

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОГО ИССЛЕДОВАНИЯ В ДИАГНОСТИКЕ ИНФИЦИРОВАНИЯ КИСТ ПОДЖЕЛУДОЧНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

А.В. Герасимов, В.И. Никольский, А.Н. Митрошин, К.И. Сергацкий
ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет», Медицинский институт,
г. Пенза, Россия

Резюме

Образование кист поджелудочной железы является серьёзным осложнением острого и хронического панкреатита, а также травм поджелудочной железы. Джоульметрия – интегральный метод оценки электрохимических свойств биологических объектов. На сегодняшний день этот метод еще не использовали в изучении электрохимических свойств содержимого кист поджелудочной железы. Целью исследования явилась оценка качества электрохимического исследования в диагностике инфицирования содержимого постнекротических кист поджелудочной железы. Электрохимическое исследование выполнили 106 пациентам с постнекротическими кистами поджелудочной железы. В 1-ю группу вошли 84 пациента без признаков инфицирования кист поджелудочной железы, во 2-ю группу – 22 пациента с признаками инфицирования кист поджелудочной железы. Электрохимическое исследование выполняли следующим образом: содержимое кисты поджелудочной железы забирали в количестве 10 мл и вводили внутрь жидкостного проточного датчика джоульметрического прибора, где за короткий промежуток времени на него действовал ток. Посредством диагностического исследовательского комплекса оценивали полученные результаты. В ходе исследования электрохимических свойств содержимого постнекротических кист поджелудочной железы с помощью джоульметрии было выявлено, что показатель работы тока у больных 1-й группы колебался в пределах от 0,92 до 18,31 мкДж (в среднем $5,86 \pm 5,02$ мкДж), у пациентов 2-й группы – от 19,01 до 26,3 мкДж (в среднем $22,32 \pm 1,92$ мкДж). При оценке качества джоульметрического исследования в определении ранних признаков воспаления содержимого постнекротических кист поджелудочной железы доказано, что пороговое дифференциально-диагностическое значение равно 19,1 мкДж обеспечивает чувствительность предложенного метода в 81,8% и специфичность в 80,7% ($AUC = 91,3$) при статистически значимой разнице показателей работы тока ($p < 0,001$).

Ключевые слова. Постнекротические кисты поджелудочной железы, панкреатит, джоульметрия, инфицирование, электрохимические свойства.

Контакты: Герасимов А.В., gerasimov-av30@yandex.ru

Для цитирования: Герасимов А.В., Никольский В.И., Митрошин А.Н., Сергацкий К.И. Оценка качества электрохимического исследования в диагностике инфицирования кист поджелудочной железы // Biomedical photonics. – 2024. – Т.13, № 2. – С. 4-8. doi: 10.24931/2413-9432-2024-13-2-4-8.

EVALUATION OF THE QUALITY OF ELECTROCHEMICAL STUDY IN THE DIAGNOSIS OF INFECTION OF PANCREATIC CYSTS

Gerasimov A.V., Nikolskiy V.I., Mitroshin A.N., Sergatskiy K.I.
Medical Institute, Penza State University, Penza, Russia

Abstract

The formation of pancreatic cysts is a serious complication of acute pancreatitis, chronic pancreatitis and pancreatic injuries. Joulemetry is an integral method for evaluating the electrochemical properties of biological objects. To date, this method has not been used in the study of the electrochemical properties of the contents of pancreatic cysts. The purpose of this study was to evaluate the effectiveness of electrochemical analysis in the detection of infection in the contents of necrotic pancreatic cysts. An electrochemical study of contents of necrotic pancreatic cysts carried out on 106 patients. Group 1 included 84 patients without signs of infection of pancreatic cysts; group 2 included 22 patients with signs of infection of pancreatic cysts. The electrochemical study was conducted as follows: 10 ml of the contents of a pancreatic cyst was injected into a liquid flow sensor of a joule meter, where it was exposed to a electrical current for a short period of time. The resulting data was analyzed using a diagnostic research complex. During the study of the electrochemical properties of the contents of postnecrotic pancreatic cysts by using joulemetry, it was revealed that the current work in patients of group 1 ranged from 0.92 to 18.31 mJ (on average 5.86 ± 5.02 mJ), in patients of group 2 – from 19.01 to 26.3 mJ (on average 22.32 ± 1.92 mJ). When evaluating the quality of the joulemetric study in determining the early signs of inflammation of the contents of postnecrotic pancreatic cysts, it was proved that the threshold differential diagnostic value of 19.1 mJ provides 81.8% sensitivity of the proposed method and 80.7% specificity ($AUC = 91.3$) with a statistically significant difference in current work ($p < 0.001$).

