метод биоимпедансометрии – измерения сопротивления живых тканей – применяется при изучении физико-химических процессов, происходящих в живых клетках, для определения клеточного состава тканей, степени их гидратации, изменения содержания электролитов и т.д. Помимо научно-исследовательских целей, метод находит применение и в клинической практике: в хирургии [1–4], реаниматологии и терапии критических состояний [5–7], акушерстве [8–10], трансплантологии [11, 12], терапии [13–16] и в практике других медицинских специальностей. В частности, показана возможность определения выраженности отека головного мозга по данным

биоимпедансометрии у пациентов с острой нейрохирургической и неврологической патологией [17–20].

Классический способ измерения импеданса подразумевает наложение электродов, через которые пропускают слабый переменный ток. При этом способе в месте контакта электрода с поверхностью ткани неизбежно возникают эффекты, вносящие погрешности в измерение. К ним относятся, например, поляризация, дополнительная паразитарная емкость, адсорбция частиц раствора на поверхности электрода [21–23]. Помимо этого, неповрежденный роговой слой кожи сам по себе имеет высокий импеданс, который может различаться в разных участках кожного покрова [23, 24].

Уменьшение сопротивления места контакта с кожей достигается использованием различных контактных гелей и паст, а также инвазивных многоигольчатых одноразовых электродов; уменьшение влияния поляризации – применением более высоких частот измерения и тетраполярным способом измерения. Возникающие погрешности могут отчасти компенсироваться аппаратными и программными средствами.

Помимо «контактной» импедансометрии, разработаны методики, позволяющие измерять комплексное сопротивление бесконтактно, путем помещения биологического объекта (или части тела)

Для корреспонденции: Труханов Сергей Александрович, e-mail: severyaninpage@mail.ru

Сведения об авторах:

Труханов Сергей Александрович – ассистент каф. нервных болезней лечебного факультета МГМСУ им. А.И. Евдокимова; e-mail: severyaninpage@mail.ru;

Стулин Игорь Дмитриевич – д-р мед. наук, проф., зав. каф. нервных болезней лечебного факультета МГМСУ им. А.И. Евдокимова; e-mail: stu-clinic@mail.ru;

Левченко Олег Валерьевич – д-р мед. наук, зав. I нейрохирургическим отделением НИИ скорой помощи им. Н.В. Склифосовского; e-mail:



Рис. 1. Внешний вид прибора АДО-03. Измерение индекса тотальной диэлектрической проницаемости.

в переменное магнитное поле катушки колебательного контура [23, 25, 26]. Так называемая магнитно-резонансная импедансометрия исключает погрешности, связанные с соединительными проводами или контактными электродами, уменьшает влияние костей черепа при измерении импеданса тканей головного мозга. Эта методика, очевидно, более подвержена влиянию внешних магнитных полей, однако это может быть компенсировано простой калибровкой прибора непосредственно перед каждым измерением.

Бесконтактная импедансометрия привлекательна в клинических условиях в первую очередь за счет исключительной методической простоты и скорости выполнения обследования. Так, подготовка прибора к исследованию и измерение занимают менее минуты, а процедура обследования вполне доступна даже для среднего медицинского персонала.

В проведенных ранее исследованиях показана четкая связь между выраженностью отека головного мозга по данным нейровизуализации и индексом диэлектрической проницаемости головы, определенным при бесконтактной импедансометрии, доказана возможность определения сторонности и ориентировочного объема поражения, наличия асимметричного отека головного мозга [19, 27].

Несмотря на то что при признаках отека головного мозга средние цифры внутричерепного давления (ВЧД) были достоверно выше, в исследовании не было выявлено сильной связи между числовыми значениями ВЧД и значениями диэлектрической проницаемости (у 8 пациентов). При этом была показана принципиальная возможность слежения за динамикой ВЧД при краткосрочном мониторинге импеданса [27].

