

© Коллектив авторов, 2022

УДК 616-092.9+616.36-089.87

Леонов С.Д.¹, Родин А.В.², Панченков Д.Н.³

Биоимпедансный анализ селезенки после обширной резекции печени в эксперименте

¹ФГБ «Научно-практический центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина» Федерального медико-биологического агентства, 121165, Москва, Россия, ул. Студенческая, д. 40;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Смоленский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 214019, Смоленск, ул. Крупской, 28

³Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова» Минздрава Российской Федерации, 127473, Москва, Россия, ул. Делегатская, д. 20, стр.1

Введение. Пострезекционная печеночная недостаточность является наиболее серьезным осложнением обширных резекций печени. Одним из направлений поиска диагностических и прогностических критериев тяжести печеночной недостаточности может стать исследование влияния обширной резекции печени на морфофункциональное состояние селезенки.

Цель исследования – оценка показателей полного электрического сопротивления селезенки в условиях обширной резекции печени.

Методика. Исследование выполнено на 20 белых крысах Вистар массой 180–230 г. Обширную резекцию печени (ОРП) моделировали путем удаления 70% органа. До операции, непосредственно сразу после ОРП, а также на 3-и и 14-е сут после нее выполняли инвазивную биоимпедансометрию печени и селезенки. Селезенка подвергалась гистологическому исследованию.

Результаты. Сразу после обширной резекции печени показатели электрического импеданса печени и селезенки статистически значимо уменьшались на частоте 2 кГц по сравнению с исходными значениями. На 3-и сут после оперативного вмешательства электрический импеданс паренхимы печени на частоте измерения 2 кГц достигал максимальных за весь период наблюдения значений, при этом импеданс паренхимы селезенки не увеличивался по сравнению с показателем до проведения обширной резекции печени. На 14-е сут наблюдения электрический импеданс паренхимы печени статистически значимо снижался относительно значений, полученных на 3-сут, и соответствовал показателям до обширной резекции печени. Импеданс селезенки был статистически значимо меньше значений до операции. По данным гистологического исследования на 14-е сут после операции наблюдались признаки малокровия красной пульпы и обеднения белой пульпы.

Заключение. В условиях изменения внутриорганный кровотока сразу после проведения обширной резекции печени регистрировалось снижение значений импеданса селезенки. На 14-е сут после операции наблюдалось снижение показателей импеданса селезенки на фоне малокровия красной пульпы и обеднения белой пульпы, по данным гистологического исследования.

Ключевые слова: обширная резекция печени; морфофункциональный анализ селезенки; инвазивная биоимпедансометрия

Для цитирования: Леонов С.Д., Родин А.В., Панченков Д.Н. Биоимпедансный анализ селезенки после обширной резекции печени в эксперименте. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия.* 2022; 66(4): 115-121.

DOI: 10.25557/0031-2991.2022.04.115-121

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Леонов С.Д., Панченков Д.Н.; сбор и обработка материала – Леонов С.Д., Родин А.В.; подготовка иллюстративного материала – Леонов С.Д., Родин А.В.; статистическая обработка материала – Леонов С.Д., Родин А.В.; написание текста – Леонов С.Д., Родин А.В.; редактирование – Панченков Д.Н., Леонов С.Д. Утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи – все соавторы.

Для корреспонденции: Леонов Сергей Дмитриевич, e-mail: leonov-serg@yandex.ru

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 11.04.2022

Принята к печати 27.10.2022

Оубликована 15.12.2022

Leonov S.D.¹, Rodin A.V.², Panchenkov D.N.³**Bioimpedance analysis of the spleen after experimental extended liver resection**¹Skobelkin Science and Practice Center for Laser Medicine of the Federal Biomedical Agency, Studencheskaya St. 40, Moscow, 121165, Russian Federation;²Smolensk State Medical University, Krupskoy St. 28, Smolensk, 214019, Russian Federation;³Evdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry, Delegatskaya St. 20, Bldg. 1, Moscow, 127473, Russian Federation

Background. Post-resection liver failure is considered the most serious complication of extended liver resections. One of possible directions in the search for diagnostic and prognostic criteria of liver failure severity is studying the effect of extended liver resection on morphology and function of the spleen.

