

УДК 616-092.9+616.36-089.87

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma108597>

ОЦЕНКА БИОФИЗИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ БОЛЬШОГО САЛЬНИКА ПОСЛЕ ОБШИРНОЙ РЕЗЕКЦИИ ПЕЧЕНИ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

С.Д. Леонов¹, Д.Н. Панченков², А.В. Родин³¹ Государственный научный центр лазерной медицины имени О.К. Скобелкина, Москва, Россия² Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Москва, Россия³ Смоленский государственный медицинский университет, Смоленск, Россия

Резюме. Оценены параметры биоимпедансометрии большого сальника после выполнения обширной резекции печени в эксперименте. Исследование выполнено на 20 крысах линии Вистар, которым под наркозом производили срединную лапаротомию, затем резекцию печени с удалением 70% органа. Инвазивную биоимпедансометрию печени и большого сальника проводили до и сразу после обширной резекции печени, на 3-и и 14-е сутки после операции с помощью оригинального устройства для измерения электрического импеданса биологических тканей BIM-II на частотах 2 и 20 кГц с расчетом средних значений импеданса на каждой частоте и зоне измерения. Ткань печени подвергали гистологическому исследованию. Минимальные значения импеданса большого сальника были зафиксированы на 3-и сутки после обширной резекции печени. К 14-м суткам в обеих зонах большого сальника электрический импеданс возрастал относительно 3-х суток послеоперационного периода и статистически значимо не отличался от показателей до обширной резекции печени. Сразу после обширной резекции печени показатель ее биоимпедансометрии у всех животных статистически значимо уменьшился на частоте 2 кГц. На 3-и сутки после оперативного вмешательства электрический импеданс паренхимы печени на частоте 2 кГц статистически значимо увеличился. На 14-е сутки электрический импеданс паренхимы печени не отличался от показателей до обширной резекции на частотах 2 и 20 кГц. Между показателями электрического импеданса большого сальника и паренхимы печени обнаружена сильная статистически значимая корреляционная взаимосвязь. На частоте 2 кГц коэффициент корреляции паренхимы печени и проксимальной части большого сальника составил 0,82, а с дистальной — 0,87 ($p < 0,05$). Также сильная корреляционная связь выявлена на частоте 20 кГц, при этом $r = 0,93$ и $0,74$ соответственно в обеих частях сальника. Таким образом, электрический импеданс паренхимы печени к 3-м суткам эксперимента увеличивался по сравнению со значениями до обширной резекции печени, а большого сальника, наоборот, уменьшался. Полагаем, что исследование динамики электрического импеданса большого сальника после обширной резекции печени является перспективным в разработке диагностических критериев тяжести печеночной недостаточности.

Ключевые слова: обширная резекция печени; паренхима печени; большой сальник; эксперимент; крысы линии Вистар; биоимпедансометрия; печеночная недостаточность.

Как цитировать:

Леонов С.Д., Панченков Д.Н., Родин А.В. Оценка биофизических параметров большого сальника после обширной резекции печени в эксперименте // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2022. Т. 24, № 3. С. 505–510. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma108597>

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma108597>

BIOPHYSICAL PARAMETERS OF THE GREATER OMENTUM AFTER EXPERIMENTAL EXTENDED LIVER RESECTION

S.D. Leonov¹, D.N. Panchenkov², A.V. Rodin³

¹ O.K. Skobelkin State Scientific Center of Laser Medicine, Moscow, Russia

² Moscow State Medical and Dental University named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russia

³ Smolensk State Medical University, Smolensk, Russia

ABSTRACT. Bioimpedance parameters of the large omentum after performing extensive liver resection in an experiment were evaluated. The study was performed on 20 Wistar rats that underwent median laparotomy under anesthesia, followed by liver resection with the removal of 70% of the organ. Invasive bioimpedance measurement of the liver and large omentum was performed before and immediately after extensive liver resection on days 3 and 14 after surgery using an original device for measuring the electrical impedance of biological tissues "BIM-II" at frequencies of 2 and 20 kHz with the calculation of the average impedance values at each frequency and measurement zone. Liver tissue was subjected to histological examination. The minimum values of the impedance of the large omentum were recorded on day 3 after extensive liver resection. By day 14, in both zones of the large omentum, the electrical impedance increased relative to day 3 of the postoperative period and did not differ significantly from the indicators before extensive liver resection. Immediately after extensive liver resection, the bioimpedance index in all animals decreased significantly at a frequency of 2 kHz. On day 3 after surgery, the electrical impedance of the liver parenchyma at a frequency of 2 kHz increased significantly. On day 14, the electrical impedance of the liver parenchyma did not differ from the indicators before extensive resection at frequencies of 2 and 20 kHz. A strong significant correlation was found between the electrical impedance of the large omentum and liver parenchyma. At a frequency of 2 kHz, the correlation coefficient of the liver parenchyma and the proximal part of the large omentum was 0.82 and that of the distal part was 0.87 ($p < 0.05$). A strong correlation was detected at a frequency of 20 kHz, with $r = 0.93$ and 0.74 , respectively, in both parts of the gland. Thus, the electrical impedance of the liver parenchyma by day 3 of the experiment increased compared with values before extensive liver resection, whereas the large omentum decreased. We believe that studying the dynamics of the electrical impedance of the large omentum after extensive liver resection is promising in the development of diagnostic criteria for the severity of liver failure.

