

УДК 618.16

© Д.Н. Панченков, С.Д. Леонов, Ю.В. Иванов, Ю.А. Степанова, А.А. Нечунаев, Д.Ю. Агибалов

## Лапароскопическая биоимпедансометрия печени

Д.Н. ПАНЧЕНКОВ\*, С.Д. ЛЕОНОВ\*, Ю.В. ИВАНОВ\*\*, Ю.А. СТЕПАНОВА\*\*\*,  
А.А. НЕЧУНАЕВ\*, Д.Ю. АГИБАЛОВ\*\*

Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация\*  
Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий  
ФМБА России, Москва, Российская Федерация\*\*

Первый московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Российская Федерация\*\*\*

**Актуальность** Биоимпедансный анализ позволяет изучать изменения, связанные с функциональным состоянием и структурными особенностями биологических тканей, которые выражаются в виде их электрического сопротивления переменному току – импеданса. Особый интерес вызывают экспериментальные и клинические данные об измерении электрического импеданса биологических тканей с применением инвазивной биоимпедансометрии для диагностики различных патологических состояний.

**Цель исследования** Разработка технологии биоимпедансометрии печени в ходе проведения лапароскопического оперативного вмешательства.

**Материалы и методы** Лапароскопические вмешательства проводились 42 пациентам. Средний возраст больных составил 60 лет (от 41 года до 80 лет). В ходе оперативного вмешательства всем пациентам была проведена биоимпедансометрия диафрагмальной поверхности правой доли печени. Электрический импеданс печеночной ткани измеряли с использованием аппарата ВИМ-II, разработанного в ООО «Центр трансфера инновационных технологий», г. Смоленск.

**Результаты и их обсуждение** Впервые в клинической практике отработана методика лапароскопической биоимпедансометрии печени. Предложенная методика позволяет получать биофизические характеристики исследуемой ткани. Электрокоагуляция пункционного канала минимизирует осложнения, связанные с возможным паренхиматозным кровотечением.

**Выводы** Определены перспективы для дальнейшего использования метода инвазивной биоимпедансометрии печени в разработке диагностических технологий в хирургической гепатологии.

**Ключевые слова** Печень, электрический импеданс, биоимпедансометрия

## Laparoscopic Bioimpedancemetry of the Liver

D.N. PANCHENKOV\*, S.D. LEONOV\*, I.U.V. IVANOV\*\*, I.U.A. STEPANOVA\*\*\*,  
A.A. NECHUNAIEV\*, D.I.U. AGIBALOV\*\*

A.I. Evdokimov Moscow State Medical and Dental University, Moscow, Russian Federation\*

Federal Research Centre of specialized types of health care and medical technology FMBA of Russia, Moscow, Russian Federation\*\*

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation\*\*\*

**Relevance** Measurement of electric impedance could be an informative diagnostic method, permitting to clarify the functional reserve of the liver in patients who are scheduled to undergo liver resection.

**The purpose of the study** To work out the methodology of laparoscopic bioimpedancemetry of the liver.

**Materials and methods** Laparoscopic biopedancemetry (LBIM) performed to 42 patients during planned cholecystectomy (n=23), liver cyst fenestration (n=3), liver resection combined with radiofrequent ablation of colorectal metastases (n=3), nephrectomy (n=4), diagnostic laparoscopy (n=9). Bioimpedancemetry (BIM) performed with bipolar needle electrodes and the original device for measurement of full electric impedance of biological tissues "BIM II" (patent of Russian Federation № 2366360). The value of electric impedance determined in one zone of the electrode injection in series on three frequencies - 2 kHz, 10 kHz, 20 kHz.

**Results and their discussion** When analyzing the results of the study valid differences were noticed between the electric impedance of intact liver and the liver with cirrhotic and metastatic changes.

**Conclusion** LBIM of the liver is available, safe and informative diagnostic method, which permits to clarify the functional condition of the liver. The results of LBIM could be useful in planning of major liver resections and prediction of outcome of surgical treatment of patients with liver pathology.