Aim. To evaluate parameters of full electrical resistance of the spleen following extended liver resection.

Materials and methods. The study was performed on 20 Wistar rats weighing 180–230 g. Extended liver resection was modeled by removing 70% of the organ. Prior to the surgery, immediately after the surgery, and on postoperative days 3 and 14, invasive bioimpedancemetry of the liver and spleen was performed.

Results. Following extended liver resection, biophysical parameters of the liver and spleen parenchyma were characterized by a significant decrease in the impedance at a frequency of 2 kHz compared to normal background values obtained immediately after the removal of a part of the liver. On the 3rd day after surgery, the liver parenchyma impedance at a measurement frequency of 2 kHz reached a maximum for the entire observation period while the spleen parenchyma impedance did not increase compared to the respective values before extensive liver resection. On the 14th day of follow-up, the liver parenchyma impedance was significantly decreased compared to the values obtained on the 3rd day and corresponded to the preoperative values. The spleen impedance was significantly lower than the preoperative values. Histological study performed on the 14th postoperative day showed signs of depletion of the red and white pulp.

Conclusions. The decrease in the spleen impedance observed immediately after extended liver resection was associated with intensified parenchymal blood flow. The decrease in the spleen impedance observed on the 14th day was associated with depletion of the red and white pulp as shown by histological examination.

Keywords: extended liver resection; morpho-functional examination of the spleen; invasive bioimpedancemetry

For citation: Leonov S.D., Rodin A.V., Panchenkov D.N. Bioimpedance analysis of the spleen after experimental extended liver resection. *Patologicheskaya Fiziologiya i Eksperimental'naya terapiya. (Pathological Physiology and Experimental Therapy, Russian Journal)*. 2022; 66 (4): 115-121. (in Russian).

DOI: 10.25557/0031-2991.2022.04.115-121

Author's contribution: concept and design of the study – Leonov S.D., Panchenkov D.N.; collection and processing of material – Leonov S.D., Rodin A.V.; preparation of illustrative material – Leonov S.D., Rodin A.V.; statistics – Leonov S.D., Rodin A.V.; writing the text – Leonov S.D., Rodin A.V.; editing – Panchenkov D.N., Leonov S.D. Approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article – all authors.

For correspondence: Sergey D. Leonov, Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, «Federal State Budgetary Institution «Skobelkin Scientific and Practical Center for Laser Medicine FMBA»; 40 Studencheskaya Str., Moscow 121165, Russian Federation, e-mail: leonov-serg@yandex.ru

Financing. The study had no sponsorship.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Information about the authors:

Rodin A.V., <https://orcid.org/0000-0001-9046-7429>

Panchenkov D.N., <https://orcid.org/0000-0001-8539-4392>

Received 11.04.2022

Accepted 27.10.2022

Published 15.12.2022

Введение

Обширная резекция печени (ОРП) является «золотым стандартом» в лечении пациентов с первичными или метастатическими опухолями печени, однако ее выполнение сопровождается риском развития печеночной недостаточности. При этом пострезекционная печеночная недостаточность считается наиболее

серьезным осложнением обширных резекций печени, которое формирует основную долю летальных исходов после операции [1, 2], поэтому в хирургической гепатологии крайне важна клиническая оценка функциональной активности оставшейся после резекции части печени [3, 4].

Изучение патогенетических аспектов развития печеночной недостаточности после ОРП – важнейшая

задача, решение которой позволит разработать новые методы инструментальной диагностики пострезекционных осложнений и расширит критерии для прогноза исхода оперативного вмешательства. Одним из направлений поиска диагностических и прогностических критериев тяжести печеночной недостаточности может стать исследование влияния ОРП на морфофункциональное состояние селезенки. Причем, потенциально перспективным методом морфофункциональной оценки селезенки является измерение полного электрического сопротивления органа, или биоимпедансометрия (БИМ), которая показала высокую диагностическую ценность при различных патологических процессах [5–7].