**Целью** исследования являлось уточнение возможностей бесконтактной импедансометрии в оценке ВЧД и церебрального перфузионного давления (ЦПД) и их динамики, а также в оценке эффектив-

ности лечения внутричерепной гипертензии у пациентов с внутричерепными кровоизлияниями.

#### Пациенты и методы исследования

В исследование было включено 38 больных нейрореанимационного отделения, которым по клиническим показаниям проводили мониторинг ВЧД (интрапаренхиматозный – у 18 пациентов или через вентрикулоустому, с помощью датчика в дренажной системе – у 20 пациентов). Возраст пациентов составлял от 28 до 66 лет, в среднем 48,2 года. 20 больных имели спонтанное субарахноидальное кровоизлияние в результате разрыва аневризм сосудов основания черепа; 11 пациентов – спонтанные супратенториальные внутримозговые гематомы (ВМГ), у 4 из них отмечался прорыв крови в желудочковую систему; 7 пациентов – черепно-мозговые травмы (из них 3 – субдуральные гематомы, прооперированы в 1-е сутки, 4 – ушибы головного мозга). При поступлении пациентам проводили компьютерную томографию (КТ); повторную КТ проводили при наличии клинических показаний.

Всем пациентам 1 раз в день в течение 6–10 дней проводили клинико-инструментальные осмотры, включавшие транскраниальную доплерографию (средние мозговые и основная артерии) и бесконтактную импедансометрию – всей головы и в 3 симметричных областях (лобной, теменно-височной и затылочной). Бесконтактную импедансометрию выполняли с помощью прибора АДО-03 с измерительными щупами для измерения тотальной диэлектрической проницаемости (ТДЭП), характеризующей комплексное сопротивление головы в целом, и локальной диэлектрической проницаемости (рис. 1).

С целью уменьшения вероятности возможных погрешностей, возникающих в результате электромагнитных наводок, измерение проводили трехкратно с последующим расчетом средней арифметической величины.

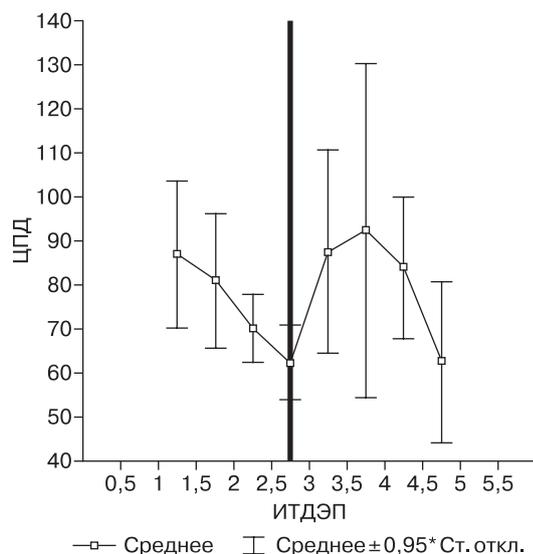


Рис. 2. График средних с ошибками между ИТДЭП и ЦПД. Линией отмечена граница значений ИТДЭП, после которой связь перестает быть линейной.

Пациентам со стойким повышением ВЧД выше 20 мм рт.ст. проводили почасовые осмотры. Кроме того, 9 пациентам на фоне введения осмотических диуретиков (манитол 400 мл 15% раствора или «ГиперХАЕС» 250 мл) проводили измерение импеданса головы 1 раз в 10 мин – до 8 осмотров.

В качестве нормальных значений индекса ТДЭП (ИТДЭП) принимали числа менее 1,95, в то время как значения от 2 и более считали признаком отека головного мозга [27].

## Результаты

В целом у пациентов с признаками отека головного мозга по данным импедансометрии ожидаемо отмечали достоверно более высокие значения ВЧД. Однако корреляция между ИТДЭП и значениями ВЧД во всех наблюдениях в целом оказалась достаточно слабой ( $R = 0,22$ ). Это говорит о том, что по степени выраженности гидратации мозговой ткани невозможно достаточно точно рассчитать значения ВЧД.

