

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm386>

Особенности выброса и топографии распределения частиц металла разрушенного снаряда после преодоления преграды из триплексного стекла автомобиля

С.В. Леонов^{1, 2}, П.В. Пинчук^{1, 3}, М.А. Сухарева², Ю.П. Шакирьянова^{1, 2},
Ю.Ю. Шишкин^{4, 5}

¹ 111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз, Москва, Российская Федерация

² Московский государственный медико-стоматологический университет имени А.И. Евдокимова, Москва, Российская Федерация

³ Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова, Москва, Российская Федерация

⁴ Бюро судебно-медицинской экспертизы Ивановской области, Иваново, Российская Федерация

⁵ Ивановская государственная медицинская академия, Иваново, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В статье изложены результаты экспериментального исследования по изучению особенностей преградной огнестрельной травмы с применением новейших современных методов судебно-медицинских исследований.

Цель исследования — изучение характера распределения частиц металла разрушенного огнестрельного снаряда после прохождения им преграды — триплексного стекла автомобиля.

Материал и методы. В качестве преграды использованы автомобильные лобовые триплексные стёкла, расположенные под углом 60° к линии прицеливания. Выстрелы производили из карабина «Сайга-МК» патронами 5,45×39 БПЗ FMJ. При производстве экспериментов выстрелы осуществляли с расстояния 10 м (всего произведено 30 выстрелов). В качестве мишени использована белая хлопчатобумажная ткань (бязь) размером 100×150 см, закреплённая на древесно-стружечном щите. Расстояние между мишенью и преградой — 100 см. Исследование мишеней проводилось с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi FlexSem 1000 II и энергодисперсионного рентгеновского спектрометра Bruker Quantax 80. В процессе эксперимента проводилась скоростная видеосъёмка видеокамерой Sony RX0 с частотой 1000 кадров в секунду.

Результаты. Покадровое изучение полученных видеозаписей показало, что отклонение полёта осколков снаряда от первоначальной траектории составляло до 10° в сторону нормали к тыльной поверхности стекла. Осколки снаряда, преодолев преграду, двигались поэтапно, в три фазы: преодоление преграды; выброс осколков в виде конуса; пробитие мишени и ретроградное движение осколков преграды. Проведённые посредством сканирующего электронного микроскопа и энергодисперсионного анализа исследования продемонстрировали соответствие топографии и морфологии распределения металлов на поверхности мишени данным анализа движения частей огнестрельного снаряда при скоростной видеосъёмке. Сплав металлов, обнаруженный на мишени, имел в своём составе свинец (Pb), медь (Cu), сурьму (Sb) и калий (K).

Заключение. При проведении экспериментального исследования установлено, что на поверхности мишени регистрируются различные виды частиц разрушившегося при прохождении преграды огнестрельного снаряда. Характер распределения частиц на мишени и их морфология позволят определять запреградное расстояние выстрела.

Ключевые слова: триплексное стекло автомобиля; металл выстрела; сканирующий электронный микроскоп; энергодисперсионный анализ.

Как цитировать

Леонов С.В., Пинчук П.В., Сухарева М.А., Шакирьянова Ю.П., Шишкин Ю.Ю. Особенности выброса и топографии распределения частиц металла разрушенного снаряда после преодоления преграды из триплексного стекла автомобиля // *Судебная медицина*. 2021. Т. 7, № 4. С. 13–18. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm386>

DOI: <https://doi.org/10.17816/fm386>

Features of the ejection and topography of the distribution of metal particles of a destroyed projectile after overcoming an obstacle made of triplex glass of a car

Sergey V. Leonov^{1,2}, Pavel V. Pinchuk^{1,3}, Marina A. Suhareva²,
Juliya P. Shakiryanova^{1,2}, Yuri Yu. Shishkin^{4,5}

¹ Chief State Center for Forensic Medicine and Forensic Expertise 111, Moscow, Russian Federation

² Moscow State University of Medicine and Dentistry named after A.I. Evdokimov, Moscow, Russian Federation

³ The Russian National Research Medical University named after N.I. Pirogov, Moscow, Russian Federation

⁴ Ivanovo Regional Bureau of Forensic Medical Expertise, Ivanovo, Russian Federation

⁵ Ivanovo State Medical Academy, Ivanovo, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: The article describes experimental studies aimed at studying the features of post-retrograde gunshot trauma using the latest modern methods of forensic medical research.

