

Оценка электрического импеданса печени и селезенки в условиях окклюзии печеночного кровотока

©С.Д. ЛЕОНОВ¹, Д.Н. ПАНЧЕНКОВ², В.М. БАРАНОВ³, А.В. РОДИН⁴, О.В. ХАЛЕПО⁴, Р.Д. МУСТАФАЕВ¹

¹Государственный научный центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России, Москва, Российская Федерация

²Российский университет медицины, Москва, Российская Федерация

³Институт медико-биологических проблем РАН, Москва, Российская Федерация

⁴Смоленский государственный медицинский университет, Смоленск, Российская Федерация

Обоснование. Резекции печени остаются основным методом лечения первичных и метастатических опухолей печени, и обеспечивают лучшую общую и безрецидивную 5-летнюю выживаемость, по сравнению с консервативными методами. Выполнение обширной резекции печени сопровождается риском возникновения пострезекционной печеночной недостаточности, идеального алгоритма определения прогноза которой на данный момент не существует. Одним из путей поиска новых подходов к оценке прогноза и диагностике пострезекционной печеночной недостаточности является биоимпедансный анализ печени.

Цель. Оценка влияния окклюзии печеночного кровотока на изменение показателей электрического импеданса печени и селезенки.

Методы. Исследование проведено на 20 крысах линии Вистар мужского пола массой 180-270 г. В первой серии экспериментальным животным выполняли окклюзию печеночного кровотока в течение 15 минут, а затем проводили реперфузию ($n=10$); во второй – окклюзию печеночного кровотока осуществляли в течение 90 минут ($n=10$). Под наркозом производили срединную лапаротомию, накладывали сосудистую клипсу на аналог печеночно-двенадцатиперстной связки, с последующим пережатием желчного протока, печеночной артерии и воротной вены в течение 15 минут в первой серии эксперимента, и 90 минут - во второй серии. Инвазивную биоимпедансометрию печени производили с помощью оригинального устройства для измерения импеданса биологических тканей БИМ-II (патент РФ №2366360). В ходе анализа полученных данных на частоте 2 кГц рассчитывали печеночно-селезеночный индекс (ПСИ), как отношение среднего электрического импеданса печени к среднему электрическому импедансу селезенки.

Результаты. 1-я серия экспериментов. После наложения клипсы на аналог печеночно-двенадцатиперстной связки значение электрического импеданса паренхимы печени на частоте 2 кГц не изменилось и составило 2,3 (2,11; 3,1) кОм, против 2,34 (2,05; 2,81) кОм до манипуляции. Медиана импеданса селезенки статистически значимо снижалась с 2,7 (2,07; 3,5) кОм, до 1,63 (1,47; 2,04) кОм ($p<0,05$). Спустя 15 минут окклюзии печеночного кровотока электрический импеданс паренхимы печени статистически значимо увеличивался в 1,47 раза и составил 3,98 (2,64; 4,59) кОм. Значение медианы импеданса селезенки равнялось 1,86 (1,52; 2,23) кОм и было статистически значимо ниже ($p<0,05$), чем до установки клипсы. После реперфузии импеданс печени снижался до 3,11 (2,06; 5,11) кОм, а селезенки - был равен 2,08 (1,53; 2,55) кОм, при этом оба параметра статистически значимо отличались от исходных значений. Коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц печени статистически значимо увеличивался до 2,10 (1,67; 2,58) через 15 минут после наложения клипсы, относительно показателей до васкулярной эксклюзии – 1,71 (1,44; 2,08), и непосредственно после пережатия аналога печеночно-двенадцатиперстной связки – 1,60 (1,46; 2,11). После реперфузии коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц паренхимы печени не отличался от исходных значений и составил 1,79 (1,52; 2,29). Коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц селезенки значимо снижался сразу после окклюзии печеночного кровотока с 1,54 (1,28; 1,71) до 1,36 (1,20; 1,62), и находился на соответствующем уровне, в том числе, и после реперфузии. Через 15 минут после наложения клипсы коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц селезенки был статистически значимо меньше значений D2кГц/20кГц печени ($p<0,05$) – 1,42 (1,19; 1,6), против 2,1 (1,67; 2,58). До проведения васкулярной эксклюзии печени медиана ПСИ составила 0,89 (0,72; 1,11). После наложения клипсы показатель ПСИ статистически значимо увеличился до 1,43 (1,28; 1,95), за счет снижения электрического импеданса в паренхиме селезенки. Спустя 15 минут ишемии ПСИ статистически значимо повышался до 2,01 (1,26; 2,68), а после реперфузии оставался на уровне выше исходного.

