

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ОБОСНОВАНИЕ СПОСОБА СОНОДИНАМИЧЕСКОЙ СТИМУЛЯЦИИ СПАЕЧНОГО ПРОЦЕССА В ПЛЕВРАЛЬНОЙ ПОЛОСТИ У ЛАБОРАТОРНЫХ ЖИВОТНЫХ

EXPERIMENTAL SUBSTANTIATION OF THE METHOD OF SONODYNAMIC STIMULATION OF ADHESIONS IN THE PLEURAL CAVITY IN LABORATORY ANIMALS

A. Khmara
M. Polidanov
S. Kapralov
R. Petrunkin
R. Mayorov
A. Prokhnitskaya

Summary. The aim of the study is experimental substantiation of the method of stimulation of adhesions in the pleural cavity in laboratory animals. *Materials and methods.* The studies were carried out on 80 female laboratory rats of «standard» breed weighing 200 ± 50 g. All experimental animals were divided into two groups: 40 rats in each group. The first group included experimental animals that underwent pleurodesis of visceral and parietal pleural laminae by solid-state laser radiation (laser device Lasermid 1–10, near-infrared range); the second group included experimental animals that underwent pleurodesis of visceral and parietal pleural laminae by ultrasound exposure using a portable ultrasound therapy device Sonopulse S2N with simultaneous treatment with photosensitizer — sodium hypochlorite. General anesthesia of laboratory animals was performed according to the standard technique. Under aseptic conditions, a thoracotomy was performed through 5–6 intercostal spaces from periorbital to midclavicular line. Atypical resection of the lung was performed. Subsequently, the resection site and healthy (unchanged) lung area of the animals of the first group were exposed to the solid-state laser radiation with the wavelength of 1064 nm, power 7–8 W. Exposure to pleural sheets was performed with the help of quartz light guide by non-contact method, but not more than 2 cm from the pleura and visual assessment of the appearance of coagulation signs (as at direct contact with pleura its destruction occurs, and more than 2 cm — there will be no coagulation, this is due to the power density of the laser beam). Animals of the second group were exposed to the resection site and healthy (unchanged) lung area by ultrasound treatment using a portable ultrasound therapy device Sonopulse S2N with the working frequency of ultrasound oscillations from 1 MHz to $3 \text{ MHz} \pm 10\%$, working area of the emitter from 1 cm^2 to 3.5 cm^2 in a continuous mode for 10 minutes with simultaneous treatment of the areas with photosensitizer — sodium hypochlorite. *Results.* Due to this method in experimental animals of the second group in comparison with the first group there was an earlier, more pronounced and voluminous adhesion process in experimental animals of the second group, which

Хмара Артём Дмитриевич

к.м.н., врач-хирург торакального хирургического
отделения, Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского
premdania@yandex.ru

Полиданов Максим Андреевич

специалист научно-исследовательского отдела,
ассистент, Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург
maksim.polidanoff@yandex.ru

Капралов Сергей Владимирович

д.м.н., доцент, Саратовский государственный
медицинский университет им. В.И. Разумовского
sergejkapralov@yandex.ru

Петрунькин Родион Павлович

Университет «Реавиз», г. Санкт-Петербург

Майоров Родион Владимирович

к.м.н., Саратовский государственный медицинский
университет им. В.И. Разумовского
dostay@mail.ru

Прохницкая Анастасия Алексеевна

врач-рентгенолог,
Саратовская городская клиническая больница № 9
a.prohan@rambler.ru

Аннотация. Цель исследования — экспериментальное обоснование способа стимуляции спаечного процесса в плевральной полости у лабораторных животных. *Материалы и методы.* Исследования проводили на 80 лабораторных крысах-самках породы «стандарт» массой 200 ± 50 г. Все экспериментальные животные были разделены на две группы: по 40 крыс в каждой. В первую группу входили экспериментальные животные, которым осуществляли плевродез висцерального и парietального листков плевры излучением твердотельного лазера (лазерный аппарат Lasermid 1–10, ближнего инфракрасного диапазона); во вторую группы входили экспериментальные животные, которым осуществляли плевродез висцерального и парietального листков плевры ультразвуковым воздействием с помощью портативного аппарата для ультразвуковой терапии Sonopulse S2N с одновременной обработкой фотосенсибилизатором — гипохлоритом натрия. По стандартной методике проводили общую анестезию лабораторных животных. В асептических условиях выполняли торакотомию через 5–6 межреберья от околопозвоночной до среднеключичной линии. Выполняли атипичную резекцию легкого. В дальнейшем на место резекции и здоровую (неизменённую) область легких животных первой группы воздействовали излучением твердотельного лазера длиной волны 1064 нм, мощностью 7–8 Вт. Воздействие на плевральные листки проводили при помощи кварцевого световода бесконтактным способом, но не более 2 см от плевры и визуальной оценкой появления признаков коагуляции (так как при прямом контакте с плеврой происходит её деструкция, а более 2 см — не будет коагуляции, это связано с плотностью мощности лазерного луча). Животным второй группы на место резекции и на здоровую (неизменённую)