В процессе анализа данных 196 больных нами была выявлена умеренная достоверная отрицательная связь между ИТДЭП и ЦПД:  $R = -0,32$  ( $p < 0,01$ ). Далее было отмечено, что при отсутствии признаков отека головного мозга по данным импедансометрии (ИТДЭП  $< 1,95$ ) связь между индексом и ЦПД оказывалась значительно более сильной ( $\rho = -0,48$ ), чем при наличии отека ( $\rho = -0,07$ ). Вероятно, на показатели импедансометрии при этом влияет степень кровенаполнения тканей.

Эта закономерность хорошо прослеживается на графике средних значений ЦПД относительно ИТДЭП (рис. 2). Средние значения ЦПД связаны с показателем импеданса практически линейно до уровня ИТДЭП, приблизительно равного 2,5 (что характеризует отсутствие или легкую степень отека

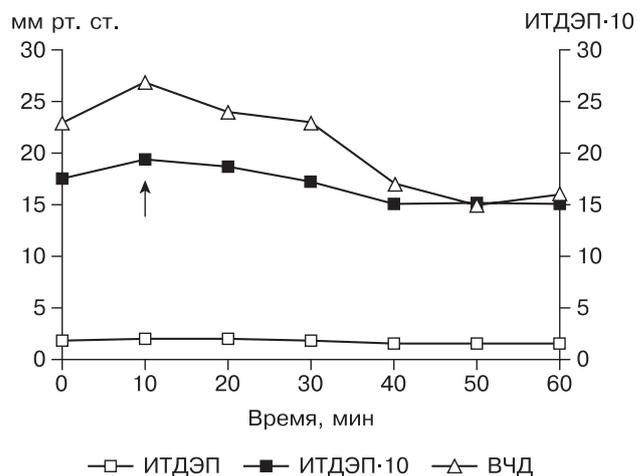


Рис. 3. Изменение индекса диэлектрической проницаемости и ВЧД при частом измерении (1 раз в 10 мин) на фоне противотечной терапии. Стрелкой указан момент начала введения осмотического диуретика.

головного мозга). Среднеквадратические отклонения также заметно ниже при отсутствии признаков выраженного отека мозговой ткани по данным импедансометрии.

Выявленная зависимость делает потенциально возможным количественный расчет по данным импедансометрии такого важного параметра, как ЦПД.

Нами были проанализированы вероятные источники погрешностей и выведена линейная формула расчета ЦПД для значений ИТДЭП менее 2,25:

$$\text{ЦПД} = 47 - 29 \cdot \text{ИТДЭП} + 0,84 \cdot \text{АД}_{\text{ср.}}$$

Корреляция Пирсона между ЦПД, вычисленным традиционным методом и рассчитанным по данным импедансометрии, составила  $r = 0,89$ .

Средняя погрешность расчета ЦПД по формуле составила 4,8 мм рт. ст. (5,9%). Более показательным для оценки расчетных формул считается вычисление среднеквадратической погрешности, которая составила в нашем случае 6,4 мм рт. ст. (7,9%).

Следует еще раз отметить, что данная формула дает наиболее точные результаты при небольшой выраженности отека головного мозга или при его отсутствии (до импеданса, равного 2,5). Однако обнаружение признаков выраженной гидратации тканей головы (ИТДЭП больше 2,5) однозначно ассоциировано с наличием внутричерепной гипертензии на фоне выраженного отека головного мозга и требует специфического лечения.

Другим аспектом нашего исследования была оценка возможностей бесконтактной импедансометрии как метода контроля и количественной оценки эффективности лечебных мероприятий, направленных на снижение ВЧД. Нами проведено сравнение динамики внутричерепной гипертензии по данным инвазивного мониторинга на фоне лечения и динамики показателей диэлектрической проницаемости за те же промежутки времени.