В исследовании G. Petrovai и соавторы показано, что у пациентов после гепатэктомии через 1 мес после оперативного вмешательства наблюдалась гипертрофия селезенки, степень выраженности которой напрямую зависела от объема резекции. Чем больше объем резекции печени, тем более выражена гипертрофия селезенки [8]. Эти данные подтверждает работа N. Hai Nam и соавторов, которые наблюдали гипертрофию селезенки через 3 года после обширной резекции печени [9].

Показано, что увеличение объема селезенки после 6 мес химиотерапии у пациентов с метастазами колоректального рака является независимым предиктором основных послеоперационных осложнений после обширной резекцией печени [10]. Все эти данные подтверждают влияние обширной резекции печени на состояние селезенки.

Цель исследования – оценка показателя полного электрического сопротивления селезенки в условиях обширной резекции печени.

Методика

Исследование выполнено на 20 крысах Вистар массой 180–230 г. возрастом от 6 до 12 месяцев. Животных содержали в условиях, соответствующих нормативам ГОСТа «Содержание экспериментальных животных в питомниках НИИ». При выполнении экспериментов выполнялись требования национального руководства и руководства учреждения, где проводилась научно-исследовательская работа, по содержанию и использованию лабораторных животных, в соответствии с «Правилами проведения работ с использованием экспериментальных животных».

Обширную резекцию печени осуществляли под эфирным наркозом. Производили срединную лапаротомию, извлекали правую долю печени и проводили биоимпедансометрию (БИМ) печени, затем в рану

выводили селезенку и также измеряли электрический импеданс биполярными электродами с ограничителем. Далее выполняли резекцию печени для чего последовательно перевязывали срединную и левую боковую доли печени с последующим отсечением.

После ОРП повторно измеряли импеданс правой доли печени и селезенки. Достигали гемостаза и ушивали послеоперационную рану. На 3-и и 14-е сут после операции производили релапаротомию с последующей БИМ паренхимы печени и селезенки. Селезенку подвергали гистологическому исследованию.

Импедансометрию производили инвазивным методом с помощью оригинального устройства для измерения электрического импеданса биологических тканей ВІМ-II (патент РФ 2366360, патент РФ 2318435). В случае нашего исследования, выбор инвазивной технологии связан с перспективой именно интраоперационного применения данного метода в хирургической гепатологии. Также инвазивную биоимпедансометрию можно проводить параллельно с тонкоигольной биопсией печени и селезенки до и после проведения оперативного вмешательства. Electrodes вводили в ткань на всю толщину, так чтобы их активные части находились в паренхиме. Измерения осуществляли в 3 различных зонах на частотах 2 кГц и 20 кГц с последующим расчетом на каждой частоте средних значений импеданса. Также были рассчитаны коэффициенты дисперсии электрического импеданса (D), как отношение величины электрического импеданса, измеренного на низкой частоте (Zнч), к величине электрического импеданса, измеренного на высокой частоте (Zвч).

Для более наглядной иллюстрации изменений электрического импеданса паренхимы печени относительно показателей селезенки производили расчет печеночно-селезеночного индекса (ПСИ), который вычисляли, как отношение электрического импеданса паренхимы печени к электрическому импедансу паренхимы селезенки у одного и того же животного в соответствующий период наблюдения, в пределах одной частот. В настоящее время активно разрабатываются и внедряются в клиническую практику приборы, позволяющие неинвазивно определять, параметры электрического импеданса биологических тканей [11].

Статистический анализ полученных результатов проводили с помощью методов вариационной статистики, используя непараметрические критерии (критерии Манна-Уитни и Колмогорова-Смирнова). Для оценки статистической значимости использовалась общепринятая в медицине величина $p < 0,05$, при которой различия признавались значимыми.

Результаты и обсуждение

Электрический импеданс печени и селезенки представлен в **табл. 1**. Как видно из данных таблицы электрический импеданс селезенки перед ОРП статистически значимо не отличался от показателей интактной печени.

Сразу после обширной резекции печени исследуемый показатель в обоих органах статистически значимо уменьшался ($p < 0,05$) на частоте 2 кГц по сравнению с исходными значениями (**табл. 1**).