was confirmed by the results of histologic study. *Conclusions.* Thus, the conducted experiment proved that the use of sodium hypochlorite as a photosensitizer followed by ultrasound exposure using a portable ultrasound therapy device Sonopulse S2N in continuous mode for 10 minutes allows to provide better adhesion after the completion of the formation of coarse-fiber connective tissue and to achieve denser and more extensive sclerosing when exposed to both pleural sheets, reducing the treatment time by 4 days.

Keywords: bullous emphysema, minimally invasive thoracoscopic surgeries, adhesion stimulation, laser surgery, sonodynamic therapy.

область легких воздействовали ультразвуковым воздействием с помощью портативного аппарата для ультразвуковой терапии Sonopulse S2N с рабочей частотой ультразвуковых колебаний от 1 МГц до 3 МГц $\pm 10\%$, рабочей площадью излучателя от 1 см² до 3,5 см² в непрерывном режиме в течение 10 минут с одновременной обработкой областей фотосенсибилизатором — гипохлоритом натрия. *Результаты.* Благодаря данному способу у экспериментальных животных второй группы по сравнению с первой группой наблюдался более ранний, выраженный и объемный спаечный процесс, что подтверждалось результатами гистологического исследования. *Выводы.* Таким образом, проведенный эксперимент доказал, что использование гипохлорита натрия в качестве фотосенсибилизатора с последующим ультразвуковым воздействием с помощью портативного аппарата для ультразвуковой терапии Sonopulse S2N в непрерывном режиме в течение 10 минут, позволяет обеспечить лучшую адгезию после завершения формирования грубоволокнистой соединительной ткани и достичь более плотного и более обширного склерозирования при воздействии на оба листка плевры, сокращая сроки лечения на 4 дня.

Ключевые слова: буллезная эмфизема, миниинвазивные торакоскопические операции, стимуляция спаечного процесса, лазерная хирургия, сонодинамическая терапия.

Введение

Эмфизема легких продолжает оставаться одной из наиболее распространенных патологий дыхательной системы [1]. В клинической практике различают две основные формы патологии: буллезную болезнь легких и буллезную эмфизему. Буллезная болезнь проявляется образованием воздушных полостей (булл) в структурно неизменной легочной ткани, тогда как буллезная эмфизема характеризуется формированием булл на фоне диффузного эмфизематозного поражения легких.

Наиболее серьезными осложнениями буллезной эмфиземы считаются пневмоторакс, который может осложняться развитием эмпиемы плевры, а также легочное кровотечение и, в редких случаях, малигнизация патологически измененных участков легочной ткани [2-4]. При формировании гигантских булл ведущим клиническим симптомом становится прогрессирующая дыхательная недостаточность.

Патогенетической основой образования булл служат дегенеративные изменения межалвеолярных перегородок, приводящие к их атрофии, сливанию альвеол и повреждению терминальных бронхиол [5]. Эти патологические изменения инициируют развитие панацинарной эмфиземы, которая впоследствии трансформируется в буллезную форму. Наиболее часто подобные изменения локализуются в верхних долях легких, при этом буллы отделены от висцеральной плевры тонким слоем легочной ткани.

Буллезная патология легких проявляется различными формами распространенности, что дает основание для клинической классификации заболевания. В зависимости от характера поражения выделяют четыре основных типа: солитарный (единичная булла), фокальный (группа булл в пределах одной доли), мультифокальный (поражение нескольких долей) и диффузный (вовлечение всех легочных долей с возможным преобладанием изменений в определенных участках) [6,7].

Особую значимость приобретает онкологическая составляющая данной патологии. Многочисленные исследования подтверждают, что буллезные изменения в легких повышают риск развития злокачественных новообразований в четыре раза по сравнению с неизменной легочной тканью. Это обуславливает необходимость особого внимания к любым патологическим уплотнениям или изменениям вблизи буллезных образований, требующим проведения расширенного диагностического поиска для исключения онкопатологии [8,9].

