Оригинальное исследование
УДК 616.31-001.17
http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2025-2-7

КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ЛЕЧЕНИЮ ПАЦИЕНТОВ С ТЕРМОИНГАЛЯЦИОННОЙ ТРАВМОЙ

Александра Александровна Козка[1]✉, Ольга Степановна Олифирова[2]

[1,2]Амурская государственная медицинская академия, Благовещенск, Россия
[1]✉kozka.a.89@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2908-0126
[2]olif.oc@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6524-5573

Аннотация. В статье проведен анализ результатов оказания медицинской помощи 42 пациентам с термоингаляционной травмой в период с 2012–2022 гг. в ожоговом отделении ГАУЗ АО «Амурской областной клинической больницы» г. Благовещенска. Основной причиной термоингаляционной травмы являлся пожар в замкнутом помещении. Изолированная термоингаляционная травма была у 8 человек (19 %), комбинированная – у 34 пострадавших (81 %) в сочетании с ожогами кожи.

Лечение пациентов с изолированной термоингаляционной травмой было направлено на купирование дыхательной недостаточности и профилактику гнойно-септических осложнений респираторного тракта путем применения санационной фибробронхоскопии и медикаментозной терапии.

Сочетание ожогов кожи с термоингаляционной травмой сопровождалось синдромом взаимного отягощения, который негативно повлиял на течение раневого процесса в виде длительной воспалительной реакции с формированием вторичных некрозов в ранах и частичного лизиса трансплантатов. В комплексе хирургического лечения применялись хирургическая обработка ран, этапные некрэктомии и неоднократные аутопластики расщепленным кожным трансплантатом. Для подготовки ран к успешному приживлению трансплантатов использовали современные раневые покрытия и различные методы стимуляции раневого процесса: вакуумтерапию, ультразвуковую обработку гранулирующих ран, магнитотерапию, гипербарическую оксигенацию, флюидизирующие кровати. Несмотря на трудности оказания помощи при этой патологии, благоприятный исход лечения был достигнут в 67,6 % случаев. Кожный покров полностью восстановлен у 22 (64,7 %) пострадавших. В комплексное лечение пациентов с ожогами кожи и термоингаляционной травмой, находящихся по показаниям на длительной искусственной вентиляции легких, входило выполнение ранней трахеостомии для адекватной санации трахеобронхиального дерева.

Ключевые слова: термоингаляционная травма, ожоги, трахеостомия, аутодермопластика

Для цитирования: Козка А.А. Комплексный подход к лечению пациентов с термоингаляционной травмой / А.А. Козка, О.С. Олифирова // Дальневосточный медицинский журнал. – 2025. – № 2. – С. 39-43. http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2025-2-7.

INTEGRATED APPROACH TO THE TREATMENT OF PATIENTS WITH THERMO-INHALATION INJURY

Alexandra A. Kozka[1]✉, Olga S. Olifirova[2]

[1,2]Amur State Medical Academy, Blagoveshchensk, Russia
[1]✉kozka.a.89@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-2908-0126
[2]olif.oc@mail.ru, https://orcid.org/0000-0002-6524-5573

Abstract. The article analyzes the results of medical care provided to 42 patients with thermal inhalation injury from 2012 to 2022 in the burn department of the State Autonomous Healthcare Institution of the Amur Region «Amur Regional Clinical Hospital» in Blagoveshchensk.

Treatment of patients with isolated thermal inhalation injury was aimed at relieving respiratory failure and preventing purulent-septic complications of the respiratory tract by using sanation fibrobronchoscopy and drug therapy.
The combination of skin burns with thermal inhalation trauma was accompanied by a mutual aggravation syndrome, which negatively affected the course of the wound process in the form of a long-term inflammatory reaction with the formation of secondary necrosis in the wounds and partial lysis of the transplants**.** The surgical treatment complex

included surgical wound treatment, staged necrectomy, and multiple autoplastics with a split skin transplant. To prepare wounds for successful engraftment of transplants, modern wound dressings and various methods of wound process stimulation were used: vacuum therapy, ultrasound treatment of granulating wounds, magnetic therapy, hyperbaric oxygenation, fluidizing beds. Despite the difficulties in providing assistance with this pathology, a favorable treatment outcome was achieved in 67,6 % of cases. The skin was completely restored in 22 (64,7 %) victims. The complex treatment of patients with skin burns and thermal inhalation trauma, who were on long-term artificial ventilation of the lungs, included early tracheostomy for adequate sanitation of the tracheobronchial tree.