2-я серия экспериментов. До васкулярной эксклюзии электрический импеданс паренхимы печени экспериментальных крыс был на уровне 2,39 (1,8; 2,57) кОм. Через 15 минут показатель электрического импеданса значимо увеличился - до 3,2 (3,08; 3,32) кОм, что соответствовало результатам предыдущего эксперимента. Спустя 30, 45, 60 и 90 минут значения импеданса паренхимы печени не изменялись и находились выше исходного уровня.

Коэффициент дисперсии электрического импеданса печени статистически значимо возрастал после пятнадцатиминутной ишемии и оставался на высоком уровне до конца эксперимента. После наложения клипсы показатель ПСИ статистически значимо увеличился спустя 15 минут и оставался на уровне выше исходного через 30, 45, 60 и 90 минут ишемии.

Заключение. После проведения васкулярной эксклюзии печени в течение 15 минут, происходили взаимосвязанные изменения электрического импеданса печени и селезенки. Во многом эти процессы связаны с изменением кровенаполнения исследуемых органов и последствиями ишемии.

Ключевые слова: печень; селезенка; васкулярная эксклюзия; электрический импеданс

Assessment of Electrical Impedance of the Liver and Spleen under Occlusion of Hepatic Blood Flow

© S.D. LEONOV¹, D.N. PANCHENKOV², V.M. BARANOV³, A.V. RODIN⁴, O.V. KHALEPO⁴, R.D. MUSTAFAEV¹

¹Skobelkin Scientific and Practical Center for Laser Medicine FMBA, Moscow, Russian Federation

²Russian University of Medicine, Moscow, Russian Federation

³Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, Moscow, Russian Federation

⁴Smolensk State Medical University, Smolensk, Russian Federation

Introduction. Liver resection remains the main trend in the treatment for primary and metastatic liver tumors and provides better overall and disease-free 5-year survival compared with conservative treatment options. Extensive liver resection is accompanied by the risk of post-resection liver failure. There is currently no absolute algorithm for determining the prognosis of post-resection liver failure. One of the ways to find new approaches to assessing the prognosis and diagnosing post-resection liver failure is bioimpedance analysis of the liver.

The aim of the study was to assess the effect of hepatic blood flow occlusion on changes in the electrical impedance of the liver and spleen.

Materials and methods. The study involved 20 male Wistar rats weighed 180-270 g. In the first series, experimental animals underwent occlusion of the hepatic blood flow for 15 minutes, and then underwent reperfusion (n=10). In the second series, occlusion of the hepatic blood flow was carried out for 90 minutes (n=10). Under general anesthesia, a median laparotomy was performed, followed by the application of a vascular clip to an analogue of the hepatoduodenal ligament, followed by clamping of the bile duct, hepatic artery and portal vein for 15 minutes in the first series and 90 minutes in the second series of the experiment. Invasive bioimpedance of the liver was performed using an original device for measuring the impedance of biological tissues BIM-II (RF patent No. 2366360). The data obtained were analysed at a frequency of 2 kHz, the hepatosplenic index (HSI) was calculated as the ratio of the average electrical impedance of the liver to the average electrical impedance of the spleen.

Results. The 1st series of experiments. After applying the clips to the hepatoduodenal ligament analogue, the value of the electrical impedance of the liver parenchyma at a frequency of 2 kHz did not change and amounted to 2.3 (2.11; 3.1) k Ω versus 2.34 (2.05; 2.81) k Ω registered before manipulation. The median spleen impedance decreased statistically significantly from 2.7 (2.07; 3.5) k Ω to 1.63 (1.47; 2.04) k Ω ($p < 0.05$). After 15-minute occlusion of the hepatic blood flow, the electrical impedance of the liver parenchyma statistically significantly increased by 1.47 times and amounted to 3.98 (2.64; 4.59) k Ω . The median value of spleen impedance was 1.86 (1.52; 2.23) k Ω , and was statistically significantly lower ($p < 0.05$) than before the clip application. After reperfusion, the liver impedance decreased to 3.11 (2.06; 5.11) k Ω , and the spleen impedance was 2.08 (1.53; 2.55) k Ω , while both parameters were statistically significantly different from the initial values. The dispersion coefficient D2kHz/20kHz of the liver statistically significantly increased to 2.10 (1.67; 2.58) 15 minutes after the clip application relative to the parameters before vascular exclusion – 1.71 (1.44; 2.08) and immediately after clamping analogue of the hepatoduodenal ligament – 1.60 (1.46; 2.11). After reperfusion, the dispersion coefficient D2kHz/20kHz of the liver parenchyma did not differ from the initial values and amounted to 1.79 (1.52; 2.29). The dispersion coefficient D2kHz/20kHz of the spleen decreased significantly immediately after occlusion of the hepatic blood flow from 1.54 (1.28; 1.71) to 1.36 (1.20; 1.62) and was at the corresponding level, including that after reperfusion. Fifteen minutes after the clip application, the dispersion coefficient D2kHz/20kHz of the spleen was statistically significantly lower than the values of D2kHz/20kHz of the liver ($p < 0.05$) – 1.42 (1.19; 1.6) versus 2.1 (1.67; 2.58). Before vascular exclusion of the liver, the median HSI was 0.89 (0.72, 1.11). After the clip application, the HSI parameter statistically significantly increased to 1.43 (1.28; 1.95) due to a decreased electrical impedance in the spleen parenchyma. After 15-minute ischemia, HSI statistically significantly increased to 2.01 (1.26; 2.68), and after reperfusion it remained at a level higher than the initial level.