Социальная значимость буллезной патологии легких определяется тремя ключевыми аспектами. Во-первых, отмечается устойчивый рост заболеваемости среди лиц трудоспособного возраста. Во-вторых, существуют значительные сложности в выборе оптимальных подходов к лечению. В-третьих, сохраняется острая потребность в разработке эффективных хирургических методик. Особую тревогу вызывает высокий процент госпитализаций (10–35 % случаев), связанных с развитием спонтанного пневмоторакса как наиболее частого осложнения, что подчеркивает актуальность данной медицинской проблемы и необходимость поиска новых решений.

Совершенствование хирургических подходов к лечению буллезной патологии легких представляет собой актуальную задачу современной торакальной хирургии. Оптимизация лечебных стратегий позволит не только повысить эффективность терапии, но и существенно уменьшить вероятность рецидивов. Для достижения этих целей необходим комплексный подход, предусматривающий: 1) создание инновационных хирургических методик, 2) уточнение диагностических критериев, 3) разработку четких показаний к оперативному вмешательству, 4) внедрение передовых медицинских технологий [10].

Особый интерес представляет идиопатический (первичный) спонтанный пневмоторакс, развивающийся у пациентов без явных признаков легочной патологии. Клинические исследования демонстрируют прямую корреляцию между этим состоянием и наличием субплевральных булл — их выявляют у 76–100 % пациентов с данной формой пневмоторакса.

Диагностика субплевральных булл требует обязательного применения современных визуализационных методов. Компьютерная томография органов грудной клетки (КТ ОГК) и торакоскопия являются золотым стандартом в выявлении данной патологии. Отсутствие доступа к этим высокотехнологичным методам диагностики существенно затрудняет своевременную постановку точного диагноза и начало адекватного лечения.

В связи с этим, алгоритм обследования пациентов с подозрением на первичный спонтанный пневмоторакс в обязательном порядке должен включать современные методы визуализации легких, такие как КТ ОГК или торакоскопическое исследование [11–14]. Это позволяет не только подтвердить диагноз, но и выбрать оптимальную тактику лечения, минимизировав риск повторных эпизодов заболевания.

Современные подходы к диагностике и лечению буллезных изменений легких при пневмотораксе требуют особого внимания. Выявление булл и блебов в легочной ткани становится решающим фактором при определении тактики лечения как первичного, так и рецидивирующего пневмоторакса. Клиническая практика показывает, что даже однократный эпизод пневмоторакса при наличии буллезных изменений является веским основанием для рассмотрения вопроса о плановом хирургическом вмешательстве [15–17].

При этом важно учитывать диагностические особенности современных методов исследования. Компьютерная томография органов грудной клетки (КТ ОГК), несмотря на свою высокую информативность, имеет определенные ограничения в выявлении мелких воздушных полостей. Особые трудности возникают при ди-

агностике булл диаметром менее 1 см, что в некоторых случаях требует применения дополнительных методов исследования для полной оценки состояния легочной ткани.

Особый интерес в современной медицине представляет изучение возможностей плевродеза с использованием различных методов стимуляции (физических, химических или биологических). Этот подход рассматривается как перспективная альтернатива при специфических патологиях плевральной полости, а также у пациентов с противопоказаниями к радикальным хирургическим вмешательствам [18–20].

Плевральные спайки, являющиеся распространенным следствием различных патологических процессов в грудной полости, формируются вследствие воспалительных заболеваний легочной ткани, разнообразных поражений плевры, травматических повреждений грудной клетки и перенесенных торакальных операций. В настоящее время активно разрабатываются альтернативные методы терапии патологий плевральной полости, что особенно актуально для пациентов с ограниченными возможностями проведения традиционного хирургического лечения. Эти исследования направлены на поиск менее инвазивных, но не менее эффективных способов помощи данной категории больных.

В современной торакальной хирургии плевродез рассматривается как перспективная альтернатива традиционным хирургическим вмешательствам, особенно в случаях, когда радикальное лечение противопоказано или нежелательно. Данная методика реализуется тремя основными способами: посредством физического воздействия, химических агентов или биологических препаратов [21–24, 28].

В настоящее время плевродез продолжает активно изучаться в клинических исследованиях. Ученые сосредоточены на решении нескольких ключевых задач: определении четких показаний к применению, сравнительном анализе эффективности различных методик (физической, химической и биологической), а также разработке оптимальных протоколов выполнения процедуры. Особую актуальность эти исследования приобретают в контексте лечения пациентов с абсолютными противопоказаниями к хирургическому вмешательству [25–27, 29].