Keywords: extensive liver resection; liver parenchyma; large omentum; experiment; Wistar rats; bioimpedancemetry; liver failure.

To cite this article:

Leonov SD, Panchenkov DN, Rodin AV. Biophysical parameters of the greater omentum after experimental extended liver resection. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2022;24(3):505–510. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma108597>

ВВЕДЕНИЕ

Обширная резекция печени (ОРП) является «золотым стандартом» оперативного лечения пациентов, страдающих первичными или метастатическими опухолями печени. Однако выполнение ОРП чревато риском развития постгепатэктомической печеночной недостаточности. Данное состояние считается одним из наиболее грозных осложнений операций на печени, формирующим значительную долю в структуре летальных исходов после ОРП [1, 2]. ОРП является травматичной операцией, которая ведет к существенным морфофункциональным перестройкам в органах желудочно-кишечного тракта после вмешательства. При этом значительную роль в развитии воспалительно-репаративных процессов в брюшной полости после выполнения ОРП играет большой сальник [3, 4].

Интерес исследователей к анатомо-физиологическим свойствам большого сальника на протяжении всей истории хирургии неслучаен. Активное участие в защитных реакциях брюшной полости, с одной стороны, решающая роль в развитии продолженного воспаления и спайкообразования в послеоперационном периоде — с другой, а также уникальные пластические свойства, позволяющие широко использовать большой сальник в реконструктивных операциях, обусловили постоянное повышенное внимание исследователей к этому органу [5]. Роль большого сальника как защитного органа общеизвестна: он ограничивает воспалительные очаги, фиксируясь к ним фибрином [6]. Еще в 1906 г. R. Morrison [7] образно назвал большой сальник «полицейским брюшной полости», подчеркивая его активное перемещение в брюшной полости к патологическому очагу.

При острых воспалительно-деструктивных процессах в брюшной полости наблюдается значительное изменение биофизических показателей большого сальника, отражающих выраженность данных процессов [8].

Исходя из анализа литературных данных, исследование показателей электрического импеданса большого сальника в ближайшем послеоперационном периоде после ОРП не проводилось. Принимая во внимание постоянный поиск диагностических решений в оценке прогноза тяжести протекания послеоперационного периода у пациентов с ОРП, биоимпедансометрия (БИМ) большого сальника заслуживает отдельного исследования, так как показала высокую диагностическую ценность при различных патологических процессах [9].

Цель исследования — оценить параметры биоимпедансометрии большого сальника после выполнения обширной резекции печени в эксперименте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено на 20 крысах линии Вистар массой 180–230 г возрастом от 6 до 12 месяцев. Животных содержали в условиях, соответствующих нормативам

ГОСТ 33215-2014 «Межгосударственный стандарт. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур»¹. При выполнении экспериментов выполнялись требования Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях².

Под эфирным наркозом производили срединную лапаротомию, выполняли резекцию печени с удалением 70% органа, для чего выбирали одну из долей печени, пережимали ее пинцетом для биполярной коагуляции. Проводили коагуляцию органа, затем отсекали соответствующую долю печени ножницами по линии коагуляции, при этом достигался надежный гемостаз и кровотечения не наблюдалось. Повторяли данную манипуляцию с оставшимися долями печени, пока не оставалось около 30% от массы органа.

До и после ОРП извлекали печень и большой сальник в лапаротомную рану и проводили биоимпедансометрию, используя биполярные игольчатые электроды с ограничителем, которые вводили так, чтобы их активные части находились в тканях исследуемого органа. Измерение производили в трех точках в проксимальной части большого сальника, ближе к желудку и в дистальной части на частотах 2 и 20 кГц. Затем рассчитывали среднее значение импеданса на каждой частоте и зоне измерения.