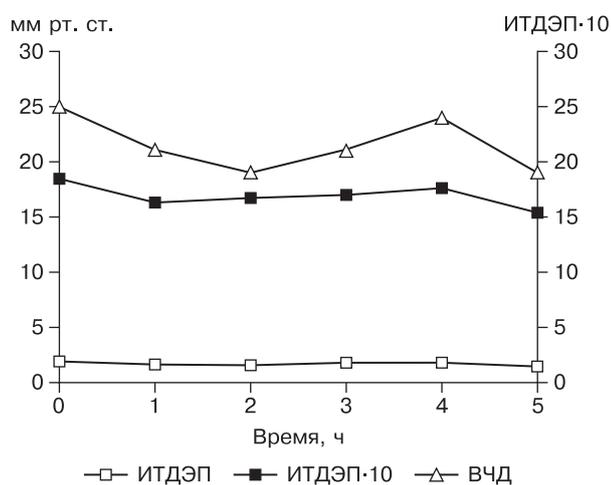


Рис. 4. Изменение индекса диэлектрической проницаемости и ВЧД у пациента с внутричерепной гипертензией при почасовых измерениях импеданса.

Наибольшая степень связи этих показателей наблюдалась при частых измерениях импеданса на фоне введения осмотических диуретиков – 1 раз в 10 мин ( $R = 0,44; p < 0,05$ ). При этом изменение ИТДЭП на 0,1 соответствовало изменению ВЧД на  $1,9 \pm 1,24$  мм рт. ст.

На рис. 3 представлен пример следования индекса диэлектрической проницаемости за цифрами ВЧД у пациента с артериовенозной мальформацией, гематомой левой височной доли, на 5-е сутки с момента поступления. На момент начала обследования отмечалось повышение ВЧД до 26 мм рт. ст. по данным ВЧД-мониторинга (интрапаренхиматозно). На представленном графике обращает на себя внимание, что ИТДЭП более четко следовал за ВЧД при цифрах давления, превышающих норму. После снижения ВЧД ниже 20 мм рт. ст. эта зависимость становилась менее отчетливой.

Несколько меньшую связь показывает сравнение  $\Delta$ ИТДЭП и  $\Delta$ ВЧД при частоте импедансометрии 1 раз в 1 ч ( $R = 0,38; p < 0,05$ ). При изменении индекса ТДЭП на 0,1 ВЧД изменяется на  $1,7 \pm 1,5$  мм рт. ст.

На рис. 4 представлен пример следования ТДЭП за цифрами ВЧД у пациента с аневризмой левой средней мозговой артерии, спонтанным субарахноидальным кровоизлиянием. На 2-е сутки с начала заболевания больному выполнены клипирование аневризмы, установка паренхиматозного датчика ВЧД. На 11-е сутки отмечалась тенденция к повышению ВЧД, по поводу чего начата противоотечная терапия, на фоне которой сохранялась легкая внутричерепная гипертензия. Измерение ИТДЭП производилось ежедневно в течение 5 ч.

## Обсуждение

В подавляющем большинстве опубликованных ранее работ [17, 18, 20, 28, 29] показатели импеданса тканей головы, измеренного по разным методикам,

связываются исключительно со степенью гидратации мозговой ткани. Однако на комплексное сопротивление тканей, особенно на более низких частотах, могут оказывать влияние также степень их кровенаполнения [30], наличие крупных патологических очагов (особенно гематом) [23] и др. Попытка напрямую связать ряд показателей бесконтактной биоимпедансометрии и ВЧД, а также объем очагов высокой и низкой плотности на КТ впервые была предпринята в исследованиях О.В. Левченко [27].

Приведенные данные показывают, что при отсутствии выраженного отека головного мозга по данным бесконтактной импедансометрии с учетом среднего артериального давления возможен расчет ЦПД. Это, по всей вероятности, связано с изменением объемов «внутричерепной» крови, в первую очередь на уровне артериол в капиллярном и венозном звене кровотока. Мы полагаем, что такая оценка возможна и при использовании других способов измерения импеданса, в том числе «контактных» би- и тетраполярных. Однако для определения оптимальных частот измерения, установления точных зависимостей при использовании других приборов и методик импедансометрии потребуются дополнительные исследования.