Несмотря на очевидный потенциал плевродеза в терапии патологий плевральной полости, для его широкого внедрения в клиническую практику требуется проведение дополнительных масштабных исследований. Эти исследования должны обеспечить доказательную базу для стандартизации методики, объективной оценки ее эффективности и безопасности, а также определения

оптимальных показаний к применению в различных клинических ситуациях.

В связи с вышеперечисленным, целью исследования стало экспериментальное обоснование способа стимуляции спаечного процесса в плевральной полости у лабораторных животных.

Материалы и методы исследования

Исследования проводили на 80 лабораторных крысах-самках породы «стандарт» массой 200 ± 50 г. Все манипуляции и содержание животных было регламентировано локальным этическим комитетом Медицинского университета «Реавиз» (протокол № 10, 10.10.2024). Условия содержания в виварии лабораторных животных регламентированы РД-АПК 3.10.07.02-09 «Методические рекомендации по содержанию лабораторных животных в вивариях научно-исследовательских институтов и учебных заведений», приказом Министерства здравоохранения Российской Федерации от 01.04.2016 г. № 199н «Об утверждении правил надлежащей лабораторной практики», ГОСТ 33216-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за лабораторными грызунами и кроликами» (актуализированным от 01.01.2021).

Все экспериментальные животные были разделены на две группы: по 40 крыс в каждой. В первую группу входили экспериментальные животные, которым осуществляли плевродез висцерального и париетального листков плевры излучением твердотельного лазера (лазерный аппарат Lasermid 1–10 (Россия), ближнего инфракрасного диапазона); во вторую группу входили экспериментальные животные, которым осуществляли плевродез висцерального и париетального листков плевры ультразвуковым воздействием с помощью портативного аппарата для ультразвуковой терапии Sonopulse S2N (SonoScape Medical Corp., Китай) с одновременной обработкой фотосенсибилизатором — гипохлоритом натрия.

По стандартной методике проводили общую анестезию лабораторных животных. В асептических условиях выполняли торакотомию через 5–6 межреберья от околопозвоночной до среднеключичной линии. Выполняли атипичную резекцию легкого.

В дальнейшем на место резекции и здоровую (неизменённую) область легких животных первой группы воздействовали излучением твердотельного лазера длиной волны 1064 нм, мощностью 7–8 Вт. Воздействие на плевральные листки проводили при помощи кварцевого световода бесконтактным способом, но не более 2 см от плевры и визуальной оценкой появления признаков коагуляции (так как при прямом контакте с плеврой про-

исходит её деструкция, а более 2 см — не будет коагуляции, это связано с плотностью мощности лазерного луча).

Животным второй группы на место резекции и на здоровую (неизменённую) область легких воздействовали ультразвуковым воздействием с помощью портативного аппарата для ультразвуковой терапии Sonopulse S2N с рабочей частотой ультразвуковых колебаний от 1 МГц до 3 МГц $\pm 10\%$, рабочей площадью излучателя от 1 см² до 3,5 см² в непрерывном режиме в течение 10 минут с одновременной обработкой областей фотосенсибилизатором — гипохлоритом натрия.

Воздействие в каждой группе вели под визуальным контролем и прекращали при появлении признаков коагуляции. После чего зашивали рану грудной стенки.

Результаты исследования

Благодаря данному способу у экспериментальных животных второй группы по сравнению с первой группой наблюдался более ранний, выраженный и объемный спаечный процесс, что подтверждалось результатами гистологического исследования.

Микроскопически у животных первой группы через 14 дней после оперативного вмешательства в зоне воздействия лазером на оба слоя плевры (париетальный и висцеральный) наблюдались следующие изменения: грануляционная ткань, образование рыхлой волокнистой соединительной ткани, утолщение стенок между альвеолами легких с признаками воспаления и отека, а также лейкоцитарная инфильтрация (рисунок 1). У животных второй группы уже на 10 день было отмечено: незначительный очаг воспаления, появление спаек на обоих слоях плевры, начало формирования новой молодой соединительной ткани (рисунок 2).