AIMS: The aim of the work was to study the nature of the distribution of metal particles of a destroyed firearm projectile after passing through an obstacle — triplex glass.

MATERIAL AND METHODS: As a barrier, car windshield triplex windows are used, located at an angle of 60° to the aiming line. The shots were fired from the Saiga-MK carbine with 5.45×39 BPZ FMJ cartridges. During the experiments, shots were fired from a distance of 10 m (a total of 30 shots were fired). White cotton fabric (calico) with dimensions of 100×150 cm, fixed on a chipboard, was used as targets. The distance between the target and the barrier was 100 cm. The targets were studied using a scanning electron microscope Hitachi FlexSem 1000 II and an energy-dispersive X-ray spectrometer Bruker Quantax 80. In the course of the experiment, high-speed video shooting was carried out with a Sony RX0 video camera with a frequency of 1000 fps.

RESULTS: A frame-by-frame study of the obtained video recordings showed that the deviation of the flight of the projectile fragments from the original trajectory was up to 10° side of the normal to the back surface of the glass. The fragments of the projectile, having overcome the barrier, moved in stages, in 3 phases: overcoming the barrier, ejecting fragments in the form of a cone, breaking through the target and retrograde movement of the fragments of the barrier. The scanning electron microscope and energy dispersive spectroscopy studies showed that the topography and morphology of the distribution of metals on the target surface correspond to the data of the analysis of the movement of parts of a firearm during high-speed video shooting. The metal alloy found on the target contained the following elements: plumbum (Pb), cuprum (Cu), antimony (Sb), and kalium (K).

CONCLUSION: When conducting an experimental study, it was found that various types of particles that were destroyed during the passage of the barrier, a firearm projectile, are registered on the surface of the target. The nature of the particle distribution and their morphology are very specific, and most likely a qualitative assessment of the projectile particles on the target will allow us to determine the distance of the shot beyond the barrier.

Keywords: triplex car glass; shot metal; scanning electron microscope; energy dispersion analysis.

To cite this article

Leonov SV, Pinchuk PV, Suhareva MA, Shakiryanova JP, Shishkin YuYu. Features of the ejection and topography of the distribution of metal particles of a destroyed projectile after overcoming an obstacle made of triplex glass of a car. *Russian Journal of Forensic Medicine*. 2021;7(4):13–18. DOI: <https://doi.org/10.17816/fm386>

Received: 22.03.2021

Accepted: 27.04.2021

Published: 21.02.2022

ОБОСНОВАНИЕ

Оценка поражающих свойств огнестрельных снарядов после преодоления ими различных преград широко представлена в специальной отечественной литературе. Работы известных советских и российских учёных-криминалистов [1–8] посвящены особенностям повреждений тканей человека после преодоления огнестрельными снарядами различных преград: некоторых видов стекла, листового металла, древесины, одежды и т.д. Акцент всех работ приходился на оценку морфологии и топографии входных огнестрельных повреждений кожного покрова и методик установления основных и дополнительных факторов выстрела. Несмотря на существенную давность издания большинства приведённых выше научных работ, в них рассматриваются возможности применения таких высокотехнологичных методов, как спектральные исследования, рентгенофлуоресцентный анализ и т.д. Вместе с тем применение электронной сканирующей микроскопии (scanning electron microscope, SEM) в сочетании с энергодисперсионным анализом (energy dispersive spectroscopy, EDS) позволяет не только исследовать частицы преграды на значительных увеличениях, но и визуально оценивать топографию распределения химических элементов в исследуемых образцах.