Представленная формула имеет некоторые ограничения: точность расчета ЦПД существенно ниже при признаках выраженной гидратации мозговой ткани по данным импедансометрии ( $\text{ИТДЭП} > 2,5$ ). Однако следует заметить, что такие значения импеданса у наших пациентов были четко ассоциированы с повышением ВЧД на фоне отека головного мозга, что требует соответствующей терапии.

В нашем исследовании подтверждены также данные о достоверной связи динамики показателей ВЧД и ТДЭП при повторных измерениях импеданса. Рассчитаны средние значения изменения ВЧД при изменении ТДЭП на 0,1, что позволяет ориентироваться на показания импедансометрии при оценке эффективности лечения, направленного на снижение ВЧД, при отсутствии возможности проведения мониторинга.

Все это повышает ценность диагностической информации, полученной при бесконтактной импедансометрии головы, в неотложной неврологии и нейрохирургии. Импедансометрия при ее чрезвычайной простоте, экономичности и скорости проведения может эффективно дополнить другие неинвазивные методы обследования: транскраниальную доплерографию и дуплексное сканирование, эхоэнцефалографию и другие методы, особенно при их комплексном использовании.

Таким образом, полученные в исследовании данные позволяют повысить информативность бесконтактной импедансометрии. Этот метод, помимо известной возможности оценки степени выраженности гидратации тканей головного мозга, позволяет при легкой степени отека достаточно точно рассчитать ЦПД. Импедансометрия может также использоваться для оценки (в том числе количественной) эффективности терапевтических мероприятий, направленных на снижение ВЧД.