Keywords: Postnecrotic pancreatic cysts, pancreatitis, joulemetry, infection, electrochemical properties.

Contacts: Gerasimov A. V., gerasimov-av30@yandex.ru

For citations: Gerasimov A.V., Nikolskiy V.I., Mitroshin A.N., Sergatskiy K.I. Evaluation of the quality of electrochemical study in the diagnosis of infection of pancreatic cysts, *Biomedical Photonics*, 2024, vol. 13, no. 2, pp. 4–8. doi: 10.24931/2413-9432-2024-13-2-4-8.

Введение

Образование кист поджелудочной железы является серьёзным осложнением острого и хронического панкреатита, а также травм поджелудочной железы (ПЖ) [1, 2, 3, 4]. Формирование кист при остром панкреатите наблюдаются почти в 20% случаев, этот показатель увеличивается в 4 раза при деструктивных формах; при хроническом панкреатите частота встречаемости кист ПЖ находится в пределах от 20% до 40%, при травмах ПЖ кисты возникают у 20-30% пострадавших [4, 5]. Стоит отметить, что за время формирования кисты могут наблюдаться довольно серьёзные осложнения, встречающиеся почти в 40% случаев: кровотечение в полость кисты, нагноение, перфорация, сдавление соседних органов с соответствующей клинической картиной.

Тактический подход к лечению пациентов данной категории включает выявление ранних признаков инфицирования содержимого панкреатической кисты и наличие связи кисты с протоковой системой ПЖ [4, 5, 6]. Однако существующие на сегодняшний момент методы диагностики инфицирования постнекротических кист ПЖ имеют ряд недостатков: большой промежуток времени до получения результата (при бактериологическом исследовании до 3-5 дней), низкая информативность, ограничение в использовании ввиду противопоказаний и др.

Доказано, что при действии различных факторов внешней и внутренней среды организма, таких как изменение температуры, объёма, концентрации электролитов, появление признаков нагноения или элементов крови и др., изменяются электрические свойства любых биологических объектов [7]. Вместе с тем, при использовании микротоков силой в пределах 10–100 мкА не происходит изменений в физико-химических процессах исследуемого объекта. Джоульметрия – это интегральный метод, основанный на оценке значений работы тока, которую затрачивает внешний источник электрической энергии в то время, когда изменяется состояние исследуемого объекта.

К преимуществам джоульметрии относятся: простота в реализации метода, малые затраты времени, широкое применение (для всех типов биологических тканей), высокая чувствительность метода, позволяющая увеличить количество необходимых информативных признаков.

Следует отметить, что именно своевременная и точная диагностика ранних признаков воспаления содержимого постнекротических кист ПЖ позволяет правильно выбрать необходимый метод хирургического лечения и определить тактический поход в целом [5, 6].

Целью исследования являлась оценка качества электрохимического исследования в диагностике инфицирования содержимого постнекротических кист поджелудочной железы.

Материал и методы

С целью определения ранних признаков воспаления содержимого постнекротических кист ПЖ был разработан и внедрён в клиническую практику способ экспресс-диагностики, основанный на джоульметрическом исследовании (Патент РФ на изобретение №2684424 от 09.04.2019).

Исследование выполнено на базе Медицинского института Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Пензенский государственный университет» и хирургических отделений ГБУЗ «Пензенская областная клиническая больница им. Н.Н. Бурденко».