На 3-и и 14-е сутки после ОРП производили релапаротомию и повторно измеряли электрический импеданс печени и большого сальника. Животных выводили из эксперимента на 3-и и 14-е сутки послеоперационного периода. Биоимпедансометрию производили инвазивным методом с помощью оригинального устройства для измерения электрического импеданса биологических тканей BIM-II (патент РФ на изобретение № 2366360) [10].

Статистический анализ полученных результатов проводили, используя непараметрические критерии (Манна — Уитни и Колмогорова — Смирнова). Выборки были представлены в виде медианы с указанием минимального и максимального значения показателя. Корреляционные связи оценивались методом Спирмена. Для определения статистической значимости использовалась величина $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведения БИМ большого сальника до проведения обширной резекции печени в проксимальной части импеданс на 2 кГц был равен 2,44 кОм, а на

¹ ГОСТ 33215-2014. Межгосударственный стандарт. Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур. М.: Стандартиформ. 2019. 12 с.

² Европейская конвенция о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях. Страсбург, 1986. 13 с.

20 кГц — 1,39 кОм (табл. 1). В дистальной части большого сальника показатели полного электрического сопротивления были статистически значимо выше, чем в проксимальной, и составили на 2 кГц — 3,14 кОм, а на 20 кГц — 1,94 кОм. Вероятно, меньшие значения импеданса проксимальной части сальника относительно дистальной связаны с разницей интенсивности кровотока. В проксимальной части он, по-видимому, более высокий, чем в дистальной. После ОРП в проксимальной и дистальной частях большого сальника показатели импеданса между собой статистически не изменялись. Причем такая тенденция наблюдалась на двух исследуемых частотах.

Минимальные значения импеданса большого сальника были зафиксированы на 3-и сутки после ОРП. В проксимальной части сальника на частотах 2 и 20 кГц показатели соответственно равнялись 1,22 и 0,81 кОм, а в дистальной — 1,52 и 1,14 кОм. Снижение показателей электрического импеданса большого сальника после ОРП, возможно, связано с усилением кровотока, так как на 3-и сутки послеоперационного периода активно идет воспалительно-регенеративный процесс в брюшной полости. При релапаротомии у исследуемых животных

наблюдалась адгезия большого сальника в зоне лапаротомной раны и культи удаленной печени.

К 14-м суткам в обеих зонах большого сальника электрический импеданс возрастал относительно 3-х суток послеоперационного периода и статистически значимо не отличался от показателей до ОРП. Увеличение значений полного электрического сопротивления сопровождалось снижением интенсивности воспалительного процесса в брюшной полости.

При наличии острого воспалительного процесса, септического очага, в брюшной полости большой сальник стремится отграничить патологическую зону от остальных органов в брюшной полости. Следовательно, все это ведет к увеличению кровенаполнения сальника, выходу плазмы из сосудистого русла в межклеточное пространство. Это, в свою очередь, приводит к изменению полного электрического сопротивления большого сальника в сторону его уменьшения [8].

Электрический импеданс печени до ОРП (табл. 2) был равен на частоте 2 кГц — 2,48 (2,16; 3,3) кОм и на частоте 20 кГц — 1,43 (1,13; 2) кОм. Сразу после обширной резекции печени показатель БИМ печени у всех животных

Таблица 1. Электрический импеданс большого сальника у экспериментальных животных

Table 1. Electrical impedance of the greater omentum in experimental rats

Срок наблюдения	n	Электрический импеданс, кОм; Me (min; max)			
		проксимальная часть		дистальная часть	
		2 кГц	20 кГц	2 кГц	20 кГц
До ОРП	14	2,44 [^] (1,78; 2,83)	1,39 [^] (1,13; 2,2)	3,14 (2,08; 5,66)	1,94 (1,21; 2,78)
Непосредственно после ОРП	14	1,8* [^] (1,42; 2,98)	1,01* [^] (0,93; 1,67)	2,66 (2,14; 2,98)	1,78 (0,7; 2,03)
3-и сутки после ОРП	12	1,22*# (0,9; 1,8)	0,81*# (0,55; 1,16)	1,52*# (1,08; 1,88)	1,14*# (0,67; 1,41)
14-е сутки после ОРП	7	1,52 (0,89; 2,03)	1,04 (0,61; 1,27)	2,08* (1,38; 2,58)	1,64 (0,91; 2,04)

Примечание: * — различия по сравнению с данными до ОРП в пределах одной частоты; # — по сравнению с показателями непосредственно после ОРП в пределах одной частоты; [^] — по сравнению с показателями дистальной части большого сальника в пределах одной частоты и срока наблюдения, $p < 0,05$.