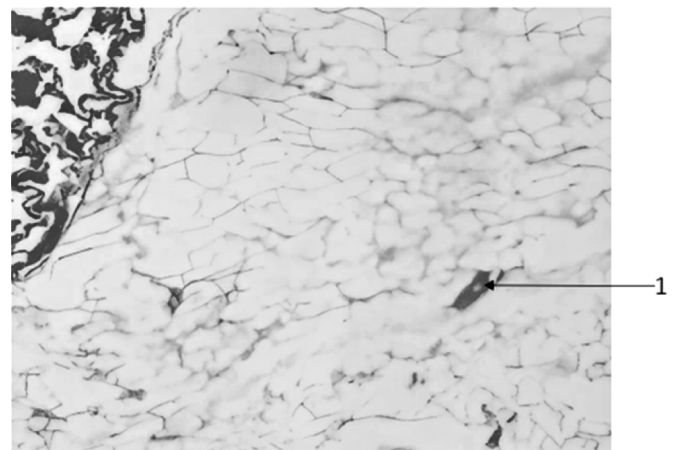


Рис. 1. Результаты микроскопического исследования плевральной полости лабораторных животных первой группы

Примечание: цифрой 1 на рисунке обозначена грануляционная ткань.

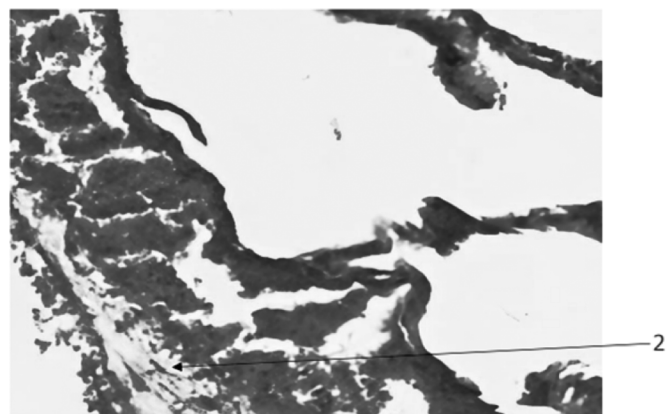


Рис. 2. Результаты микроскопического исследования плевральной полости лабораторных животных второй группы

Примечание: цифрой 2 на рисунке обозначено появление спаек на обоих слоях плевры, начало формирования новой молодой соединительной ткани.

Заключение

Таким образом, проведенный эксперимент доказал, что использование гипохлорита натрия в качестве фотосенсибилизатора с последующим ультразвуковым воздействием с помощью портативного аппарата для ультразвуковой терапии Sonopulse S2N в непрерывном режиме в течение 10 минут, позволяет обеспечить лучшую адгезию после завершения формирования грубоволокнистой соединительной ткани и достичь более плотного и более обширного склерозирования при воздействии на оба листка плевры, сокращая сроки лечения на 4 дня.