**Key words** Liver, electric impedance, bioimpedancemetry

### Актуальность

Несмотря на ежегодное появление новой медицинской техники и развитие диагностических технологий, остается достаточное количество нерешенных задач по верификации диагнозов, оценки функцио-

нального состояния органов и систем, а также мониторингу эффективности терапевтического или хирургического воздействия.

Передовыми и наиболее востребованными технологиями являются методы визуализации, однако зо-

лотым стандартом при дифференциальной диагностике остается биопсия, проводимая под ультразвуковым (УЗ) контролем либо в ходе оперативного вмешательства.

Безусловно, визуальная оценка состояния органов и систем снабжает врача большим количеством информации, хотя и является в достаточной мере субъективной. При этом морфологическое исследование органа мишени вскрывает интимные механизмы в этиологии и патогенеза диагностируемого заболевания, но является продолжительным во времени и не всегда устанавливает степень функциональной активности той или иной ткани.

Однако, существует биофизический критерий, позволяющий изучать изменения, связанные с функциональным состоянием и структурными особенностями биологических тканей, который выражается в виде их электрического сопротивления переменному току – импеданса [10].

Для измерения электрического импеданса биологических тканей используют два и более электрода, которые накладываются на поверхность исследуемого объекта в виде пластин (неинвазивная импедансометрия), либо вводятся в ткань в виде электродов-игл (инвазивная импедансометрия). Между электродами пропускается переменный электрический ток с различной частотой и напряжением менее 1 вольта, и рассчитывается электрическое сопротивление ткани с использованием специальной электротехники. История отечественных исследований и разработок в области биоимпедансного анализа насчитывает более шести десятилетий. Первые работы по этой тематике, в том числе патент Б.Н. Тарусова, были опубликованы еще в 30-х годах XX века [7-9]. Уже в то время целью биоимпедансометрии была дифференцировка областей, занимаемых больной и здоровой тканью, основанной на различной величине электрического сопротивления.

Эволюция применения биоимпедансного анализа в медицине пошла по пути развития неинвазивных измерительных технологий с использованием поверхностных электродов, накладываемых на кожу и слизистую. Был разработан ряд принципиальных методических подходов, которые обладают своими преимуществами и недостатками и служат различным целям – это реография, оценка состава тела, импедансная томография и импедансная спектроскопия [11].

Особый интерес вызывают экспериментальные и клинические данные, касающиеся измерения электрического импеданса биологических тканей с применением инвазивной биоимпедансометрии для диагностики различных патологических состояний.

Метод заключается во введении в исследуемую ткань игольчатых электродов и измерении между ними полного электрического сопротивления (биполярная импедансометрия). Данная технология дает возможность оценить биофизические параметры ткани локально, в зоне введения электродов, причем рас-

стояние между активными частями электродов должно быть не более 1 см [1-4, 10].

Также разработана методика монополярной биоимпедансометрии, при которой переменный электрический ток пропускается между пассивным электродом, представляющим собой токопроводящую пластину большой площади /до 600 см<sup>2</sup>/ и активным игольчатым электродом с токопроводящей концевой частью до 0,5 см<sup>2</sup>. При этом показатели электрического импеданса снимаются только с активного электрода и объем исследуемой ткани составляет 0,286 см<sup>3</sup> [12].

Целью нашего исследования явилась разработка технологии биоимпедансометрии печени в ходе проведения лапароскопического оперативного вмешательства.

### Материалы и методы

Исследование проводилось на базе хирургического отделения Федерального научно-клинического центра специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий Федерального медико-биологического агентства. Лапароскопические вмешательства проводились 42 пациентам /из них 10 женщин (62,5%) и 6 мужчин (37,5%)/ Средний возраст больных составил 60 лет (от 41 года до 80 лет). Лапароскопическая холецистэктомия проводилась 23 пациентам, лапароскопическая фенестрация кист печени – 3 пациентам, лапароскопическая резекция печени – 3, лапароскопическая нефрэктомия – 4, диагностическая лапароскопия – 9.