На 3-и сут после оперативного вмешательства электрический импеданс паренхимы печени на частоте измерения 2 кГц достигал максимальных значений за весь период наблюдения, при этом импеданс паренхимы селезенки не увеличивался по сравнению с показателем непосредственно после ОРП. Электрический импеданс паренхимы печени при этом был статистически значимо выше импеданса селезенки. Регистрация максимальных показателей электрического импеданса печени, вероятно, связана с развитием жировой дистрофии печени после ОРП [11].

На 14-е сут наблюдения электрический импеданс паренхимы печени статистически значимо снижался относительно значений на 3-и сут, и соответствовал показателям до ОРП. Импеданс селезенки был статистически значимо меньше значений до ОРП. На протяжении всего периода наблюдения показатели БИМ были максимально информативны на частоте 2 кГц (**табл. 1**).

При обширной резекции печени в процессе оперативного вмешательства производилось значительное удаление паренхимы, что возможно приводило к кратковременному изменению гемодинамики в бассейне чревного ствола в направлении усиления интенсивности кровотока. Этим можно объяснить уменьшение показателей электрического импеданса печени и селезенки в первые минуты после ОРП. При сравнении значений электрического импеданса печени и селезенки сразу после ОРП статистически значимых различий выявлено не было, что говорит об однотипных патофизиологических процессах в этих органах. Предположения об изменении гемодинамики косвенно подтверждает работа Mellert F. и соавт., где было экспериментально доказано снижение электрического импеданса при реперфузии ишемизированного органа [12]. А в работе Venugopal D. и соавт. четко показана зависимость электрического импеданса от артериального давления. Чем оно выше, тем ниже импеданс исследуемой ткани [13].

Показатели печеночно-селезеночного индекса в процессе наблюдения у экспериментальных животных на частоте 20 кГц находились в пределах единицы с небольшими статистически незначимыми отклонениями.

На частоте измерения электрического импеданса равной 2 кГц на 3-сут фиксировалось статистически значимое повышение медианы ПСИ до 1,32 связанное с увеличением абсолютных значений импеданса

Таблица 1/Table 1

Электрический импеданс паренхимы печени и селезенки у экспериментальных животных

Electrical impedance of liver parenchyma and spleen in experimental rats

Срок наблюдения / Observation period	n	Электрический импеданс, кОм, Ме (min; max) / Electrical impedance, kΩ, Me (min; max)			
		Печень / Liver		Селезенка / Spleen	
		2 кГц / 2 kHz	20 кГц / 20 kHz	2 кГц / 2 kHz	20 кГц / 20 kHz
До ОРП / Before ELR	14	2,48 (2,16; 3,30)	1,43 (1,13; 2,0)	2,42 (1,75; 2,82)	1,55 (1,29; 1,88)
Непосредственно после ОРП / Just after ELR	14	2,04* (1,22; 2,67)	1,36 (0,7; 1,78)	2,1* (1,79; 2,51)	1,42 (1,22; 1,78)
3-и сутки после ОРП / 3 days after ELR	12	2,88*^ (1,96; 3,84)	1,32 (1,21; 2,05)	2,12*^ (1,63; 2,61)	1,37 (1,1; 1,78)
14-е сутки после ОРП / 14 days after ELR	7	2,5 (1,81; 2,85)	1,3 (1,11; 1,76)	2,15* (1,94; 2,99)	1,41 (1,18; 1,78)

Примечание / Note. * – $p < 0,05$ по сравнению с показателями до ОРП в пределах одной частоты

* – $p < 0,05$ in comparison with indices before ELR on the same frequency

’ – $p < 0,05$ по сравнению с показателями непосредственно после ОРП в пределах одной частоты

’ – $p < 0,05$ in comparison with indices just after ELR on the same frequency

^ – $p < 0,05$ между показателями печени и селезенки в пределах одного срока наблюдения и частоты измерения

^ – $p < 0,05$ between impedance values of the liver and spleen on the same frequency and observation period

паренхимы печени крыс, относительно показателей полного электрического сопротивления ткани селезенки (табл. 2).