Таблица 2. Электрический импеданс паренхимы печени у экспериментальных животных

Table 2. Electrical impedance of the liver parenchyma in experimental rats

Срок наблюдения	n	Электрический импеданс, кОм					
		2 кГц			20 кГц		
		Me	min	max	Me	min	max
До ОРП	14	2,48	2,16	3,3	1,43	1,13	2
Непосредственно после ОРП	14	2,04#**	1,22	2,67	1,36	0,7	1,78
3-и сутки после ОРП	12	2,88*#	1,96	3,84	1,32	1,21	2,05
14-е сутки после ОРП	7	2,5	1,81	2,85	1,3	1,11	1,76

Примечание: * — различия по сравнению с данными до и после ОРП в пределах одной частоты; # — по сравнению с показателями на 14-е сутки в пределах одной частоты; ** — по сравнению с показателями до ОРП в пределах одной частоты, $p < 0,05$.

статистически значимо ($p < 0,05$) уменьшился на частоте 2 кГц и его медиана составила 2,04 (1,22; 2,67) кОм. На 3-и сутки после оперативного вмешательства электрический импеданс паренхимы печени статистически значимо ($p < 0,05$) увеличился до 2,88 (1,96; 3,84) кОм на частоте регистрации 2 кГц. На 14-е сутки электрический импеданс паренхимы печени не отличался от показателей до обширной резекции и составил на частоте 2 кГц — 2,5 (1,81; 2,85) кОм и на частоте 20 кГц — 1,3 (1,11; 1,76) кОм.

Установлено, что 3-и сутки послеоперационного периода стали критическими, как для изменения показателей импеданса паренхимы печени, где зафиксированы максимальные значения, так и для большого сальника, электрический импеданс которого был в этот период минимальным.

Между показателями электрического импеданса большого сальника и паренхимы печени выявлена сильная статистически значимая корреляционная взаимосвязь. На частоте 2 кГц коэффициент корреляции паренхимы печени и проксимальной части большого сальника составил 0,82, а с дистальной — 0,87 ($p < 0,05$). Также сильная корреляционная связь была зафиксирована на частоте 20 кГц, при этом $r = 0,93$ и $r = 0,74$ соответственно в обеих частях сальника.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлено, что у животных до оперативного вмешательства электрический импеданс дистальной части большого сальника был статистически значимо выше, чем проксимальной. После ОРП показатели импеданса обеих зон уменьшались к 3-м суткам послеоперационного периода, а статистически значимые различия между проксимальной и дистальными частями не определялись. К 14-м суткам наблюдалась тенденция к восстановлению биофизических показателей большого сальника до ОРП. Заметим, что электрический импеданс паренхимы печени к 3-м суткам эксперимента увеличивался по сравнению со значениями до ОРП, а большого сальника, наоборот, уменьшался. При этом фиксировалась сильная корреляционная связь между показателями импеданса печени и большого сальника.

Таким образом, исследование динамики электрического импеданса большого сальника после ОРП является перспективным в разработке диагностических критериев тяжести печеночной недостаточности и более глубокого понимания патофизиологических процессов, происходящих в брюшной полости после резекции печени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Del Basso C., Gaillard M., Lainas P., et al. Current strategies to induce liver remnant hypertrophy before major liver resection // *World J Hepatol*. 2021. Vol. 13, No. 11. P. 1629–1641. DOI: 10.4254/wjh.v13.i11.1629
2. 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. Vol. 44, No. 10. P. 1324–1325. DOI: 10.1016/j.asjsur.2021.06.046
3. Paquet J.C., Dziri C., Hay J.M., et al. Prevention of deep abdominal complications with omentoplasty on the raw surface after hepatic resection. The French Associations for Surgical Research // *Am J Surg*. 2000. Vol. 179, No. 2. P. 103–109. DOI: 10.1016/s0002-9610(00)00277-4
4. Aono T., Sakaguchi T., Fujita N., et al. Omental delivery of prostaglandin E1 effectively increases portal venous blood flow in 66%-hepatectomized rats // *Surg Today*. 1997. Vol. 27, No. 5. P. 473–476. DOI: 10.1007/BF02385718
5. Некрутов А.В., Карасева О.В., Рошаль Л.М. Большой сальник: морфофункциональные особенности и клиническое значение в педиатрии // *Вопросы современной педиатрии*. 2007. Т. 6, № 6. С. 58–63.
6. Хохлов А.В., Зубарев П.Н., Онницев И.Е. Синдром фиксированного сальника // *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2000. Т. 159, № 2. С. 71–73.
7. Morrison R. Remarks on some function of the omentum // *Br Med J*. 1906. Vol. 1, No. 2350. P. 76–78. DOI: 10.1136/bmj.1.2350.76
8. Патент РФ на изобретение № 2436505/20.12.2011. Бюл. № 35. Леонов С.Д., Родин А.В. Способ диагностики острого воспалительно-деструктивного процесса в брюшной полости в эксперименте. 6 с.
9. Панченков Д.Н., Леонов С.Д., Родин А.В. Биоимпедансный анализ в медицине // *Патологическая физиология и экспериментальная терапия*. 2014. Т. 58, № 2. С. 80–86.
10. Патент РФ на изобретение № 2366360/10.09.2009. Бюл. № 25. Образцов С.А., Леонов С.Д., Троицкий Ю.В., Федоров Г.Н. Устройство для измерения импеданса биологических тканей. 8 с.