За период с 2016 по 2023 гг. включительно в хирургических отделениях ГБУЗ «Пензенская областная клиническая больница им. Н.Н. Бурденко» проходили лечение 106 пациентов с постнекротическими кистами ПЖ.

В зависимости от наличия признаков воспаления больные были разделены на две группы. В 1-ю группу вошли 84 (79,2%) пациента с кистами ПЖ без признаков воспаления, во 2-ю группу – 22 (20,8%) пациента с кистами ПЖ и наличием признаков воспаления. Такое разделение было основано на клинико-лабораторных данных и данных инструментальных методов исследования (УЗИ, СКТ, МРТ).

Учеными Пензенского государственного университета разработаны способ джоульметрии и устройство для диагностики состояния биологических объектов (Патент РФ № 2033606 от 20.04.95), получено разрешение Минздрава РФ (протокол заседания комиссии по новой медицинской технике № 10 от 18.11.93) для использования в клинической практике (Герасимов С.И., Никольский В.И., Волчихин В.И., 1993). Джоульметрический прибор «Диво» и программное обеспечение IPC 2000 разработаны сотрудниками кафедры «Медицинские приборы и оборудование» ФГБОУ ВО «Пензенский государственный университет».

Электрохимическое (другое название: джоульметрическое) исследование содержимого постнекротических кист ПЖ выполняли следующим образом: полученное при пункции или наружном дренировании под контролем УЗИ содержимое кисты ПЖ больного забирали в количестве 10 мл; затем это содержимое вводили внутрь жидкостного проточного датчика джоульметрического прибора «Диво» (г. Пенза); за время менее 8 с через жидкостной проточный датчик джоульметрического прибора пропускали ток 0,1 мА. Посредством диагностического исследовательского комплекса (рис. 1), в который входили джоульметрический прибор, жидкостной проточный датчик, компьютерная программа для анализа информации (IPC 2000), оценивали результаты.

В программе IPC 2000 оценивали полученные зависимости, которые представляли собой кривые с определенными значениями изменения потенциала во времени. По полученным зависимостям рассчитывали

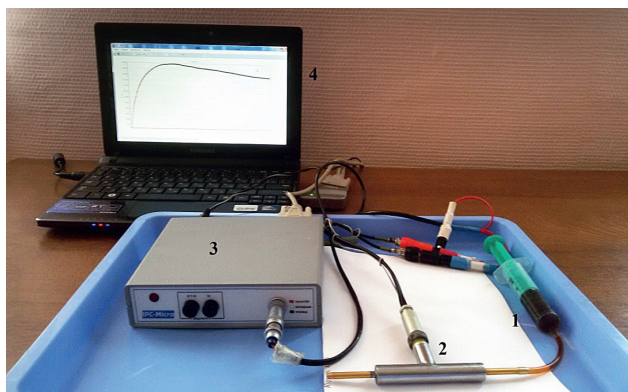


Рис. 1. Диагностический исследовательский комплекс: 1 – шприц для нагнетания содержимого кисты; 2 – жидкостной проточный датчик; 3 – джоульметрический прибор; 4 – компьютер с установленной программой IPC 2000.

Fig. 1. Diagnostic research complex: 1 – a syringe for pumping cyst contents; 2 – a liquid flow sensor; 3 – a joule meter; 4 – a computer with the IPC 2000 program installed.

работу для каждого значения тока, строили графики, позволяющие судить об активности воспалительного процесса кист ПЖ.

Статистический анализ выполняли на IBM-PC совместимом компьютере с помощью лицензионной программы BioStat 2010 5.8.3.0 и IBM SPSS Statistics for Windows, Version 25.0. Для оценки качества модели предложенного метода экспресс-диагностики инфицирования кист ПЖ на основе джоульметрии выполнен ROC-анализ (receiver operating characteristic).

Результаты и обсуждение

Для формирования двух групп пациентов с предварительной оценкой инфицирования или отсутствия инфицирования кист ПЖ были определены критерии, основанные на клинко-лабораторных и инструментальных данных.