При анализе печеночного коэффициента дисперсии $D_{2\text{кГц}/20\text{кГц}}$ (табл. 3) наблюдалось статистически значимое его увеличение на 3-и сут эксперимента относительно показателей до резекции и непосредственно после резекции.

Величина коэффициента D зависит от строения и функционального состояния биологической ткани. Причем, чем он выше, тем интенсивнее обмен веществ в исследуемом органе [14]. По-видимому, повышение коэффициента дисперсии $D_{2\text{кГц}/20\text{кГц}}$ печени после ОРП на 3-и сут эксперимента связано с актив-

ным процессом ее внутриклеточной регенерации, что сопровождалось интенсивным обменом веществ и повышенной функциональной активностью гепатоцитов.

Коэффициент дисперсии $D_{2\text{кГц}/20\text{кГц}}$ селезенки статистически значимо не изменялся на всем протяжении эксперимента. Коэффициент дисперсии паренхимы печени при сравнении с показателями селезенки находился на более высоком уровне на 3-и сут наблюдения, что подтверждается общеизвестными данными о повышенной функциональной нагрузке печени по сравнению с селезенкой.

Морфологические изменения в селезенке были наиболее выражены на 14-е сут после ОРП. Во многих наблюдениях рисунок органа был стерт за счет обилия

Таблица 2/Table 2

Печеночно-селезеночный индекс электрического импеданса экспериментальных животных
Hepato-splenic electrical impedance index in experimental rats

Срок наблюдения / Observation period	n	Печеночно-селезеночный индекс, Ме (min; max) / Hepato-splenic electrical impedance index, Me (min; max)	
		2 кГц / 2 kHz	20 кГц / 20 kHz
До ОРП / Before ELR	15	1,02 (0,81; 1,28)	0,95 (0,65; 1,4)
Непосредственно после ОРП / Just after ELR	13	1,01 (0,82; 1,2)	0,92 (0,8; 1,33)
3-и сутки после ОРП / 3 days after ELR	12	1,32* (1,11; 1,58)	1,06 (0,69; 1,45)
14-е сутки после ОРП / 14 days after ELR	7	1,17 (0,73; 1,38)	0,91 (0,77; 1,25)

Примечание. * – $p < 0,05$ по сравнению с данными до ОРП, непосредственно после ОРП и на 14 сутки в пределах одной частоты.

Note. * – $p < 0,05$ in comparison with indices before ELR, just after ELR and on the 14 day after ELR on the same frequency.

Таблица 3/Table 3

Таблица 3. Коэффициент дисперсии электрического импеданса печени и селезенки экспериментальных животных
Table 3. Dispersion coefficient of the electrical impedance of the liver and spleen of experimental rats

Срок наблюдения / Observation period	n	Коэффициент дисперсии электрического импеданса, Ме (min; max) / Dispersion coefficient of the electrical impedance, Me (min; max)	
		Печень / Liver	Селезенка / Spleen
До ОРП / Before ELR	15	1,76 (1,42; 2,03)	1,52 (1,27; 1,89)
Непосредственно после ОРП / Just after ELR	13	1,5 (1,39; 1,81)	1,51 (1,13; 1,84)
3-и сутки после ОРП / 3 days after ELR	12	1,96* (1,58; 2,46)	1,54' (1,28; 1,78)
14 -е сутки после ОРП / 14 days after ELR	7	1,77 (1,62; 2,14)	1,54 (1,36; 1,82)

Примечание / Note. * – $p < 0,05$ по сравнению с показателями до и после ОРП в пределах одной частоты.

* – $p < 0,05$ in comparison with indices before and after ELR on the same frequency.

' – $p < 0,05$ между показателями печени и селезенки в пределах одного срока наблюдения.

' – $p < 0,05$ between impedance values of the liver and spleen on the same frequency and observation period.

гемопозитических клеток, минимизации фракции эритроцитов в красной пульпе и скудности элементов белой пульпы. Синусы красной пульпы в основном были заполнены крупными макрофагами и клетками гранулоцитарного ряда. Эритроцитов, лимфоцитов и плазмочитов наблюдалось относительно мало.