В ходе проведения оперативного вмешательства всем пациентам была проведена биоимпедансометрия диафрагмальной поверхности правой доли печени.

Электрический импеданс печеночной ткани измеряли с использованием аппарата ВИМ-II, разработанного в ООО «Центр трансфера инновационных технологий» /г. Смоленск/ при финансовой поддержке Фонда содействия малым предприятиям, работающим в научно-технической сфере.

В основе измерительной схемы аппарата ВИМ-II положен инвариантный метод измерения импеданса, позволяющий определить активную и реактивную составляющие электрического импеданса без измерения фазы по абсолютным значениям сигналов [5, 6].

Исходя из принципов монополярной биоимпедансометрии, в качестве пассивного электрода нами был использован нейтральный электрод для монополярной электрокоагуляции из токопроводящей резины размером 24 x 17 см и площадью 408 см<sup>2</sup> (ООО «Фотек»), который подкладывался под пациента. В качестве активного электрода мы использовали лапароскопический электрод-иглу (ООО «Фотек»). Все разъемы были адаптированы к аппарату ВИМ-II.

### Результаты и их обсуждение

Предлагаемая нами методика лапароскопической биоимпедансометрии печени осуществлялась следу-

Таблица 1

**Показатели лапароскопической биоимпедансометрии пациентки X**

Зона измерения	Частота переменного тока		
	2 кГц	10 кГц	20 кГц
Электрический импеданс диафрагмальной поверхности печени, (Ом)	450	330	270

Таблица 2

**Показатели лапароскопической биоимпедансометрии пациентки К**

Зона измерения	Частота переменного тока		
	2 кГц	10 кГц	20 кГц
Электрический импеданс диафрагмальной поверхности печени, (Ом)	390	260	190

щим образом. После наложения пневмоперитонеума и постановки необходимых лапароскопических портов, через 5 мм троакар вводился активный электрод-игла, подключенный к аппарату ВІМ-ІІ. Пассивный же электрод перед началом операции помещался под пациента. Производили введение активного электрода в ткань диафрагмальной поверхности правой доли печени на глубину 0,5 см, после чего измеряли показатели электрического импеданса на частотах 2, 10 и 20 кГц.

После проведения измерений джек активного электрода вынимали из разъема аппарата ВІМ-ІІ и подключали к системе монополярной коагуляции. Плавно извлекали активный электрод из ткани печени и одновременно коагулировали пункционный канал, таким образом, достигая гемостаза.

Результаты инвазивной биоимпедансометрии отражены в клинических примерах.

*Клинический пример 1*

Пациентка X., 39 лет. Диагноз: Желчекаменная болезнь. Хронический калькулезный холецистит. В ходе плановой лапароскопической операции была проведена биоимпедансометрия печени по предложенной методике (табл. 1).

*Клинический пример 2*

Пациентка К., 70 лет. Диагноз: Рак тела желудка T2NxM0. Метастазы в левой доле печени. 6 курсов по-

лихимиотерапии. В ходе плановой операции по поводу лапароскопически ассистированной резекции печени и тонкой кишки проведена биоимпедансометрия печени по предложенной методике (табл. 2).

Из 16 проведенных биоимпедансометрий печени минимальный показатель электрического импеданса наблюдался на частоте 20 кГц и составил 170 Ом, а максимальный на частоте 2кГц – 790 Ом.

При инвазивной биоимпедансометрии печени у всех пациентов наблюдалось снижение показателей импеданса с увеличением частоты, на которой производилось измерение. Данный факт свидетельствует о правильном выполнении методики.

В ходе дальнейших исследований планируется провести интерпретацию данных полученных при инвазивной биоимпедансометрии печени у пациентов с различной хирургической патологией.