The 2nd series of experiments. Before vascular exclusion, the electrical impedance of the liver parenchyma of experimental rats was 2.39 (1.8, 2.57) k Ω . After 15 minutes, the electrical impedance increased significantly to 3.2 (3.08; 3.32) k Ω , which was consistent with the results of the previous experiment. After 30, 45, 60 and 90 minutes, the impedance values of the liver parenchyma did not change and were increased if compared with the initial level. The coefficient of the electrical impedance dispersion of the liver increased statistically significantly after 15-minute ischemia and remained at a high level until the end of the experiment. After the clip application, the HSI parameter statistically significantly increased after 15 minutes and remained at a level higher than the initial level in 30 minutes, 45 minutes, 60 minutes, 90 minutes of ischemia.

Conclusions. After vascular exclusion of the liver, interrelated changes in the electrical impedance of the liver and spleen occurred within 15 minutes. These processes are mainly associated with changes in blood supply to the studied organs and ischemia effects.

Keywords: liver; spleen; vascular exclusion; electrical impedance

Резекции печени остаются основным методом лечения первичных и метастатических опухолей печени, и обеспечивают лучшую общую и безрецидивную 5-летнюю выживаемость по сравнению с консервативными методами [1, 2]. Альтернативы обширной резекции печени сегодня не

существует и при доброкачественных ее новообразованиях больших размеров, в частности, гигантских гемангиомах, а также обширном паразитарном кистозном поражении (при эхинококкозе, альвеококкозе) и гнойно абсцедирующих процессах в одной из долей [3].

Среди всех выполняемых резекций печени обширные резекции занимают около 30-40%. При этом лишь 15-20% пациентов с метастатическими поражениями печени и 25-30% - с первичными злокачественными опухолями печени могут быть оперированы. Как правило, основной причиной отказа от операции является распространенность опухолевого процесса и предполагаемый повышенный риск развития пострезекционной печеночной недостаточности (ППН) [4, 5].

Пострезекционная печеночная недостаточность, при тяжелом течении, сопровождается крайне высокой летальностью, которая может, по данным разных авторов, составлять от 1% до 59% [6, 7].

Для более эффективной оценки прогноза ППН, наряду с различными шкалами, в клинической практике руководствуются данными инструментальных методов диагностики, такими как УЗИ печени, эластография, и функциональными тестами. Не меньшее значение имеет определение остаточного объема функционирующей паренхимы печени [8].

Однако, идеального алгоритма определения прогноза ППН на данный момент не существует, поэтому вопрос продолжает быть актуальным в практической гепатохирургии.

Одним из методов анализа морфофункционального состояния внутренних органов и тканей, является биоимпедансный анализ (БИА), основанный на оценке электрического импеданса (полного электрического сопротивления) биологических тканей [9].

Измерение электрического импеданса используется для характеристики физических свойств живой ткани, изучения изменений, свя-

занных с ее функциональным состоянием и структурными особенностями [10, 11]. В патогенезе пострезекционной печеночной недостаточности решающую роль играет повышение давления в портальной вене и нарушение микроциркуляции [12]. При этом происходят значительные структурные изменения в паренхиме печени, которые могут влиять на показатели электрического импеданса. В связи с этим, биоимпедансный анализ может быть актуален для поиска новых подходов к оценке прогноза и диагностике ППН.

Цель

Оценка влияния окклюзии печеночного кровотока на изменение показателей электрического импеданса печени и селезенки.

Материалы и методы

Исследование проведено на 20 крысах линии Вистар мужского пола массой 180-270 г. Содержание крыс и уход за животными осуществляли в условиях вивария, с соблюдением «Принципов надлежащей лабораторной практики» (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ № 33044-2014, введен с 01.08.2015 г.) и приказа Минздрава России от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики». Эвтаназию животных осуществляли под общим обезболиванием путем декапитации.