Keywords: thermal inhalation injury, burns, tracheostomy, autodermoplasty

For citation: Kozka A.A. Integrated approach to the treatment of patients with thermo-inhalation injury / A.A. Kozka, O.S. Olifirova // Far Eastern medical journal. – 2025. – № 2. – P. 39-43. http://dx.doi.org/10.35177/1994-5191-2025-2-7.

Термоингаляционная травма (ТИТ) занимает значительное место в общей структуре ожогового травматизма. Данный термин включает в себя повреждения слизистой оболочки дыхательных путей и/или легочной ткани, возникающие в результате воздействия термических и/или токсико-химических факторов, но при сочетании ингаляционной травмы с ожогами кожи следует употреблять термин «многофакторное поражение» [1]. Пациенты с ТИТ относятся к категории пострадавших с критическими поражениями [2, 3].

Согласно современной литературе, сочетание ожогов кожи с ТИТ встречается у 30 % пострадавших с глубокими ожогами пламенем [4, 5]. Частицы копоти, ингалированные с вдыхаемым воздухом и осевшие на поверхности слизистой оболочки дыхательных путей, термически и химически воздействуют на реснитчатый эпителий, приводя его к гибели. Наличие ТИТ у пострадавших с ожогами кожи существенно влияет на течение ожоговой болезни, усугубляет тяжесть ожогового шока и приводит к развитию жизнеугрожающих состояний [6]. Летальность при ТИТ составляет от 33,3 до 82,2 %, что подчеркивает актуальность изучаемой проблемы [7, 8].

Комплексный подход к лечению пациентов с ТИТ направлен на профилактику и борьбу с бронхоспазмом, отеком и гибелью слизистой оболочки респираторного тракта. Ведущим в диагностике и лечении острых дыхательных поражений является неоднократная санационная фибробронхоскопия (ФБС) [1, 9]. При нарастании явлений дыхательной недостаточности выполняется интубация и проводится искусственная вентиляция легких (ИВЛ) пациентам с ТИТ. Однако в случаях длительного пребывания пациентов на ИВЛ требуется выполнение трахеостомии.

Цель исследования: анализ результатов оказания медицинской помощи пациентам с термоингаляционной травмой.

Материалы и методы

Проанализированы результаты лечения 42 пациентов с ТИТ в период с 2012–2022 гг. в ожоговом отделении ГАУЗ АО «Амурской областной клинической больницы» г. Благовещенска в возрасте 25-70 лет. Пациенты мужского пола составляли 32 человека (76,2 %) и женского – 10 человек (23,8 %). Причина ТИТ – пожар в замкнутом помещении.

Согласно классификации ТИТ, изолированное поражение было у 8 (19 %) человек, а сочетание ТИТ с ожогами кожи – у 34 (81 %) человек. Степень поражения ТИТ: легкая у 18 (42,9 %), среднетяжелая – 20 (47,6 %), тяжелая – у 4 (9,5%) пациентов. Площадь поражения кожного покрова: менее 10 % поверхности тела (п. т.) – у 8 (23,5 %) пострадавших; 10-30 % п. т. – у 15 (44,1 %); 50-90 % п. т. – у 11 (32,4 %) человек. Поражения кожи у 34 пациентов были II-III степени (МКБ-10). В большинстве случаев (85,7 %) пациенты были госпитализированы в ожоговое отделение в первые 6-8 часов от момента травмы. Летальность составила 26,2 % (11 пациентов из 42).

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью программного обеспечения Statistica 10,0 (StatSoft, Inc. 2011). Достоверным критерием значимости считали значение $p<0,05$.

Результаты и обсуждение

Комплексное лечение пациентов с ТИТ во всех случаях включало инфузионную (кристаллоидные и коллоидные растворы), противошоковую, обезболивающую (наркотические анальгетики, НПВС), антикоагулянтную, антибактериальную терапию, программированные ФБС, нутритивную поддержку («Изосурс», «Пептамен», «Нутридринк»).