К признакам воспаления постнекротических кист ПЖ относили следующие критерии клинко-лабораторных данных и данных инструментальных методов исследования:

Таблица 1

Работа тока у больных с признаками воспаления кист поджелудочной железы и без признаков воспаления кист поджелудочной железы

Table 1

Electric current work in patients with signs of inflammation of pancreatic cysts and without signs of inflammation of pancreatic cysts

Исследуемые группы пациентов The studied groups of patients	Количество пациентов, n=106 Number of patients, n=106		Работа тока, мкДж Electric current work, μJ	Среднее значение The average value
	Абс.	%		
1 группа – больные без признаков воспаления кист поджелудочной железы 1 group – patients without signs of inflammation of pancreatic cysts	84	79,2	от 0,92 до 18,31	5,86 $\pm$ 5,02
2 группа – больные с признаками воспаления кист поджелудочной железы 2 group – patients with signs of inflammation of pancreatic cysts	22	20,8	от 19,01 до 26,3	22,32 $\pm$ 1,92
Итого / Total	106	100	-	-
Достоверность / Reliability	-		-	< 0,001

- повышение температуры тела;
- наличие перитонеальных симптомов;
- лейкоцитоз со сдвигом лейкоцитарной формулы влево;
- по данным УЗИ: неоднородное содержимое кисты (мелкодисперстная гиперэхогенная взвесь с наличием перегородок), неравномерное утолщение стенки кисты, признаки инфильтрации парапанкреатической клетчатки;
- по данным СКТ: неоднородная структура с гиподенсивными включениями (плотность содержимого от +20 до +30 ед. НУ), отечность и тяжесть парапанкреатической клетчатки;
- по данным МРТ: образование, имеющее повышенный МР-сигнал по T2-взвешенным изображениям и повышенный МР-сигнал по T1-взвешенным изображениям, парапанкреатическая клетчатка неоднородная с признаками отёка.

Постнекротические кисты ПЖ без признаков воспаления имели следующие клинко-лабораторные и инструментальные данные:

- постоянной гипертермии не наблюдали;
- отсутствие перитонеальных симптомов;
- отсутствовали признаки воспаления в клиническом анализе крови;
- по данным УЗИ: однородное анэхогенное содержимое полости кисты или неоднородное содержимое с пристеночным компонентом, ровный четкий контур образования, признаков инфильтрации парапанкреатической клетчатки нет;
- по данным СКТ: однородная структура кисты (плотность содержимого от +5 до +18 НУ), признаков инфильтрации парапанкреатической клетчатки нет;
- по данным МРТ: образование, имеющее повышенный МР-сигнал по T2-взвешенным изображениям и пониженный МР-сигнал по T₁-взвешенным изображениям, без отёка парапанкреатической клетчатки.

В ходе исследования электрохимических свойств содержимого постнекротических кист ПЖ с помощью

джоульметрии было выявлено, что показатель работы тока (табл. 1) у больных 1-й группы находился в пределах от 0,92 до 18,31 мкДж (в среднем $5,86 \pm 5,02$ мкДж), у пациентов 2-й группы – от 19,01 до 26,3 мкДж (в среднем $22,32 \pm 1,92$ мкДж).

Следовательно, получены статистически значимые данные об инфицировании постнекротических кист ПЖ ($p < 0,001$): у больных 1-й группы без признаков воспаления содержимого кист ПЖ диагностировали низкий показатель работы тока (в среднем $5,86 \pm 5,02$ мкДж), тогда как у больных 2-й группы с признаками воспаления содержимого кист ПЖ был высокий показатель работы тока (в среднем $22,32 \pm 1,92$ мкДж).

На рис. 2 и 3 представлены измеренные электрохимические параметры в графической форме, которые свидетельствовали о наличии либо отсутствии признаков воспаления содержимого постнекротических кист ПЖ.