## ЛИТЕРАТУРА

- Акопян И.Г., Меркулов И.А., Ярема В.И. Клиническое использование биоимпедансного анализа в оценке гидратации органов грудной клетки в послеоперационном периоде. *Хирург.* 2007; 9: 15–20.
- Николаева И.П., Беляев А.Ю., Кулик Г.С., Покровский В.Г., Хижняк А.Ю. Динамика объемов жидкостных секторов организма у больных, перенесших лапароскопические операции. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 2000; 4: 76–80.
- Chiolero R.L., Gay L.J., Cotting J., Gurtner C., Schutz Y. Assessment of changes in body water by bioimpedance in acutely ill surgical patients. *Intensive Care Med.* 1992; 18(8): 322–6.
- Gagnon R.T., Gagner M., Duplessis S. Variations of body comparison by bioelectric impedancemetry after major surgery. *Ann. Chir.* 1994; 48(8): 708–16.
- Бобринская И.Г. Диагностика и коррекция нарушений осмотического гомеостаза в интенсивной терапии критических состояний: Дис. М.; 1994.
- Mattar J.A. Application of total body bioimpedance to the critically ill-patient. Brazilian Group for Bioimpedance Study. *New Horiz.* 1996; 4(4): 493–503.
- Roos A.N., Westendorp R.G., Frölich M., Meinders A.E. Weight changes in critically ill patients evaluated by fluid balances and impedance measurements. *Crit. Care Med.* 1993; 21(6): 871–7.
- Штанько А.В., Свиридов С.В., Шестопалов А.Е. Мониторинг водных секторов организма у беременных с гестозами. В кн.: *Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы. Материалы 8-й научно-практической конференции 22 марта 2006 г. Москва.* М.; 2006: 21–5.
- Lukaski H.C., Siders W.A., Nielsen E.J., Hall C.B. Total body water in pregnancy: assessment by using bioelectrical impedance. *Am. J. Clin. Nutr.* 1994; 59(3): 578–85.
- Valensise H., Andreoli A., Lello S., Magnani F., Romanini C., De Lorenzo A. Multifrequency bioelectrical impedance analysis in women with a normal and hypertensive pregnancy. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000; 72(3): P.780–3.
- Villa R., Sanchez L., Guimera A. A new system for the bioimpedance monitoring of organs for transplantation. In: *International Conference on Electrical Bioimpedance; Proceedings of ICEBI XII.* Gdansk; 2004: 119–22.
- Kievit J.K., Oome A.P.A., de Vrie, B., Heinema, E., Kootstr, G. Update on the results of non-heart-beating donor kidney transplants. *Transplant. Proc.* 1997; 29(7): 2989–91.
- Колобов С.В., Акопян И.Г., Меркулов И.А. Биоимпедансный способ получения объективной информации о состоянии легочной ткани у больных пневмонией. В кн.: *Диагностика и лечение нарушений регуляции сердечно-сосудистой системы: Материалы 10-й научно-практической конференции 26 марта 2008 г. Москва.* М.; 2008: 16–23.
- Никулина Л.Д. Оценка эффективности и безопасности диуретической терапии у больных с недостаточностью кровообращения: Дис. ... мед. наук. М.; 2005.
- Kreymann G., Paplow N., Muller C., Plonsker M., Wolf M. Relation of total body reactance to resistance as a predictor of mortality in septic patients. *Crit. Care Med.* 1995; 23 (Suppl.): A 49.
- Lauer M.S., Anderson K.M., Kannel W.B., Levy D. The impact of obesity on left ventricular mass and geometry: the Framingham Heart Study. *J. A. M. A.* 1991; 266(2): 231–6.
- Сергиенко Т.М., Лапоногов О.А. Импедансометрия в нейрохирургической практике. *Вопросы нейрохирургии.* 1989; 4: 34–7.
- Билалова Э.Ф. Неинвазивный биоимпедансный метод мониторинга отека головного мозга у больных с тяжелой черепно-мозговой травмой: Дис. ... мед. наук. М.; 2008.
- Стулин И.Д., Царенко С.В., Левченко О.В. Применение метода бесконтактной импедансометрии для диагностики отека головного мозга. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова.* 2005; 105(8): 32–5.
- Liu L., Dong W., Ji X., Chen L., Chen L., He W., Jia J. A new method of noninvasive brain-edema monitoring in stroke: cerebral electrical impedance measurement. *Neurol. Res.* 2006; 28(1): 31–7.
- Grimnes S., Martinsen O.G. *Bioimpedance and Bioelectricity Basics.* 2nd ed. New York: Elsevier Academic Press; 2008.
- Grimnes S., Martinsen O.G. Sources of error in tetrapolar impedance measurements on biomaterials and other ionic conductors. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2007; 40 (1): 9–14.
- Зенченко А.Г., Рябоконт Д.С., Савченко А.Ю., Чернышев А.К., Зобов Ю.В., Кондаков Е.Н. *Транскраниальная неинвазивная электро-магнитно-резонансная импедансометрия.* Омск–Санкт-Петербург; 2001.
- Николаев Д.В., Смирнов А.В., Бобринская И.Г., Руднев С.Г. *Биоимпедансный анализ состава тела человека.* М.: Наука; 2009.
- Ясинский И.М., Рябоконт Д.С., Звягинцев И.В., Левченко О.В., Пахоменко А.Г., Гусев А.И. *Способ электромагнитно-резонансной импедансометрии живых тканей биологического объекта и устройство для его осуществления. Патент РФ № 2295912;* 2005.
- Netz J., Forner E., Haagemann S. Contactless impedance measurement by magnetic induction - a possible method for investigation of brain impedance. *Physiol. Meas.* 1993; 14(4): 463–71.
- Левченко О.В. *Возможности бесконтактной импедансометрии в диагностике и мониторинге отека головного мозга: Дисс. ... мед. наук. М.; 2005.*
- Зенченко А.Г. *Динамика внеклеточной гидратации коры и белого вещества головного мозга в остром периоде черепно-мозговой травмы: Дисс. ... мед. наук. М.; 1987.*
- Семенютин В.Б., Зубков Ю.Н. Использование импедансометрии в системах непрерывного слежения за состоянием головного мозга у нейрохирургических больных. В кн.: *Актуальные проблемы неврологии, психиатрии и нейрохирургии: Материалы 2 Съезда психиатров, невропатологов, и нейрохирургов Латвийской ССР.* Рига; 1985; т. 3: 298–301.
- Tidswell T., Gibson A., Bayford R.H., Holder D.S. Three-dimensional electrical impedance tomography of human brain activity. *Neuroimage.* 2001; 13(2): 283–94.