Инфузионно-трансфузионная терапия при ТИТ с поражением кожи проводилась по схеме Паркланда с увеличением объема на 20 % от расчетного при ожоговом шоке чтобы добиться устойчивого темпа диуреза ≥1 мл/кг/ч. Купирование ожогового шока и лечение ожоговой болезни пациентов проводилось согласно клиническим рекомендациям [1].

Всем пострадавшим осуществлялась ранняя антибиотикопрофилактика инфекционных осложнений препаратами широкого спектра, а затем антибактериальную терапию корректировали с учетом результатов чувствительности микрофлоры. Антикоагулянтная терапия включала ведение гепарина 5000 ЕД каждые 4 часа под контролем показателей коагулограммы. Для профилактики стрессовых язв с первых часов травмы

применяли ингибиторы протонной помпы (омепразол 40 мг) или Н2-блокаторы гистаминовых рецепторов (квамател 20-40 мг).

Согласно клиническим рекомендациям Всероссийской общественной организации «Объединение комбустиологов мир без ожогов» [1] диагностическая фибробронхоскопия (ФБС) является обязательным методом диагностики ингаляционной травмы у пациентов с ожогами и отравлением угарным газом. При поступлении всем пострадавшим с признаками ТИТ выполняли ФБС. В последующем им неоднократно и одномоментно с ФБС проводили лаваж и санацию трахеобронхиального дерева. Этот метод наиболее эффективен в оказании помощи при ТИТ различной степени тяжести, что подтверждается результатами исследований по этой теме [10, 11].

Местное лечение ожогов кожи у 34 пациентов включало перевязки с растворами антисептиков (р-р 10 % Бетадина) и применение раневых покрытий («Воскопран», «Бранолинд Н», «Активтекс») и современных гидрогелевых повязок («Гидрокол», «Гидросорб», «Гелепран»). Для ускоренного отторжения ожогового струпа при ожогах III степени применяли некролитическую терапию (40 % салициловая мазь).

В целях скорейшего очищения ран от остатков некротизированных тканей, роста и «созревания» грануляций применяли современные методы стимуляции раневого процесса: вакуум-терапию, ультразвуковую обработку гранулирующих ран, магнитотерапию, гипербарическую оксигенацию (ГБО).

В лечении ожоговых ран магнитотерапия использовалась как самостоятельно, так и в комплексе с другими видами физического воздействия. Чтобы ликвидировать гипоксию тканей и улучшить периферическую гемодинамику применяли 7-10 сеансов ГБО 1,5-1,8 атм. в течение 40 минут.

Пациенты с обширными ожоговыми ранами находились на флюидизирующей кровати («Клинитрон», «Редактрон») как в отделении, так и в палате РАО, что способствовало сокращению сроков заживления поверхностных ожогов и формирования сухого струпа при глубоких поражениях кожи.

После купирования ожогового шока всем пациентам проводили первичную хирургическую обработку ран. При глубоких циркулярных ожогах туловища, верхних и нижних конечностей дополнительно выполняли некротомические разрезы с целью декомпрессии тканей. По показаниям производили этапные некрэктомии ожогового струпа для подготовки ран к последующему оперативному лечению – аутодермопластике. Аутодермопластика расщепленным кожным лоскутом являлась ведущим методом закрытия обширных дефектов кожи. Течение раневого процесса при ожогах кожи в сочетании с ТИТ отличалось затяжной воспалительной фазой, углублением поверхностных ожоговых ран и вторичными некрозами глубоких ран. В связи с этим сроки подготовки ран увеличились в среднем на 7,6±2,3 дней. У некоторых пациентов (3,8 %) произошел лизис трансплантатов, что потребовало выполнения повторной аутодермопластики расщепленным кожным лоскутом. Несмотря на имеющиеся трудности, нам удалось восстановить кожный покров у 22 пострадавших с глубокими ожогами за счет применения комплекса современных методов оптимизации раневого процесса. Койко-день составил в среднем 31,8±3,2 дней.