**Выводы**

В ходе проведенного исследования нами отработана методика лапароскопической биоимпедансометрии печени. Данная технология может быть использована в дальнейших исследованиях по поиску диагностических возможностей инвазивной биоимпедансометрии.

**Список литературы**

1. *Белик Д.В.* Оценка физических факторов электрохирургического воздействия как основы для построения автоматизированных электрохирургических аппаратов. Мед. техника. 2001; 1: 19-24.
2. *Белик Д.В.* Принципы построения импедансного электрохирургического аппарата для достоверного удаления опухолей и пораженных биотканей. Мед. техника. 2001; 3: 23-25.
3. *Белик Д.В., Торнуев Ю.В.* О возможности оценки степени термических поражений биотканей методом электроимпедансометрии. Мед. техника. 2001; 2: 40-41.
4. *Бокерия Л.А., Беледзянц Г.А., Мовсесян Р.Р., Муратов Р.М., Корженевский А.В., Корниенко В.Н., Черепенни В.А.* Биоэлектрическая импедансометрия миокарда при операциях на сердце с искусственным кровообращением. Бюлл. Экспер. биол. и мед. 2007; 1: 38-41.

**References**

1. *Belik D.V.* Assessment of the physical factors of electrosurgical effects as a basis for building automated electrosurgical devices. *Meditsinskaia tekhnika*, 2001; 1: 19-24. - (In Russian).
2. *Belik D.V.* Principles of the construction of impedance electrosurgical apparatus for reliable removal of the affected tissues and tumors. *Meditsinskaia tekhnika*, 2001; 3: 23-25. - (In Russian).
3. *Belik D.V., Tornuev Iu.V.* On the possibility of assessing the degree of the thermal injuries of tissues by electroimpedancemetry. *Meditsinskaia tekhnika*, 2001; 2: 40-41. - (In Russian).
4. *Bokeriia L.A., Beledzhants G.A., Movsesian R.R. Muratov R.M., Korzhenevskii A.V., Kornienko V.N., Cherepenini V.A.* Bioelectric impedancemetry of the myocardium during the surgery on the heart with extracorporeal circulation.