На рис. 2 видно, что точка насыщения достигается при времени в 3,8 с, величина потенциала в данной точке равна 4200 мВ, тогда как на рис. 3 – точка насыщения достигается при времени в 0,9 с, величина потенциала в данной точке равна 2850 мВ. Таким образом, для электрохимической реакции у больных с инфицированными кистами ПЖ требуется большее напряжение тока, количество времени и как результат большая работа тока для достижения точки насыщения, чем у пациентов

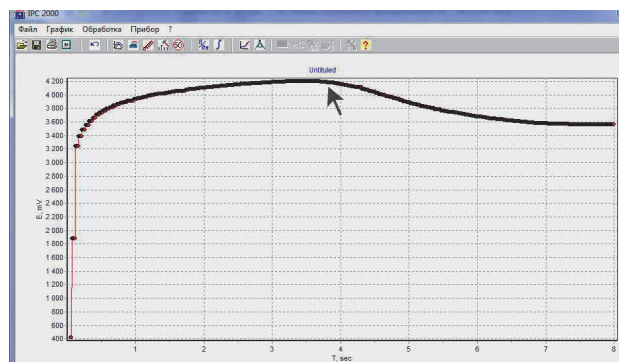


Рис. 2. Характерная кривая для кисты с признаками воспаления; стрелкой указана точка насыщения.

Fig. 2. A typical curve for a cyst with signs of inflammation, with the arrow indicating the saturation point.

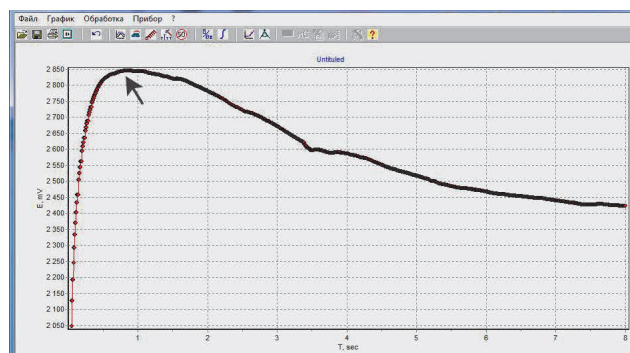


Рис. 3. Характерная кривая для кисты без признаками воспаления; стрелкой указана точка насыщения.

Fig. 3. A typical curve for a cyst without signs of inflammation, with the arrow indicating the saturation point.

с кистами ПЖ без признаков воспаления, что подтверждается вышеприведенными данными.

Все полученные результаты электрохимического исследования содержимого кист ПЖ были подтверждены бактериологическим исследованием: у 22 больных с признаками воспаления кист ПЖ и высоким показателем работы тока (в среднем $22,32 \pm 1,92$ мкДж) наблюдали рост микроорганизмов, у 84 пациентов без признаков воспаления кист ПЖ и низким показателем работы тока (в среднем $5,86 \pm 5,02$ мкДж) роста микрофлоры не было.

Проведен анализ качества модели предложенного метода экспресс-диагностики инфицирования постнекротических кист ПЖ с помощью джоульметрии. Для этого проведён анализ ROC-кривых (рис. 4).

Представленный график наглядно демонстрирует, что численный показатель площади под кривой ($AUC = 91,3$) стремится к 1,0, что характеризует отличное качество модели предложенного метода на основе джоульметрии.

На рис. 5 представлен график зависимости признаков инфицирования постнекротических кист ПЖ

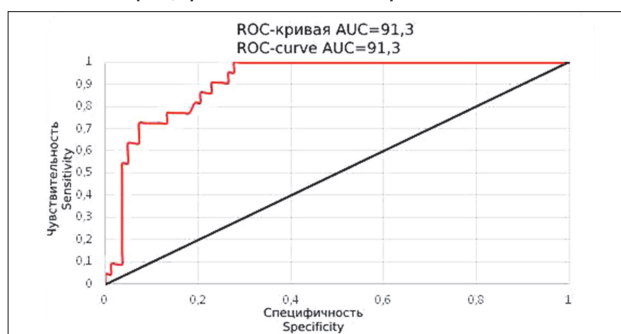


Рис. 4. ROC-кривая исследования работы тока у больных с постнекротическими кистами поджелудочной железы при определении их инфицирования на основе джоульметрии. На графике красным цветом показана ROC-кривая, черным – положительная диагональ.