При изолированной ТИТ 8 пациентам проводились неоднократно лечебные ФБС, кислородотерапия, ингаляции бронхолитиками (атровент, беродуал), а также ингаляционными глюкокортикоидами (пульмикорт), антикоагулянты, антибактериальная терапия. В результате лечения у пациентов ТИТ (8) разрешилась без осложнений. Некоторые авторы считают целесообразным двухэтапное лечение изолированной ТИТ путем перевода больных из ожогового центра в специализированный пульмонологический стационар согласно клиническим рекомендациям [12]. Мы проводили лечение этой группы больных на базе ожогового отделения под контролем врача-пульмонолога, т. к. больница располагает всем необходимым диагностическим и лечебным оборудованием для оказания им помощи. Продолжительность лечения в отделении составило 18,3±2,1 дней.

По данным современной литературы интубация трахеи и проведение различных видов респираторной поддержки (вспомогательной, управляемой ИВЛ) проводится у тяжелообожженных по абсолютным показаниям при признаках дыхательной недостаточности III степени и/или угнетение сознания, а также у пострадавших с глубокими ожогами кожи > 40 % п. т., ингаляционной травмой III ст. (по данным ФБС) [1, 13]. Необходимость длительной ИВЛ является показанием к наложению трахеостомы. Необходимый срок выполнения трахеостомии до сих пор остается предметом дискуссий [14, 15].

Так у 4 пострадавших с ТИТ и ожогами площадью менее 10 % п. т. на 3-и сутки после травмы возникла клиника острой дыхательной недостаточности (ОДН), при этом санационные ФБС не имели эффекта. Им была выполнена интубация трахеи, а на 4-е сутки наложена трахеостомия.

7 пациентам с ожогами площадью 10-30 % п. т. на 7-е сутки после травмы была выполнена интубация трахеи и трахеостомия в связи с прогрессированием ОДН. ТИТ утяжелила течение ожоговой болезни.

Наиболее тяжелые пациенты (11) с ожогами площадью 50-90 % п. т. и ТИТ получали лечение в палате РАО на флюидизирующей кровати. Они находились в состоянии медикаментозного сна, на фоне которого проводилась комплексная патогенетическая терапия. В первые часы после травмы им была произведена интубация трахеи. Затем, учитывая тяжесть их состояния, длительное пребывание в РАО и продолжительные санационные ФБС, выполняли трахеостомию на 3-4-е сутки. Из этой группы умер один пациент с ТИТ и ожогами 90 % п. т. в течение первых суток без трахеостомии.

Таким образом, трахеостомию проводили 21 пострадавшему на 3-7-е сутки после интубации трахеи. Сроки выполнения трахеостомии зависили от состояния пациента, тяжести осложнений ожоговой болезни и ТИТ. Согласно данным литературы, такие сроки наложения трахеостомии считаются ранними [14]. По результатам наиболее крупных современных исследований, проводимых в развитых странах, ранняя трахеостомия не имеет существенных преимуществ перед поздней [16]. Следует отметить, что трахеостомия является инвазивным методом с сопутствующими операционными рисками и может вызывать формирование рубцового стеноза нижних отделов трахеи до 63 % [14]. Однако, как показывает наш опыт, наложение трахеостомы на 3-4 сутки позволяет осуществлять более эффективное лечение ТИТ, чем в более поздний период. После восстановления дыхательных путей 6 пациентам была удалена трахеостома на 24,3±1,7 дней. Поздние осложнения в виде стеноза трахеи возникли у 5 пострадавших из 21 человека с трахеостомой. Они были направлены на специализированное лечение.

Осложнения ТИТ отмечались у 36 пациентов в виде гнойного двустороннего эндобронхита (47,6 %), полисегментарной пневмонии (30,9 %) и острого респираторного дистресс-синдрома (21,5 %).

Летальный исход был у 11 (26,2 %) от всех пострадавших с ТИТ (42), а среди больных ТИТ и ожогами – 32,4 %. Из них имели место ожоги кожи: 2 пациента с площадью ожогов 30 % п. т. и 9 – с площадью 50-90 % п. т. Причиной смерти были тяжелый ожоговый шок, гнойно-септические осложнения, большая площадь и глубина поражения, ТИТ.

Выводы

1. При изолированной термоингаляционной травме эндоскопическая трахеобронхиальная санация и медикаментозная терапия оказались успешными у всех пострадавших.