Оценку показателей электрического импеданса паренхимы печени производили инвазивным методом с помощью оригинального устройства для измерения электрического импеданса биологических тканей «ВІМ ІІ» [13].

Было проведено две серии экспериментов. В первой серии экспериментальным животным выполняли окклюзию печеночного кровотока в те-

Таблица 1. Сравнение показателей электрического импеданса печени и селезенки в условии васкулярной эксклюзии (ВЭ)

Table 1. Comparison of electrical impedance indices of the liver and spleen under vascular exclusion conditions

Срок наблюдения / Observation period	Электрический импеданс Me (min; max) на частоте 2 кГц, кОм / Electrical impedance Me (min; max) on 2 kHz, kΩ		ПСИ на частоте 2 кГц Me (min; max) / Hepatosplenic index (HSI) on 2 kHz Me (min; max)
	Печень / Liver	Селезенка / Spleen	
До ВЭ / Before vascular exclusion (VE)	2,34 (2,05; 2,81)	2,7 (2,07; 3,5)	0,89 (0,72; 1,11)
Сразу после ВЭ / Just after VE	2,3 (2,11; 3,1)	1,63* [°] (1,47; 2,04)	1,43* (1,28; 1,95)
15 минут ВЭ / 15 minutes after VE	3,98* (2,64; 4,59)	1,86* [°] (1,52; 2,23)	2,01* [°] (1,26; 2,68)
Реперфузия / Reperfusion	3,11* (2,06; 5,11)	2,08* [°] (1,53; 2,55)	1,51* (0,88; 3,32)

Примечание: * - p<0,05 по сравнению с показателями в пределах одной частоты; ° - p<0,05 по сравнению с показателями электрического импеданса печени в пределах одного срока наблюдения; ° - p<0,05 по сравнению с показателями ПСИ сразу после ВЭ

Note: * - p<0,05 in comparison with indices on the same frequency; ° - p<0,05 in comparison with indices within one observation period; ° - p<0,05 in comparison with indices HSI just after VE

чении 15 минут, а затем проводили реперфузию (n=10); во второй – окклюзию печеночного кровотока осуществляли в течении 90 минут (n=10).

Под ксилазин-золетилловым наркозом (золетил 20-40 мг/кг массы, ксилазин 5-10 мг/кг массы животного внутривенно) производили срединную лапаротомию. Срединную и левую боковую доли печени выводили в лапаротомную рану и проводили биоимпедансометрию, используя биполярные игольчатые электроды с ограничителем, которые вводили так, чтобы их активные части находились в ткани печени. Измерение выполняли в трех произвольных зонах на частотах 2 кГц и 20 кГц, с расчетом среднего значения электрического импеданса. После проведения биоимпедансометрии осуществляли наложение сосудистой клипсы на аналог печеночно-двенадцатиперстной связки, с последующим пережатием желчного протока, печеночной артерии и воротной вены в течение 15 минут в первой серии эксперимента, и 90 минут во второй серии. В ходе анализа полученных данных на частоте 2 кГц рассчитывали печеночно-селезеночный индекс (ПСИ), как отношение среднего электрического импеданса печени к среднему электрическому импедансу селезенки.

Статистический анализ полученных результатов проводили, используя непараметрические критерии Манна-Уитни и Вилкоксона. Выборки представили в виде медианы, с указанием минимального и максимального значений показателя. Для оценки статистической значимости использовалась величина $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение

После наложения клипсы на аналог печеночно-двенадцатиперстной связки значение электри-

ческого импеданса паренхимы печени на частоте 2 кГц не изменилось и составило 2,3 (2,11; 3,1) кОм, против 2,34 (2,05; 2,81) кОм до манипуляции (табл. 1). В свою очередь, медиана импеданса селезенки статистически значимо снижалась с 2,7 (2,07; 3,5) кОм до 1,63 (1,47; 2,04) кОм ($p < 0,05$).

Спустя 15 минут окклюзии печеночного кровотока электрический импеданс паренхимы печени статистически значимо увеличивался в 1,47 раза и составил 3,98 (2,64; 4,59) кОм. Значение медианы импеданса селезенки равнялось 1,86 (1,52; 2,23) кОм и было статистически значимо ниже ($p < 0,05$), чем до установки клипсы. После реперфузии импеданс печени снижался до 3,11 (2,06; 5,11) кОм, а селезенки - был равен 2,08 (1,53; 2,55) кОм, при этом оба параметра статистически значимо отличались от исходных значений.