Fig. 4. The ROC curve of the study of the electrical current in patients with postnecrotic pancreatic cysts in determining their infection based on joulemetry. The graph shows the ROC-curve in red, and the positive diagonal in black.

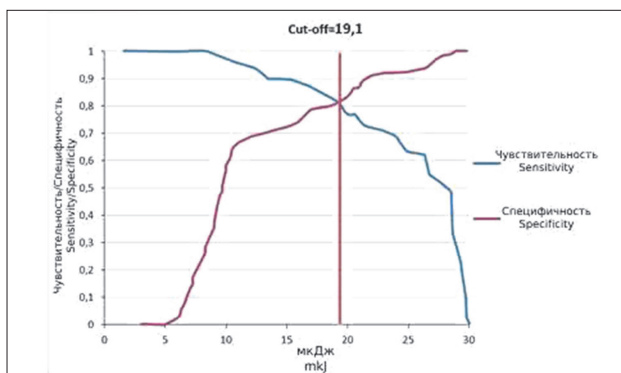


Рис. 5. Значение точки отсечения (cut-off) наличия/отсутствия признаков инфицирования содержимого постнекротической кисты ПЖ при джоульметрии.

Fig. 5. The value of the cut-off point for the presence/absence of signs of infection of the contents of a postnecrotic pancreatic cyst during joulemetry.

от показателей работы тока, полученных при джоульметрии.

В ходе исследования было определено значение точки отсечения (cut-off) наличия/отсутствия признаков инфицирования содержимого постнекротической кисты ПЖ: 19,1 мкДж (если показатель работа тока $> 19,1$ мкДж, то киста с признаками инфицирования; если работа тока $\leq 19,1$ мкДж, то киста неинфицированная).

В табл. 2 представлен фрагмент таблицы координат ROC-кривой исследования работы тока у больных с постнекротическими кистами ПЖ при определении инфицирования их содержимого джоульметрическим методом.

Исходя из таблицы координат ROC-кривой исследования работы тока у больных с постнекротическими кистами ПЖ при определении их инфицирования на основе джоульметрии, пороговым дифференциально-диагностическим значением был принят показатель работы тока, равный 19,1 мкДж. Данное значение обеспечивает чувствительность предложенного метода экспресс-диагностики инфицирования экссудата при местном панкреатогенном перитоните на основе джоульметрии, равную 81,8%, и специфичность, равную 80,7% ($AUC = 91,3$).

Все полученные результаты электрохимического исследования содержимого кист ПЖ были подтверждены бактериологическим исследованием: у 22 больных с признаками воспаления кист ПЖ и высоким показателем работы тока (в среднем $22,32 \pm 1,92$ мкДж) наблюдали рост микроорганизмов, у 84 пациентов без признаков воспаления кист ПЖ и низким показателем работы тока (в среднем $5,86 \pm 5,02$ мкДж) роста микрофлоры не наблюдали.

Заключение

В ходе электрохимического исследования содержимого постнекротических кист поджелудочной железы

Таблица 2

Фрагмент таблицы координат ROC-кривой исследования работы тока у пациентов с постнекротическими кистами ПЖ при определении инфицирования их содержимого

Table 2

A fragment of the coordinate table of the ROC-curve of the study of electrical current work in patients with post-necrotic pancreatic cysts in determining infection of their contents

Работа тока, мкДж Electric current work, μJ	Чувствительность Sensitivity	Специфичность Specificity
10,1	0,9789	0,6378
13,42	0,9213	0,7066
16,91	0,8708	0,7853
19,1	0,8182	0,8072
20,14	0,7835	0,8113
22,76	0,7412	0,8810
23,1	0,7244	0,9227

получены статистически значимые данные об инфицировании содержимого кисты ($p < 0,001$). При работе тока от 19,01 до 26,3 мкДж (в среднем $22,32 \pm 1,92$ мкДж) диагностировали инфицирование постнекротической кисты поджелудочной железы; показатель работы тока от 0,92 до 18,31 мкДж (в среднем $5,86 \pm 5,02$ мкДж) свидетельствует об отсутствии инфицирования.