REFERENCES

1. Del Basso C, Gaillard M, Lainas P, et al. Current strategies to induce liver remnant hypertrophy before major liver resection. *World J Hepatol.* 2021;13(11):1629–1641. DOI: 10.4254/wjh.v13.i11.1629
2. 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):1324–1325. DOI: 10.1016/j.asjsur.2021.06.046
3. Paquet JC, Dziri C, Hay JM, et al. Prevention of deep abdominal complications with omentoplasty on the raw surface after hepatic resection. The French Associations for Surgical Research. *Am J Surg.* 2000;179(2):103–109. DOI: 10.1016/s0002-9610(00)00277-4
4. Aono T, Sakaguchi T, Fujita N, et al. Omental delivery of prostaglandin E1 effectively increases portal venous blood flow in 66%-hepatectomized rats. *Surg Today.* 1997;27(5):473–476. DOI: 10.1007/BF02385718
5. Nekrutov AV, Karaseva OV, Roshal' LM. Greater omentum: morphofunctional characteristics and clinical significance in pediatrics. *Current Pediatrics.* 2007;6(6):58–63. (In Russ.).
6. Khokhlov AV, Zubarev PN, Onnitsev IE. Sindrom fiksirovannogo sal'nika. *Grekov's Bulletin of Surgery.* 2000;159(2):71–73. (In Russ.).
7. Morrison R. Remarks on some function of the omentum. *Br Med J.* 1906;1(2350):76–78. DOI: 10.1136/bmj.1.2350.76
8. Patent RUS № 2436505/20.12.2011. Byul. № 35. Leonov SD, Rodin AV. *Sposob diagnostiki ostrogo vospalitel'no-destruktivnogo protsessa v bryushnoi polosti v ehksperimente.* 6 p. (In Russ.).
9. Panchenkov DN, Leonov SD, Rodin AV. Bioimpedance analysis in medicine. *Patologicheskaya fiziologiya i ehksperimental'naya terapiya.* 2014;58(2):80–86. (In Russ.).
10. Patent RUS 2366360/10.09.2009. Byul. № 25. Obratsov SA, Leonov SD, Troitskii YuV, Fedorov GN. *Ustroystvo dlya izmereniya impedansa biologicheskikh tkanei.* 8 p. (In Russ.).

ОБ АВТОРАХ

***Сергей Дмитриевич Леонов**, кандидат медицинских наук; e-mail: leonov-serg@yandex.ru

Дмитрий Николаевич Панченков, доктор медицинских наук, профессор; e-mail: leonov-serg@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8539-4392; eLibrary SPIN: 4316-4651

Антон Викторович Родин, кандидат медицинских наук, доцент; e-mail: doc82@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-9046-7429; eLibrary SPIN: 3946-3240

AUTHORS INFO

***Sergei D. Leonov**, candidate of medical sciences; e-mail: leonov-serg@yandex.ru

Dmitrii N. Panchenkov, doctor of medical sciences, professor; e-mail: leonov-serg@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-8539-4392; eLibrary SPIN: 4316-4651

Anton V. Rodin, candidate of medical sciences, associate professor; e-mail: doc82@yandex.ru; ORCID: 0000-0001-9046-7429; eLibrary SPIN: 3946-3240

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author