Таким образом, электрический импеданс печени увеличивался в ходе ишемического воздействия, а после реперфузии не достигал нормальных значений. Импеданс селезенки, напротив, снижался сразу после окклюзии печеночного кровотока и оставался на уровне ниже исходных параметров и после реперфузии. Анализ коэффициента дисперсии D2кГц/20кГц печени (табл. 2) показал статистически значимое его увеличение до 2,10 (1,67; 2,58) через 15 минут после наложения клипсы, относительно показателей до васкулярной эксклюзии – 1,71 (1,44; 2,08), и непосредственно после пережатия аналога печеночно-двенадцатиперстной связки – 1,60 (1,46; 2,11). После реперфузии коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц паренхимы печени не отличался от исходных значений и составил 1,79 (1,52; 2,29).

Коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц селезенки значимо снижался сразу после окклюзии печеночного кровотока с 1,54 (1,28; 1,71) до

Таблица 2. Сравнение показателей коэффициентов дисперсии D2кГц/20кГц печени и селезенки в условиях васкулярной эксклюзии (ВЭ)

Table 2. Comparison of dispersion coefficient of the electrical impedance D2кГц/20кГц of the liver and spleen under vascular exclusion conditions

Период наблюдения / Observation period	Коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц Me (min; max) / Dispersion coefficient of the electrical impedance D2кГц/20кГц Me (min; max)	
	Печень / Liver	Селезенка / Spleen
До ВЭ / Before VE	1,71 (1,44; 2,08)	1,54 (1,28; 1,71)
Сразу после ВЭ / Just after VE	1,60 (1,46; 2,11)	1,36 (1,2; 1,62)
15 минут ВЭ / 15 minutes after VE	2,10* (1,67; 2,58)	1,42' 1,19; 1,6)
Реперфузия / Reperfusion	1,79 (1,52; 2,29)	1,40 (1,18; 1,71)

Примечание: * - $p < 0,05$ по сравнению с показателями D2кГц/20кГц печени; ' - $p < 0,05$ по сравнению с показателями D2кГц/20кГц печени в пределах одного срока наблюдения

Note: * - $p < 0,05$ in comparison with D2кГц/20кГц indices of the liver; ' - $p < 0,05$ in comparison with D2кГц/20кГц indices of the liver within one observation period

Таблица 3. Электрический импеданс паренхимы печени и селезенки при продолжительной васкулярной эксклюзии (ВЭ)**Table 3.** Electrical impedance of the liver and spleen under prolonged vascular exclusion conditions

Срок наблюдения / Observation period	Электрический импеданс Me (min; max) на частоте 2 кГц, кОм / Electrical impedance Me (min; max) on 2 kHz, kΩ		ПСИ на частоте 2 кГц Me (min; max) / HSI on 2 kHz Me (min; max)
	Печень / Liver	Селезенка / Spleen	
До ВЭ / Before VE	2,39 (1,8; 2,57)	2,0 (1,88; 2,37)	1,21 (0,94; 1,29)
15 минут / 15 minutes	3,2* (3,08; 3,32)	1,62* ['] (1,47; 1,82)	2,03* (1,8; 2,17)
30 минут / 30 minutes	3,49* (2,82; 5,13)	1,72* ['] (1,39; 1,78)	2,01* (1,62; 2,9)
45 минут / 45 minutes	3,16* (2,24; 4,02)	1,67* ['] (1,41; 1,83)	1,73* (1,55; 2,2)
60 минут / 60 minutes	3,16* (2,51; 4,4)	1,68* ['] (1,64; 1,93)	1,87* (1,3; 2,3)
90 минут / 90 minutes	3,04* (2,34; 5,25)	1,86* ['] (1,53; 2,19)	1,67* (1,4; 1,93)

Примечание: * - $p < 0,05$ по сравнению с показателями до васкулярной эксклюзии; ' - $p < 0,05$ по сравнению с показателями электрического импеданса печени в пределах одного срока наблюдения

Note: * - $p < 0,05$ in comparison with indices before VE; ' - $p < 0,05$ in comparison with electrical impedance indices within one observation period

1,36 (1,20; 1,62) и находился на соответствующем уровне, в том числе и после реперфузии. Обращает на себя внимание тот факт, что через 15 минут после наложения клипсы коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц селезенки был статистически значимо меньше значений D2кГц/20кГц печени ($p < 0,05$) – 1,42 (1,19; 1,6), против 2,1 (1,67; 2,58). По-видимому, повышение коэффициента дисперсии D2кГц/20кГц печени после пятнадцатиминутного ишемического воздействия связано с активным процессом клеточного метаболизма, вследствие ишемии гепатоцитов.