Цель исследования — изучение характера распределения частиц металла разрушенного огнестрельного снаряда после прохождения им преграды — триплексного стекла автомобиля.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на базе ФГКУ «111 Главный государственный центр судебно-медицинских и криминалистических экспертиз» Минобороны России и открытого тира стрелкового комплекса «Бисерово-спортинг» в период с 2019 по 2021 г.

В указанный период первоначально проводились экспериментальные отстрелы различных преград, после этого — исследования мишеней с помощью сканирующего электронного микроскопа Hitachi FlexSem 1000 II (Hitachi High-Tech Europe GmbH, Япония) и энергодисперсионного рентгеновского спектрометра Bruker Quantax 80 (Bruker Nano GmbH, Германия). Сканирование производили в режиме низкого вакуума (VP-SEM 30 Pa). Применяли увеличение от 45 до 2500 крат. Ускоряющее напряжение — 15 кВ, величина силы поглощённого тока — 600–800 пА, рабочая дистанция — 8,4–14 мм. Набор спектра осуществляли в автоматическом режиме до получения статистически достоверного результата (1 млн импульсов).

В качестве преграды использованы автомобильные лобовые триплексные стекла (от моделей автомобилей AUDI, BMW и Mercedes-Benz), расположенные под углом 60° к линии прицеливания. Выстрелы производили

из самозарядного карабина «Сайга-МК» (Концерн «Калашников», Россия) под патрон 5,45×39. При экспериментальных выстрелах применяли спортивно-охотничьи патроны 5,45×39 БПЗ FMJ с оболочечной биметаллической пулей (HP) со свинцовым сердечником, пустотой в головной части и срезанной вершинкой; масса пули — 3,85 г, начальная скорость пули — 940 м/с.

При производстве экспериментов выстрелы осуществляли с расстояния 10 м (всего произведено 30 выстрелов). В качестве мишени использована белая хлопчатобумажная ткань (бязь) размером 100×150 см, закреплённая на древесно-стружечном щите. Расстояние между мишенью и преградой — 100 см, что примерно соответствует расстоянию от лобового стекла автомобиля до водителя и пассажира переднего сидения.

Все быстропротекающие процессы взаимодействия огнестрельного снаряда и преграды изучали с помощью скоростной видеосъёмки видеокамерой Sony RX0 с частотой 1000 кадров в секунду, расположенной слева от мишени.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Покадровое изучение полученных видеозаписей показало, что отклонение полёта осколков снаряда от первоначальной траектории составляло до 10° в сторону нормали к тыльной поверхности стекла. Осколки снаряда, преодолев преграду, двигались поэтапно, в три фазы.

Первая фаза выброса осколков преграды (0,5 мс). Внедряясь в преграду, снаряд значительно деформировался, и его кинетическая энергия переходила в тепловую [9]. Эту фазу (преодоление преграды) камера запечатлела как светящееся оранжевое пятно (рис. 1, а). После пробития преграды камера регистрировала светящиеся частицы металла. В эту фазу выброс частиц снаряда представлялся в виде цилиндра, тыльное основание которого имело тенденцию к расширению (рис. 1, б).

Вторая фаза выброса осколков преграды (1 мс). Тотчас за преградой происходило резкое конусообразное расширение выброса частиц металла. Угол конуса равен 45° (рис. 1, в).

Третья фаза выброса осколков преграды (7–15 мс). Достигнув мишени, большая часть фрагментов, осколков и частиц снаряда пробивают материал мишени или фиксируются на её поверхности. Кроме этого, наблюдается отражение частиц металла от поверхности мишени в виде летящих в сторону от мишени в направлении стороны выстрела светящихся частиц (рис. 1, д).