## REFERENCES

- Akopyan I.G., Merkulov I.A., Yarema V.I. Clinical use of bioimpedance analysis in the evaluation of chest organs' hydration in the postoperative period. *Khirurg.* 2007; 9: 15–20 (in Russian).
- Nikolaeva I.P., Belyaev A.Yu., Kulik G.S., Pokrovskiy V.G., Khizhnyak A.Yu. Volume dynamics of fluidic sectors of the body in patients undergoing laparoscopic surgeries. *Vestnik khirurgii im. I.I. Grekova.* 2000; 4: 76–80 (in Russian).
- Chiolero R.L., Gay L.J., Cotting J., Gurtner C., Schutz Y. Assessment of changes in body water by bioimpedance in acutely ill surgical patients. *Intensive Care Med.* 1992; 18(8): 322–6.
- Gagnon R.T., Gagner M., Duplessis S. Variations of body comparison by bioelectric impedancemetry after major surgery. *Ann. Chir.* 1994; 48(8): 708–16.
- Bobrinskaya I.G. *Diagnostics and Correction of Osmotic Homeostasis Violations in the Intensive Therapy of Critical States: Diss.* Moscow; 1994 (in Russian).
- Mattar J.A. Application of total body bioimpedance to the critically ill-patient. Brazilian Group for Bioimpedance Study. *New Horiz.* 1996; 4(4): 493–503.
- Roos A.N., Westendorp R.G., Frölich M., Meinders A.E. Weight changes in critically ill patients evaluated by fluid balances and impedance measurements. *Crit. Care Med.* 1993; 21(6): 871–7.
- Shtan'ko A.V., Sviridov S.V., Shestopalov A.E. Monitoring of fluidic sectors of the organism in pregnant women with pre-eclampsia. In: *Diagnostics and Treatment of Disorders of the Cardiovascular System Regulation: Proceedings of the 8th Scientific Conference.* Moscow; 2006: 21–5. (in Russian)
- Lukaski H.C., Siders W.A., Nielsen E.J., Hall C.B. Total body