При оценке качества джоульметрического исследования в определении ранних признаков воспаления содержимого постнекротических кист поджелудочной железы доказано, что пороговое дифференциально-диагностическое значение равно 19,1 мкДж обеспечивает чувствительность предложенного метода в 81,8% и специфичность в 80,7% ($AUC = 91,3$) при статистически значимой разнице показателей работы тока ($p < 0,001$).

ЛИТЕРАТУРА

1. Кормасов Е.А., Хорошилов М.Ю. «Молниеносный» острый панкреатит: диагностика, прогнозирование, лечение // *Анналы хирургической гепатологии*. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 50-59. doi: 10.16931/1995-5464.2021-2-50-60.
2. Зурнадзьянц В.А., Кчибеков Э.А., Гасанов К.Г. и др. Оптимизация диагностических подходов деструктивного панкреатита // *Пермский медицинский журнал*. – 2023. – Т. 40, №4. – С. 82-91. doi: 10.17816/pmj40482-91.
3. Стяжкина С.Н., Воробьева А.С., Наумова О.Н. Частота встречаемости диагноза «Острый панкреатит» среди пациентов хирургического отделения 1 РКБ УР // *Наука и образование сегодня*. – 2019. – №1. – С. 89-92.
4. Ramsey M.L., Conwell D.L., Hart P.A. Complications of chronic pancreatitis // *Dig. Dis. Sci.* – 2017. – Vol. 32(7). – P. 1746-1750. doi: 10.1007/s10620-017-4518-x
5. Соболев Ю.А., Беляева А.И. Эффективность транскутанного пункционного дренирования кист поджелудочной железы под ультразвуковым контролем // *Вестник Волгоградского Государственного Медицинского университета*. – 2021. – №77. – С. 52-55. doi: 10.19163/1994-9480-2021-1(77)-52-55.
6. García de Paredes A.G., López-Durán S., José Olcina R.F., et al. Management of pancreatic collections: an update // *Rev. Esp. Enferm. Dig.* – 2020. – Vol. 112(6). – P. 483-490. doi: 10.17235/reed.2020.6814/2019.
7. Геращенко, С. И. Джоульметрия и джоульметрические системы: теория и приложение: монография // Пенза: Изд-во ПГУ, 2002. – 184 с.

REFERENCES

1. Korymasov E.A., Khoroshilov M.Yu. "Fulminant" acute pancreatitis: diagnosis, prognosis, treatment, *Annals of Surgical Hepatology*, 2021, vol. 26(2), pp. 50-59. doi: 10.16931/1995-5464.2021-2-50-60.
2. Zurnadzhyants V.A., Kchibekov E.A., Gasanov K.G. et al. Optimization of diagnostic approaches for destructive pancreatitis, *Perm Medical Journal*, 2023, vol. 40(4), pp. 82-91. doi: 10.17816/pmj40482-91.
3. Styazhkina S.N., Vorobyova A.S., Naumova O.N. Frequency of occurrence of the diagnosis "Acute pancreatitis" among patients of the surgical department of the 1st RCH UR, *Science and Education Today*, 2019, vol. 1, pp. 89-92.
4. Ramsey M.L., Conwell D.L., Hart P.A. Complications of chronic pancreatitis, *Dig. Dis. Sci.*, 2017, vol. 32(7), pp. 1746-1750. doi: 10.1007/s10620-017-4518-x
5. Sobolev Yu.A., Belyaeva A.I. Efficiency of transcutaneous puncture drainage of pancreatic cysts under ultrasound control, *Bulletin of the Volgograd State Medical University*, 2021, vol. 77, pp. 52-55. doi: 10.19163/1994-9480-2021-1(77)-52-55.
6. García de Paredes A.G., López-Durán S., José Olcina R.F., et al. Management of pancreatic collections: an update, *Rev. Esp. Enferm. Dig.*, 2020, vol. 112(6), pp. 483-490. doi: 10.17235/reed.2020.6814/2019.
7. Gerashchenko, S.I. Joulemetry and joulemetric systems: theory and application: monograph, Penza: PSU Publishing House, 2002, 184 p.