2. Оказание медицинской помощи пациентам с термоингаляционной травмой и ожогами кожи имело благоприятный исход лечения в 67,6 % случаях.

3. Течение раневого процесса ожогов в сочетании с термоингаляционной травмой характеризовалось длительной воспалительной реакцией с формированием вторичных некрозов в ранах и частичным лизисом трансплантатов. Использование современных гидрогелевых покрытий и дополнительных методов стимуляции раневого процесса в сочетании с этапной некрэктомией дает возможность эффективной подготовки для закрытия дефектов кожи методом аутодермопластики расщепленным кожным лоскутом.

4. Применение ранней на 3-7-е сутки трахеостомии у пациентов с длительным нахождением на ИВЛ позволяет осуществлять адекватную санацию трахебронхиального дерева и снизить влияние термоингаляционной травмы на течение ожоговой болезни и раневого процесса.

Список источников

1. Медицинская профессиональная некоммерческая организация «Общероссийская общественная организация «Объединение комбустиологов «Мир без ожогов». Клинические рекомендации. Ожоги термические и химические. Ожоги солнечные. Ожоги дыхательных путей. – М., 2023. – 136 с.
Medical professional non-profit organization «All-Russian public organization» Association of Combustiologists «World without Burns». Clinical recommendations. Thermal and chemical burns. Sunburns. Burns of the respiratory tract. – M., 2023. – 136 p.
2. Фаязов А.Д., Камилов У.Р., Убайдуллаева В.У. Современные взгляды на диагностику и лечение термоингаляционной травмы // Вестник экстренной медицины. – 2013. – № 1. – С. 90-94.
Fayazov A.D., Kamilov U.R., Ubaidullaeva V.U. Modern views on the diagnosis and treatment of thermoinhalation injury // Bulletin of Emergency Medicine. – 2013. – № 1. – P. 90-94.
3. Aung M.T., Garner D., Pacquola M., et al. The use of a simple three-level bronchoscopic assessment of inhalation injury to predict in hospital mortality and duration of mechanical ventilation in patients with burns // Anaesth Intensive Care. – 2018. – № 46 (1). – P. 67-73.
4. Сайдуллаев З.Я., Карабаев Х.К., Мустафакулов И.Б., Рустамов М.И., Шеркулов К.У. Эндобрахиальная терапия в лечении больных термоингаляционной травмой // Проблемы биологии и медицины. – 2017. – № 2 (94). – С. 93-95.
Saidullaev Z.Ya., Karabaev Kh.K., Mustafakulov I.B., Rustamov M.I., Sherkulov K.U. Endobrachial therapy in the treatment of patients with thermal inhalation trauma // Problems of Biology and Medicine. – 2017. – № 2 (94). – P. 93-95.
5. 5. Yunusov O., Shakirov B., Tagaev K., Hakimov E., Karabaev H. Violation of the Volume of Circulating Blood and Coating System during a Burning Shock // EAS J Med Surg. – Vol. 1, № 1. – 2019. – P. 9-12.
6. Арзиева Г.Б., Негмаджанов Б.Б. Особенности течения беременности и родов у обоженных беременных женщин, с термоингаляционной травмой // Проблемы современной науки и образования. – 2022. – № 2 (171). – С. 63-67.

Arzieva G.B., Negmadzhanov B.B. Features of the course of pregnancy and childbirth in burned pregnant women with thermal inhalation injury // Problems of Modern Science and Education. – 2022. – № 2 (171). – P. 63-67.