- water in pregnancy: assessment by using bioelectrical impedance. *Am. J. Clin. Nutr.* 1994; 59(3): 578–85.
10. Valensise H., Andreoli A., Lello S., Magnani F., Romanini C., De Lorenzo A. Multifrequency bioelectrical impedance analysis in women with a normal and hypertensive pregnancy. *Am. J. Clin. Nutr.* 2000; 72(3): P.780–3.
  11. Villa R., Sanchez L., Guimera A. A new system for the bioimpedance monitoring of organs for transplantation. In.: *International Conference on Electrical Bioimpedance; Proceedings of ICEBI XII*. Gdansk; 2004: 119–22.
  12. Kievit J.K., Oome, A.P.A., de Vrie, B., Heinema E., Kootstr, G. Update on the results of non-heart-beating donor kidney transplants. *Transplant. Proc.* 1997; 29(7): 2989–91.
  13. Kolobov S.V., Akopyan I.G., Merkulov I.A. *The ioimpedance method of obtaining information on the status of lung tissue in patients with pneumonia. In: Diagnostics and Treatment of Disorders of the Cardiovascular System Regulation: Proceedings of the 10th Scientific Conference*. Moscow; 2008: 16–23 (in Russian).
  14. Nikulina L.D. *Efficacy and Safety of Diuretic Therapy in Patients with Circulatory Failure: Diss.* Moscow; 2005 (in Russian).
  15. Kreymann G., Paplow N., Muller C., Plonsker M., Wolf M. Relation of total body reactance to resistance as a predictor of mortality in septic patients. *Crit. Care Med.* 1995; 23 (Suppl.): A 49.
  16. Lauer M.S., Anderson K.M., Kannel W.B., Levy D. The impact of obesity on left ventricular mass and geometry: the Framingham Heart Study. *J. A. M. A.* 1991; 266(2): 231–6.
  17. Sergienko T.M., Laponogov O.A. Impedance measurements in neurosurgery. *Voprosy neyrokhirurgii*. 1989; 4: 34–7 (in Russian).
  18. Bilalova E.F. *Noninvasive Bioimpedance Method of Monitoring Brain Edema in Patients with Severe Traumatic Brain Injury: Diss.* Moscow; 2008 (in Russian).
  19. Stulin I.D., Tsapenko S.V., Levchenko O.V. Application of contactless impedance spectroscopy for the diagnosis of cerebral edema. *Zhurnal nevrologii i psikiatrii im. C.C. Korsakova*. 2005; 105(8): 32–5 (in Russian).
  20. Liu L., Dong W., Ji X., Chen L., Chen L., He W., Jia J. A new method of noninvasive brain-edema monitoring in stroke: cerebral electrical impedance measurement. *Neurol. Res.* 2006; 28(1): 31–7.
  21. Grimnes S., Martinsen O.G. *Bioimpedance and Bioelectricity Basics*. 2nd ed. New York: Elsevier Academic Press; 2008.
  22. Grimnes S., Martinsen O.G. Sources of error in tetrapolar impedance measurements on biomaterials and other ionic conductors. *J. Phys. D: Appl. Phys.* 2007; 40 (1): 9–14.
  23. Zenchenko A.G., Ryabokon' D.S., Savchenko A.Yu., Chernyshev A.K., Zobov Yu.V., Kondakov E.N. *Noninvasive Transcranial Electro-magnetic Resonance Impedance Measurement*. Omsk–Sankt-Peterburg; 2001 (in Russian).
  24. Nikolaev D.V., Smirnov A.V., Bobrinskaya I.G., Rudnev S.G. *Bioimpedance Analysis of Human Body Composition*. Moscow: Nauka; 2009 (in Russian).
  25. Yasinitskiy I.M., Ryabokon' D.S., Zvyagintsev I.V., Levchenko O.V., Pakhomenko A.G., Gusev A.I. *Method of Electromagnetically Resonance Impedance Measurement Living Tissues of a Biological Object and Device for its Implementation. Patent RF N 2295912*; 2005 (in Russian).
  26. Netz J., Forner E., Haagemann S. Contactless impedance measurement by magnetic induction – a possible method for investigation of brain impedance. *Physiol. Meas.* 1993; 14(4): 463–71.
  27. Levchenko O.V. *Possibilities of Contactless impedance measurements in Diagnosis and Monitoring of Brain Edema: Dis.* Moscow; 2005 (in Russian).
  28. Zenchenko A.G. *Dynamics of Extracellular Hydration Cortex and White Matter of the Brain in Acute Traumatic Brain Injury Period. Dis.* Moscow; 1987 (in Russian).
  29. Semenyutin V.B., Zubkov Yu.N. Using impedance measurements in the systems of continuous monitoring the state of brain in neurosurgical patients. In: *Actual Problems of Neurology, Neurosurgery and Psychiatry: Proceedings of the 2nd Congress of Psychiatrists, Peurologists, and Neurosurgeons*. Riga; 1985; vol. 3: 298–301 (in Russian).
  30. Tidswell T., Gibson A., Bayford R.H., Holder D.S. Three-dimensional electrical impedance tomography of human brain activity. *Neuroimage*. 2001; 13(2): 283–94.