В ряде наблюдений красная пульпа состояла из синусоидных капилляров с небольшим количеством эритроцитов и селезеночных тяжей (тяжей Бильбота) содержащих преимущественно макрофаги, лимфоциты, плазмочиты.

Белая пульпа в большинстве случаев была представлена единичными мелкими лимфоидными узелками, в которых практически отсутствовали светлые центры и были слабо выражены периартериальная, мантийная и маргинальные зоны. Периартериальные лимфатические влагаллища содержали небольшое количество лимфоцитов. В ряде наблюдений белая пульпа была относительно сохранна с часто расположенными лимфатическими узелками. В синусах и пульпарных тяжях красной пульпы преобладали макрофаги. Обращало на себя внимание заметное количество крупных многоядерных клеток типа мегакариоцитов и наличие синусового гистиоцитоза.

Заключение

В условиях моделирования экспериментальной обширной резекции печени показатели электрического импеданса селезенки были максимально информативны на частоте 2 кГц. Величина показателей биоимпедансометрии селезенки зависела от морфологической структуры и функции органа. В условиях изменения внутриорганного кровотока, что происходит сразу после проведения обширной резекции печени, регистрировалось снижение значений импеданса. На 14-е сут после операции сохранялись пониженные показатели импеданса на фоне малокровия красной пульпы и обеднения белой пульпы, по данным гистологического исследования. Инвазивный интраоперационный биоимпедансный анализ может найти свое дальнейшее применение при открытых и лапароскопических вмешательствах на печени, так как при этом можно обеспечить надежный гемостаз. Не стоит исключать и возможность применения инвазивной биоимпедансометрии в ходе тонкоигольной пункционной биопсии печени и селезенки.

Исследование электрического импеданса печени и селезенки в условии обширной резекции печени в перспективе может позволить разработать дополнительные прогностические критерии тяжести постре-

зекционной печеночной недостаточности и оценки функционального резерва печени.

Литература

1. Чжао А.В., Ботиралиев А.Ш., Степанова Ю.А., Вишневецкий В.А. Билиарные осложнения резекций печени (причины, факторы риска, профилактика, вопросы тактики). *Высокотехнологическая медицина*. 2021; 8(3): 14-24.
3. Мирасова Г.Х., Салимгареев И.З., Логинов М.О., Грицаенко А.И., Нартайлаков М.А. Методы профилактики печеночной недостаточности после обширных резекций печени. *Креативная хирургия и онкология*. 2021; 11(1): 10-4.
5. Панченков Д.Н., Леонов С.Д., Родин А.В. Биоимпедансный анализ в медицине. *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2014; 58(2): 80-6.
6. Бухниев Ю.Ю., Леонов С.Д., Борсуков А.В., Баженов С.М., Баранов А.В. Оценка импеданса паренхимы почки при почечной недостаточности в эксперименте. *Нефрология*. 2011; 15(1): 54-57.
7. Готье С.В., Луцевич О.Э., Мойсюк Я.Г., Галлямов Э.А., Панченков Д.Н., Ефимкин А.С., Баранов А.В. Лапароскопическая мануально-ассистированная донорская нефрэктомия. Первый российский опыт. *Вестник трансплантологии и искусственных органов*. 2010; 12(1): 56-60.
11. Панченков Д.Н., Леонов С.Д., Алиханов Р.Б., Забозлаев Ф.Г., Иванов Ю.В., Агибалов Д.Ю. и др. Биоимпедансный анализ паренхимы печени при ее обширной резекции в эксперименте. *Анналы хирургической гепатологии*. 2014; 19(1): 55-9.
13. Тарусов Б.Н., Кольс О.Р. *Биофизика: учебное пособие*. М.; Высшая школа; 1968.