До проведения васкулярной эксклюзии печени медиана ПСИ составила 0,89 (0,72; 1,11). После наложения клипсы показатель ПСИ статистически значимо увеличился до 1,43 (1,28; 1,95), за счет снижения электрического импеданса в паренхиме селезенки. Спустя 15 минут ишемии ПСИ статистически значимо повышался до 2,01 (1,26; 2,68), а после реперфузии оставался на уровне выше исходного.

Таким образом, электрический импеданс в паренхиме печени до окклюзии кровотока был ниже или на уровне электрического импеданса селезенки. Ишемия вызывала относительное увеличение параметров импеданса печени, по сравнению с селезенкой, причем электрический импеданс селезенки снижался, скорее всего, из-за увеличения кровенаполнения органа, по причине отсутствия венозного оттока через портальную вену.

Был проведен дополнительный эксперимент, с целью выявления изменений параметров электрического импеданса печени и селезенки в течении длительной ишемии. При этом биоимпедансометрию проводили спустя 15, 30, 45, 60 и 90 минут после пережатия аналога печеночно-двенадцатиперстной связки (табл. 3, 4). До васкулярной эксклюзии электрический импеданс паренхимы печени экспериментальных крыс был на уровне 2,39 (1,8; 2,57) кОм. Через 15 минут показатель электрического импеданса значимо увеличился до 3,2 (3,08; 3,32) кОм, что соответствовало

Таблица 4. Коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц паренхимы печени и селезенки при продолжительной васкулярной эксклюзии (ВЭ)**Table 4.** Dispersion coefficient D2кГц/20кГц of the liver and spleen under prolonged vascular exclusion conditions

Период наблюдения / Observation period	Коэффициент дисперсии D2кГц/20кГц Me (min; max) / Dispersion coefficient of the electrical impedance D2кГц/20кГц Me (min; max)	
	Печень / Liver	Селезенка / Spleen
До ВЭ / Before VE	1,54 (1,43; 1,86)	1,28 (1,22; 1,43)
15 минут / 15 minutes	1,88* (1,75; 2,23)	1,26 (1,22; 1,42)
30 минут / 30 minutes	2,16* (1,61; 2,41)	1,3 (1,22; 1,37)
45 минут / 45 minutes	1,80* (1,57; 2,14)	1,35 (1,26; 1,43)
60 минут / 60 minutes	1,92* (1,5; 2,67)	1,27 (1,17; 1,6)
90 минут / 90 minutes	2,09* (1,64; 3,04)	1,42 (1,34; 1,5)

Примечание: * - $p < 0,05$ по сравнению с показателями до васкулярной эксклюзии

Note: * - $p < 0,05$ in comparison with indices before VE

результатам предыдущего эксперимента. Спустя 30, 45, 60 и 90 минут значения импеданса паренхимы печени не изменялись и находились выше исходного уровня.

Коэффициент дисперсии электрического импеданса печени статистически значимо возрастал после пятнадцатиминутной ишемии и оставался на высоком уровне до конца эксперимента. По-видимому, коэффициент дисперсии электрического импеданса не зависит от кровенаполнения биологической ткани и от интенсивности ее кровоснабжения. Вероятно, он зависит от проницаемости клеточных мембран, или интенсивности молекулярного и ионного транспорта между клеткой и межклеточной жидкостью.

После наложения клипсы показатель ПСИ статистически значимо увеличился спустя 15 минут и оставался на уровне выше исходного через 30, 45, 60 и 90 минут ишемии.

Исходя из анализа полученных данных, можно сделать предположение о более интенсивных морфофункциональных процессах, которые наблюдаются в период ишемического воздействия на ткань печени.