ЛИТЕРАТУРА

1. Клинические рекомендации «Эмфизема легких» (утв. Минздравом России, 2021 г.) 18.10.2021. Разработчик клинической рекомендации — Российское респираторное общество Одобрено Научно-практическим Советом Минздрава РФ.
2. Бродская О.Н., Поливанов Г.Э. Буллезная эмфизема и буллезная болезнь легких. Практическая пульмонология. 2019; 1: 15–21
3. Корымасов Е.А. и др. Национальные клинические рекомендации «Эмпиема плевры» — М.: 2015. — 33 с.
4. Базаров Д.В. Обоснование показаний и объема резекции при хирургическом уменьшении легкого у больных диффузной эмфиземой Дисс... на к.м.н. Москва. 2007. 1с.
5. Иванов С.В., Лазаренко В.А., Юдина С.М., и др. Цитоморфологические изменения в легких при моделировании буллезной эмфиземы в зависимости от стимуляции неоколлагеногенеза в эксперименте. Человек и его здоровье. 2019. №2.
6. Горбунков С.Д., Варламов В.В., Черный С.М., и др. Критерии хирургического риска у больных с диффузной эмфиземой лёгких с крупными или гигантскими буллами. Вестник хирургии 2016. №3.
7. Raoof S., et al. Cystic lung diseases: algorithmic approach. Chest. 2016; 150 (4): 945–965
8. Жестков К.Г., и др. Национальные клинические рекомендации по лечению спонтанного пневмоторакса. 2018; 22 с..03.2025).
9. Яблонский П.К., и др. Выбор лечебной тактики и возможности прогнозирования рецидивов у больных с первым эпизодом спонтанного пневмоторакса. Вестник Санкт-Петербургского университета. Серия 11. Медицина. 2010; 1: 118–129.
10. Дробязгин Е.А., и др. Двухпортовые видеоторакоскопические операции при буллезной эмфиземе легких. Эндоскопическая хирургия. 2020; 26 (4): 22–27.
11. Корымасов Е.А., и др. Анализ ошибок, опасностей и осложнений в лечении спонтанного пневмоторакса. Тольяттинский медицинский консилиум. 2013; 3-4: 44–51.
12. Афендулов С.А., Мощин С.А. Современные способы лечения спонтанного пневмоторакса. Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2009; 8 (1): 58–61.
13. Полянцев А.А., и др. Ошибки, опасности, осложнения при первом эпизоде спонтанного пневмоторакса. Хирургия. Журнал им. Н.И. Пирогова. 2018; 3: 64–69.
14. Яблонский П.К. Протоколы оказания помощи пациентам со спонтанным пневмотораксом. СПб. 2013. — 42
15. Asano H., et al. Risk factors for recurrence of primary spontaneous pneumothorax after thoracoscopic surgery. J Thorac Dis. 2019; 11 (5): 1940–1944.
16. Bintliffe O.J., et al. Lung Parenchymal Assessment in Primary and Secondary Pneumothorax. Annals of the American Thoracic Society. 2016; 13 (3): 350–355.
17. Сушко А.А., и др. Миниинвазивная хирургия пневмоторакса. Журнал Гродненского государственного медицинского университета. 2014; 3 (47): 21–23.
18. Соколов С.А., и др. Оригинальный способ тотальной плеврэктомии в радикальном оперативном пособии при первичном спонтанном пневмотораксе. Омский научный вестник. 2014; 128 (1): 60–62
19. Воробьев А.А., Калашников А.В., Салимов Д.Ш. Патологические проявления внутриплевральной адгезии. Современная наука и инновации. 2017; 1: 228–236.
20. Калашников А.В., Воробьев А.А., Салимов Д.Ш. и др. Стимуляция адгезиогенеза при хронической эмпиеме плевры. Новости хирургии. 2018; 4 (26): 412–419.
21. Чикинев Ю.В., и др. Анализ осложнений торакоскопических оперативных методов лечения буллезной формы эмфиземы легких. Сибирский научный медицинский журнал. 2018; 1: 65–68.
22. Милованов А.П. Патолого-анатомический анализ причин смертей. — М.: Медицина. 2003; 76 с.
23. Чикинев Ю.В., Дробязгин Е.А., Пионтковская К.А., и др. Сравнительная оценка торакоскопии и деструкции булл в сочетании с плевродезом и плеврэктомией. Вестник хирургии. 2016. №2.

24. Иванов О.В., Клименко В.Н., Решетов А.В. Экономическое обоснование использования амбулаторного плевродеза в лечении экссудативных опухолевых плевритов. Ученые записки СПбГМУ им. И.П.Павлова. 2020. №1.
25. Чарышкин А.Л., Кузьмина Е.А., Хуснутдинов Б.И., и др. Методы лечения резистентного экссудативного плеврита. Ульяновский медико-биологический журнал. 2020. №1.
26. Плаксин С.А., Фаршатова Л.И. Диагностические и лечебные возможности видеоторакоскопии при плевральных выпотах различной этиологии. Пермский медицинский журнал. 2017. №2.
27. Плаксин С.А., Фаршатова Л.И. Роль торакоскопии и плевродеза в диагностике и лечении воспалительных плевральных выпотов. Вестник хирургии 2018. №6.
28. Хмара А.Д., Мудрак Д.А., Капралов С.В., Полиданов М.А., Данилов А.Д., Волков К.А., Петрунькин Р.П. Патоморфологическая оценка результатов экспериментального способа лазерного плевродеза у крыс. Морфологические ведомости. 2025; 33(1): id-916.
29. Хмара А.Д., Капралов С.В., Полиданов М.А., Масляков В.В., Данилов А.Д., Волков К.А. Хирургическая тактика в лечении двухсторонней буллезной эмфиземы легких. // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и Технические Науки. 2025; 2: 230–235.

© Хмара Артём Дмитриевич (premdania@yandex.ru); Полиданов Максим Андреевич (maksim.polidanoff@yandex.ru);
Капралов Сергей Владимирович (sergejkapralov@yandex.ru); Петрунькин Родион Павлович;
Майоров Родион Владимирович (dostmay@mail.ru); Прохницкая Анастасия Алексеевна (a.prohan@rambler.ru)
Журнал «Современная наука: актуальные проблемы теории и практики»