5. *Образцов С.А., Троицкий Ю.В., Леонов С.Д.* Устройство измерения импеданса биологических тканей. Радиоэлектроника, электротехника и энергетика. Тезисы докладов четырнадцатой международной научно-технической конференции студентов и аспирантов. В 3-х томах. М Издательский дом МЭИ, 2008; 1: 255-256.
6. Пат. 2366360 РФ, МПК А 61 В 5/053. Устройство для измерения импеданса биологических тканей. Образцов С.А., Леонов С.Д., Троицкий Ю.В., Федоров Г.Н. – № 2008110270/14; заявл. 17.03.2008; опублик. 10.09.2009. Бюл. №25; 8 с.
7. *Тарусов Б.Н.* О диэлектрической константе мышцы. Доклады АН СССР. 1934; 5(3): 353-356.
8. *Тарусов Б.Н.* Способ определения регенеративной способности животных тканей. Авторское свидетельство СССР от 03.09.1939 г.
9. *Тарусов Б.Н.* Электропроводность как метод определения жизнеспособности тканей. Архив биол. наук. 1938; 2(52): 178-181.
10. *Торнуйев Ю.В., Хачатрян Р.Г., Хачатрян А.П., и соавт.* Электрический импеданс биологических тканей. М ВЗПИ, 1990.
11. *Coffman F.D., Cohen S.* Impedance measurements in the biomedical sciences. *Anal Cell Pathol (Amst)*. 2012; 8: 31.
12. *Mishra V., et fl.* A real-time electrical impedance sensing biopsy needle. *IEEE Trans Biomed Eng.* 2012; 8: 23.  
Поступила 20.11.2012
5. *Biulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny*, 2007; 1: 38-41 - (In Russian).
5. *Obraztsov S.A., Troitskii Iu.V., Leonov S.D.* [Impedance measuring apparatus for biological tissues]. *Tezisy dokladov chetyrnadtsatoi mezhdunarodnoi nauchno-tekhnicheskoi konferentsii studentov i aspirantov "Radioelektronika, elektrotekhnika i energetika."* [Abstracts of 14th international conf. "Radioelectronics, electronics and power engineering"]. Moscow, 2008, 1: 255-256. - (In Russian).
6. *Obraztsov S.A., Leonov S.D., Troitskii Iu.V., Fedorov G.N.* *Ustroistvo dlia izmereniia impedansa biologicheskikh tkanei* [Device for measuring the impedance of biological tissues]. Patent RF, no. 2366360, 2009. - (In Russian).
7. *Tarusov B.N.* On the dielectric constant of the muscle. *Doklady AN SSSR*, 1934; 5(3): 353-356. - (In Russian).
8. *Tarusov B.N.* *Sposob opredeleniia regenerativnoi sposobnosti zivotnykh tkanei* [The method for determining the regenerative capacity of the tissues of animals]. *Avtorskoe svidetel'stvo SSSR*, 1939. - (In Russian).
9. *Tarusov B.N.* Electrical conductivity as a method to determine the viability of tissues. *Arkhiv biologicheskikh nauk*, 1938; 2(52): 178-181. - (In Russian).
10. *Tornuev Iu.V., Khachatrian R.G., Khachtrian A.P.* *Elektricheskie impedans biologicheskikh tkanei* [Electrical impedance of biological tissues]. Moscow, VZPI, 1990. 153 p. - (In Russian).
11. *Coffman F.D., Cohen S.* Impedance measurements in the biomedical sciences. *Anal. Cell Pathol. (Amst)*, 2012; 8: 31.
12. *Mishra V., et fl.* A real-time electrical impedance sensing biopsy needle. *IEEE Trans. Biomed. Eng.*, 2012; 8: 23.  
Recieved 20.11.2012

### Информация об авторах

1. Панченков Дмитрий Николаевич – д.м.н., проф., зав. кафедрой хирургии ФПДО и лабораторией минимально инвазивной хирургии НИМСИ Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И.Евдокимова
2. Леонов Сергей Дмитриевич – к.м.н., доц. кафедры хирургии ФПДО и докторант лаборатории минимально инвазивной хирургии НИМСИ Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И.Евдокимова; e-mail: [leonov-serg@yandex.ru](mailto:leonov-serg@yandex.ru)
3. Иванов Юрий Викторович – д.м.н., проф., зав. отделением хирургии Федерального научно-клинического центра специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России
4. Степанова Юлия Александровна – д.м.н., проф. кафедры лучевой диагностики ФППО Первого Московского государственного медицинского университета им. И.М.Сеченова
5. Нечунаев Алексей Александрович – к.м.н., асс. кафедры хирургии ФПДО Московского государственного медико-стоматологического университета им. А.И.Евдокимова
6. Агибалов Дмитрий Юрьевич – клинический ординатор кафедры хирургии, анестезиологии и реаниматологии и эндоскопии ИПК ФМБА России

### Information about the authors

1. Panchenkov D. – MD, PhD, Professor of Surgery, Chief, Department of Surgery and Laboratory of Minimally Invasive Surgery, A.I.Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry
2. Leonov S. – MD, PhD, Associate Professor, Department of Surgery and Laboratory of Minimally Invasive Surgery, A.I. Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry
3. Ivanov Iu. – MD, PhD, Professor, Chief, Division of Surgery, Federal Research Clinical Centre of Specialized Medical Care and Medical Technologies FMBA of Russia
4. Stepanova Iu. – MD, PhD, Professor, Department of Radiology, I.M.Sechenov First Moscow State Medical University
5. Nechunaev A. – MD, PhD, Assistant Professor, Department of Surgery, A.I.Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry
6. Agibalov D. – MD, Resident, Department of Surgery, Anesthesiology and Endoscopy, Institute of Post Graduate Education FMBA of Russia