Выполненные с применением электронной сканирующей микроскопии и энергодисперсионного анализа исследования показали соответствие топографии и морфологии распределения металлов на поверхности мишени данным анализа движения фрагментов огнестрельного снаряда при скоростной видеосъёмке. Сплав металлов,

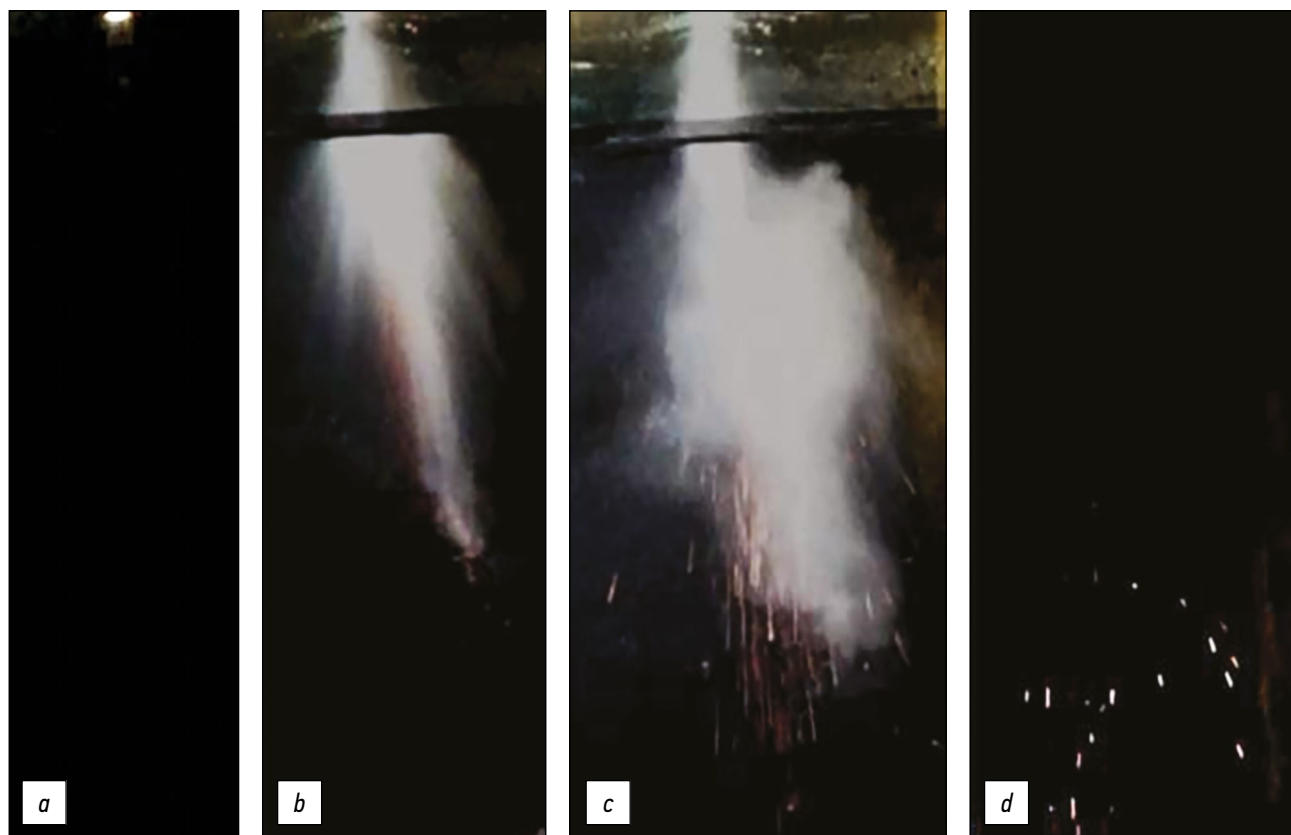


Рис. 1. Выброс осколков снаряда: *a* — внедрение пули в преграду; *b* и *c* — вторая фаза выброса частиц снаряда; *d* — разброс отражённых от мишени частиц снаряда.