References

1. Chzhao A.V., Botiraliyev A.Sh., Stepanova Yu.A., Vishnevskiy V.A. Biliary complications of liver resections (causes, risk factors, prevention). *Vysokotekhnologicheskaya meditsina*. 2021; 8(3): 14-24. (in Russian)
2. Asahi Y., Kamiyama T., Kakisaka T., Orimo T., Shimada S., Nagatsu A. et al. Outcomes of reduction hepatectomy combined with post-operative multidisciplinary therapy for advanced hepatocellular carcinoma. *World J. Gastrointest. Surg*. 2021; 13(10): 1245-57.
3. Mirasova G.Kh., Salimgareev I.Z., Loginov M.O., Gritsaenko A.I., Nartaylakov M.A. Prevention of Liver Failure in Extended Hepatic Resection. *Kreativnaya khirurgiya i onkologiya*. 2021; 11(1): 10-4. (in Russian)
4. Liu Y., Chen Z.L., Yu X.X., Liang Y.J. Risk factors for hepatic insufficiency after major hepatectomy in non-cirrhotic patients. *Asian J. Surg*. 2021; 44(10): 1324-5.
5. Panchenkov D.N., Leonov S.D., Rodin A.V. Bioimpedance analysis in medicine. *Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya*. 2014; 58(2): 80-6. (in Russian)
6. Bukhniev Yu.Yu., Leonov S.D., Borsukov A.V., Bazhenov S.M., Baranov A.V. Estimation of an impedance of a kidney parenchyma at renal insufficiency in experiment. *Nefrologiya*. 2011; 15(1): 54-57. (in Russian)
7. Gautier S.V.1, Lutsevich O.E.2, Moysyuk Y.G.1, Gallyamov E.A.2, Panchenkov D.N.2, Efimkin A.S.1, Baranov A.V. Hand-assisted laparoscopic donor nephrectomy. The first Russian experience.

- Vestnik transplantologii i iskusstvennykh organov.* 2010; 12(1): 56-60. (in Russian)
8. Petrovai G., Truant S., Langlois C., Bouras A.F., Lemaire S., Buob D. et al. Mechanisms of splenic hypertrophy following hepatic resection. *HPB (Oxford)*. 2013; 15(12): 919-27.
 9. Hai Nam N., Taura K., Kimura Y., Uemoto Y., Yoshino K., Fukumitsu K. et al. Extent of liver resection is associated with incomplete liver restoration and splenomegaly a long period after liver resection. *Surgery*. 2020; 168(1): 40-8.
 10. Simpson A.L., Leal J.N., Pugalenti A., Allen P.J., DeMatteo R.P., Fong Y. et al. Chemotherapy-induced splenic volume increase is independently associated with major complications after hepatic resection for metastatic colorectal cancer. *J. Am. Coll. Surg.* 2015; 220(3): 271-80.
 11. Panchenkov D.N., Leonov S.D., Alikhanov R.B., Zabozaev F.G., Ivanov Yu.V., Agibalov D.Yu. et al. Bio-Impedance Analysis of Liver Parenchyma after Major Liver Resection in Experimental Setting. *Annaly khirurgicheskoy gepatologii*. 2014; 19(1): 55-9. (in Russian)
 12. Mellert F., Winkler K., Schneider C., Dudykevych T., Welz A., Osypka M. et al. Detection of (reversible) myocardial ischemic injury by means of electrical bioimpedance. *IEEE Trans. Biomed. Eng.* 2011; 58(6): 1511-8.
 13. Venugopal D., Patterson R., Jhanjee R., McKnite S., Lurie K.G., Belalcazar A. et al. Subcutaneous bioimpedance recording: assessment of a method for hemodynamic monitoring by implanted devices. *J. Cardiovasc. Electrophysiol.* 2009; 20(1): 76-81.
 14. Tarusov B.N., Kols O.R. *Biophysics: textbook*. [Биофизика: учебное пособие]. Moscow; Vysshaya shkola; 1968. (in Russian)

Сведения об авторах:

Леонов Сергей Дмитриевич, канд. мед. наук, ст. науч. сотр. ФГБУ «НПЦ лазерной медицины им. О.К. Скобелкина» ФМБА России, e-mail: leonov-serg@yandex.ru;

Родин Антон Викторович, канд. мед. наук, доцент, каф. общей хирургии с курсом хирургии ФДПО, зав. Молодежным научно-исследовательским центром ФГБОУ ВО СГМУ Минздрава России;

Панченко Дмитрий Николаевич, доктор мед. наук, проф., зав. каф. хирургии и хирургических технологий ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова Минздрава России.