7. Мустафакулов И.Б., Мухаммадиев М.Х., Самиев Х.Ж., Умедов Х.А., Жумагелдиев Ш.Ш. Диагностика лечение термоингаляционной травмы // International scientific review of the problems of natural sciences and medicine. – Boston, 2019. – P. 212-215.
   Mustafakulov I.B., Mukhammadiev M.Kh., Samiev Kh.Zh., Umedov Kh.A., Zhumageldiev Sh.Sh. Diagnostics and treatment of thermal inhalation injury // International Scientific Review of the Problems of Natural Sciences and Medicine. – Boston, USA, 2019. – P. 212-215.
8. Deutsch C.J., Tan A., Smailes S., Dziewulski P. The diagnosis and management of inhalation injury: An evidence based approach // Burns. – 2018. – № 44 (5). – P. 1040-1051. DOI: 10.1016/j.burns.2017.11.013.
9. Кунафин М.С., Хунафин С.Н., Нуртдинов И.Н., Гиматдинов Р.И., Кунафин А.С. Актуальные вопросы диагностики и лечения термоингаляционной травмы // Актуальные проблемы термической травмы: материалы научно-практическая конференция с международным участием. – СПб., 2021. – С. 41-42.
   Kunafin M.S., Khunafin S.N., Nurtdinov I.N., Gimatdinov R.I., Kunafin A.S. Current issues of diagnostics and treatment of thermal inhalation injury // Current issues of thermal injury: materials of a scientific and practical conference with international participation. – SPb., 2021. – P. 41-42.
10. Ташкинов Н.В., Тупикин А.Н., Мухамедова Л.А., Гараева Н.В. Лечебная фибробронхоскопия при термоингаляционных поражениях у больных с тяжелой ожоговой травмой // Дальневосточный медицинский журнал. – 2015. – № 2. – С. 26-29.
    Tashkinov N.V., Tupikin A.N., Mukhamedova L.A., Garayeva N.V. Therapeutic fibrobronchoscopy for thermal inhalation lesions in patients with severe burn injury // Far Eastern Medical Journal. – 2015. – № 2. – P. 26-29.
11. Mustafakulov I.B., Tagaev K.R., Umedov X.A. Our Experience in Treatment of Patients with Thermo-Inhalation Trauma // Journal of cardiorespiratory research. – 2020. – Vol. 2, № 1. – P. 53-58.
12. Дегтярева С.А., Шмелев Е.И., Смирнов С.В., Брыгин П.А. Этапное лечение больных с изолированной термоингаляционной травмой // Терапевтический архив. – 2013. – № 85 (8). – С. 56-59.
    Degtyareva S.A., Shmelev E.I., Smirnov S.V., Brygin P.A. Staged treatment of patients with isolated thermal inhalation injury // Therapeutic Archive. – 2013. – № 85 (8). – P. 56-59.
13. Алексеев А.А., Дегтярев Д.Б. Крылов К.М., Крутиков М.Г. Левин Г.Я., Луфт В.М., Орлова О.В., Паламарчук Г.Ф., Полушин Ю.С., Скворцов Ю.Р., Смирнов С.В., Тарасенко М.Ю., Шлык И.В., Шилов В.В. Диагностика и лечение ингаляционной травмы: методические рекомендации. – М., 2013. – 24 с.
    Alekseev A.A., Degtyarev D.B. Krylov K.M., Krutikov M.G. Levin G.Ya., Luft V.M., Orlova O.V., Palamarchuk G.F., Polushin Yu.S., Skvortsov Yu.R., Smirnov S.V., Tarasenko M.Yu., Shlyk I.V., Shilov V.V. Methodological recommendations «Diagnostics and treatment of inhalation injury» prepared according to the Decision of the III Congress of Combustiologists. – M., 2013. – 24 p.
14. Колесников В.Н., Ханамиров А.А., Дашевский С.П., Сунцов В.В., Лапин М.А., Микутин О.В. Трахеостомия у пациентов в отделении реанимации: современное состояние проблемы // Главный врач. – 2017. – № 4 (57). – С. 19-23.
    Kolesnikov V.N., Khanamirov A.A., Dashevsky S.P., Suntsov V.V., Lapin M.A., Mikutin O.V. Tracheostomy in patients in the intensive care unit: current state of the problem // Chief Physician. – 2017. – № 4 (57). – С. 19-23.
15. Bittner E.A., Schmidt U.H. The ventilator liberation process: update on technique, timing, and termination of tracheostomy // Respir. Care. – 2012. – Vol. 57, № 10. – P. 1626-1634.
16. Young D., Harrison D.A., Cuthbertson B.H., Rowan K., TracMan Collaborators. Effect of early vs late tracheostomy placement on survival in patients receiving mechanical ventilation: the TracMan randomized trial // JAMA. – 2013. – Vol. 309, № 20. – P. 2121-2129.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.
The authors declare no conflicts of interests.

Статья принята к публикации 12.04.2025.
The article was accepted for publication 12.04.2025.