Список литературы

1. Сидоров Д.В., Ложкин М.В., Петров Л.О., Исаева А.Г., Гусакова М.С. Комбинированные обширные резекции печени у больных местнораспространенным гепатоцеллюлярным раком – клинические случаи. *Исследования и практика в медицине*. 2020; 7: 2: 154-163.
2. Лаптиева А.Ю., Андреев А.А., Глухов А.А., Шишкина В.В., Остроушко А.П., Антакова Л.Н. Интраоперационные способы стимуляции репаративной регенерации печени в эксперименте. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии* 2023;16(4):294-302. doi: 10.18499/2070-478X-2023-16-4-294-302
3. Киселев Н.М. Разработка стратегии хирургического лечения пациентов с альвеококкозом печени. Дис. канд. мед. наук. Нижний Новгород. Приволжский исследовательский медицинский университет. 2020; 105.
4. Garcea G, Maddern GJ. Liver failure after major hepatic resection. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*. 2009; 16: 2: 145-155.
5. Kauffmann R, Fong Y. Post-hepatectomy liver failure. *Hepatobiliary Surg Nutr*. 2014; 3: 5: 238-246. doi: 10.3978/j.issn.2304-3881.2014.09.01
6. Attili A, Sucandy I, Spence J, Bourdeau T, Ross S, Rosemurgy A. Outcomes of extended hepatectomy for hepatobiliary tumors. Initial experience from a non-university hepatobiliary center. *Am J Surg*. 2020; 219: 1: 106-109. doi: 10.1016/j.amjsurg.2019.05.007
7. Алиханов Р.Б., Ефанов М.Г., Субботин В.В., Новикова Е.В., Щадрина К.В., Булдаков М.Ю. Лечение пострезекционной печеночной недостаточности тяжелой степени. анализ специализированного центра. *Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова*. 2020; 12: 88-92.
8. Xing Y, Liu ZR, Yu W, Zhang HY, Song MM. Risk factors for post-hepatectomy liver failure in 80 patients. *World J Clin Cases*. 2021; 9: 8: 1793-1802. doi: 10.12998/wjcc.v9.i8.1793
9. Хасцаев Б.Д. Импедансный метод в медико-биологических исследованиях и его приборное оснащение. *Медицинская техника*. 1996; 3: 34-40.
10. Торнуев Ю.В., Хачатрян Р.Г., Хачатрян А.П., Махнев В.П., Осенний А.С. *Электрический импеданс биологических тканей*. М.: ВЗПИ. 1990; 155.
11. Abasi S, Aggas JR, Garayar-Leyva GG, Walther BK, Guiseppi-Elie A. Bioelectrical Impedance Spectroscopy for Monitoring Mammalian Cells and Tissues under Different Frequency Domains: A Review. *ACS Meas Sci Au*. 2022; 2: 6: 495-516. doi: 10.1021/acsmesuresciau.2c00033

Заключение

После проведения васкулярной эксклюзии печени в течении 15 минут, происходили взаимосвязанные изменения электрического импеданса печени и селезенки. Во многом эти процессы связаны с изменением кровенаполнения исследуемых органов и последствиями ишемии.

Исследование абсолютных и относительных показателей импеданса печени в перспективе можно использовать при оценке глубины ишемического повреждения ткани в ходе приема Прингла, при выполнении обширных резекций, которые проводят у пациентов на фоне выраженных диффузных патологических процессов в печени. Индивидуальный подход и оценка ишемического воздействия в реальном времени, возможно, позволят профилактировать печеночную недостаточность в ближайшем послеоперационном периоде.

Дополнительная информация

Конфликт интересов

Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

References

1. Sidorov DV, Lozhkin MV, Petrov LO, Isaeva AG, Gusakova MS. Combined extensive liver resections in patients with locally advanced hepatocellular cancer – clinical cases. *Issledovaniya i praktika v meditsine*. 2020; 7: 2: 154-163. (in Russ)
2. Laptiyova AY, Andreev AA, Glukhov AA, Shishkina VV, Ostroushko AP, Antakova LN. Intraoperative Options to Stimulate the Reparative Liver Regeneration in the Experiment. *Journal of Experimental and Clinical Surgery* 2023;16(4):294-302. doi: 10.18499/2070-478X-2023-16-4-294-302
3. Kiselev NM. Razrabotka strategii khirurgicheskogo lecheniya patsientov s al'veokokkozom pecheni. Dis. kand. med. nauk. Nizhny Novgorod. Privolzhsky Research Medical University. 2020; 105. (in Russ.)
4. Garcea G, Maddern GJ. Liver failure after major hepatic resection. *J Hepatobiliary Pancreat Surg*. 2009; 16: 2: 145-155.
5. Kauffmann R, Fong Y. Post-hepatectomy liver failure. *Hepatobiliary Surg Nutr*. 2014; 3: 5: 238-246. doi: 10.3978/j.issn.2304-3881.2014.09.01
6. Attili A, Sucandy I, Spence J, Bourdeau T, Ross S, Rosemurgy A. Outcomes of extended hepatectomy for hepatobiliary tumors. Initial experience from a non-university hepatobiliary center. *Am J Surg*. 2020; 219: 1: 106-109. doi: 10.1016/j.amjsurg.2019.05.007
7. Alikhanov RB, Efanov MG, Subbotin VV, Novikova EV, Shchadrina KV, Buldakov MY. Treatment of severe post-resection liver failure. Analysis of the specialized center. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova*. 2020; 12: 88-92. (in Russ.)
8. Xing Y, Liu ZR, Yu W, Zhang HY, Song MM. Risk factors for post-hepatectomy liver failure in 80 patients. *World J Clin Cases*. 2021; 9: 8: 1793-1802. doi: 10.12998/wjcc.v9.i8.1793
9. Khastsaev BD. Impedance method in biomedical research and its instrumentation. *Meditsinskaya tekhnika*. 1996; 3: 34-40. (in Russ.)
10. Tornuev YuV, Khachatryan RG, Khachatryan AP, Makhnev VP, Osennii AS. *Elektricheskiy impedans biologicheskikh tkanei*. M.: VZPI. 1990; 155. (in Russ.)
11. Abasi S, Aggas JR, Garayar-Leyva GG, Walther BK, Guiseppi-Elie A. Bioelectrical Impedance Spectroscopy for Monitoring Mammalian Cells and Tissues under Different Frequency Domains: A Review. *ACS Meas Sci Au*. 2022; 2: 6: 495-516. doi: 10.1021/acsmesuresciau.2c00033
12. Liu J, Man K. Mechanistic Insight and Clinical Implications of Ischemia/Reperfusion Injury Post Liver Transplantation. *Cell Mol Gastroenterol Hepatol*. 2023; 15: 6: 1463-1474.

12. Liu J, Man K. Mechanistic Insight and Clinical Implications of Ischemia/Reperfusion Injury Post Liver Transplantation. *Cell Mol Gastroenterol Hepatol*. 2023; 15: 6: 1463-1474.
13. Образцов С.А., Леонов С.Д., Троицкий Ю.В., Федоров Г.Н. Патент 2366360 РФ. Устройство для измерения импеданса биологических тканей. Заявка № 2008110270/14 от 17.03.2008.

13. Obraztsov SA, Leonov SD, Troitskij JuV, Fedorov GN. Patent 2366360 RF. Ustrojstvo dlja izmerenija impedansa biologicheskikh tkanej. Zayavka № 2008110270/14, 17.03.2008. (in Russ.)

Информация об авторах

1. Леонов Сергей Дмитриевич - к.м.н., старший научный сотрудник, Государственный научный центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России, e-mail: leonov-serg@yandex.ru.
2. Панченков Дмитрий Николаевич - д.м.н., профессор, Российский университет медицины, e-mail: dnpanchenkov@mail.ru
3. Баранов Виктор Михайлович - д.м.н., профессор, академик РАН, Институт медико-биологических проблем РАН, e-mail: Baranov-vm@mail.ru
4. Родин Антон Викторович - к.м.н., доцент, Смоленский государственный медицинский университет, e-mail: doc82@yandex.ru.
5. Халепо Ольга Владиславовна - к.м.н., доцент, Смоленский государственный медицинский университет, e-mail: halepo71@mail.ru
6. Мустафаев Ровшан Джалал оглы - д.м.н., ведущий научный сотрудник Государственный научный центр лазерной медицины им. О.К. Скобелкина ФМБА России, e-mail: rov_67@mail.ru

Information about the Authors

1. Sergey Dmitrievich Leonov - Ph.D., Senior Researcher, O.K. Skobelkin Scientific and Practical Center for Laser Medicine FMBA, e-mail: leonov-serg@yandex.ru.
2. Dmitry Nikolaevich Panchenkov - M.D., Professor, Russian University of Medicine, e-mail: dnpanchenkov@mail.ru
3. Viktor Mikhailovich Baranov - M.D., Professor, Institute of Biomedical Problems of the Russian Academy of Sciences, e-mail: Baranov-vm@mail.ru
4. Anton Viktorovich Rodin - Ph.D., Associate Professor, Smolensk State Medical University, e-mail: doc82@yandex.ru
5. Olga Vladislavovna Halepo - Ph.D., Associate Professor, Smolensk State Medical University, e-mail: halepo71@mail.ru
6. Rovshan Jalal ogly Mustafayev - MD, Senior Researcher, Skobelkin Scientific and Practical Center for Laser Medicine FMBA, e-mail: rov_67@mail.ru

Цитировать:

Леонов С.Д., Панченков Д.Н., Баранов В.М., Родин А.В., Халепо О.В., Мустафаев Р.Д. Оценка электрического импеданса печени и селезенки в условиях окклюзии печеночного кровотока. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии* 2024; 17: 1: 24-30. DOI: 10.18499/2070-478X-2024-17-1-24-30.

To cite this article:

Leonov S.D., Panchenkov D.N., Baranov V.M., Rodin A.V., Khalepo O.V., Mustafayev R.D. Assessment of Electrical Impedance of the Liver and Spleen under Occlusion of Hepatic Blood Flow. *Journal of experimental and clinical surgery* 2024; 17: 1: 24-30. DOI: 10.18499/2070-478X-2024-17-1-24-30.