Fig. 1. Ejection of projectile fragments: *a* — the introduction of the bullet into the barrier; *b* and *c* — the second phase of the ejection of projectile particles; *d* — the spread of projectile particles reflected from the target.

обнаруживаемый на мишени, имел в своём составе следующие элементы: свинец (Pb), медь (Cu), сурьму (Sb) и калий (K).

Повреждения, причинённые крупными фрагментами пули, располагались в окружности диаметром 12 ± 4 мм. Морфология их существенно различалась — от прямоугольных до щелевидных дефектов, и напрямую зависела от формы пулевого осколка, сформировавшего повреждение. Этот вид фрагментов имел поверхности,

характерные для разрушения материала в условиях сложного напряжённо-деформированного состояния с хорошо читаемыми поверхностями излома. Размеры фрагментов сильно варьировали, часто достигая размеров поперечного сечения снаряда (рис. 2, *a*).

Микроскопические частицы свинца на поверхности мишени оставляли три вида следов:

1) осыпь мелких сферических частиц металла, фиксированных к поверхности волокон нитей материала

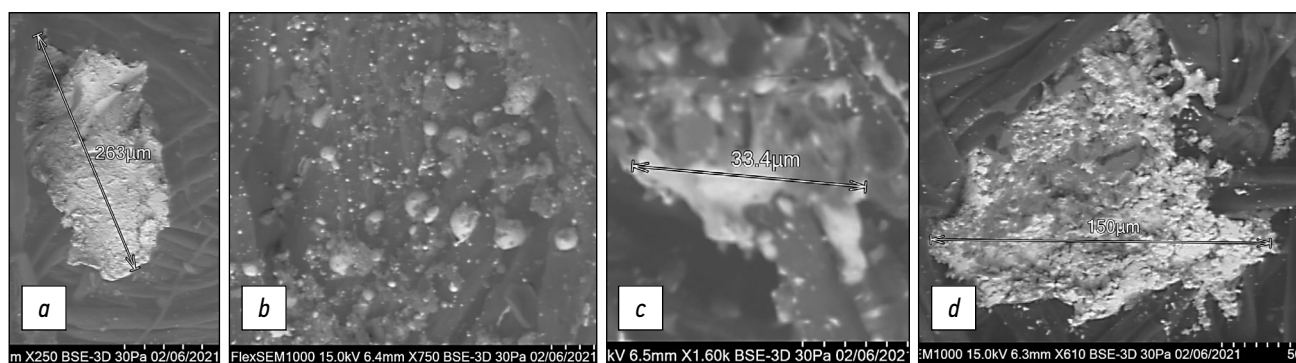


Рис. 2. Виды частиц снаряда: *a* — крупный фрагмент снаряда; *b* — сферические частицы; *c* — застывшие лужи расплавленного металла; *d* — полурасплавленная частица.

Fig. 2. Types of projectile particles: *a* — a large fragment of a projectile; *b* — spherical particles; *c* — frozen puddles of molten metal; *d* — a semi-molten particle.

- мишени; частицы имели различные размеры — от 1,2 до 20 мкм (рис. 2, *b*);
- 2) застывшие лужи отложившегося на поверхности мишени расплавленного металла размером до 150 мкм; неровные края этих следов имеют характеристику, свойственную разбрызгиванию в виде вторичных брызг, образовавшихся при соударении больших расплавленных частиц металла с мишенью (рис. 2, *c*);
- 3) частицы, имеющие шероховатую растрескавшуюся поверхность в центре и неровные края, характерные для разбрызгивания с выбросом вторичных элементов при соударении. Очевидно, что с преградой взаимодействовала не полностью расплавленная частица металла (рис. 2, *d*).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведённого экспериментального исследования установлено, что на поверхности мишени регистрируются различные виды частиц огнестрельного снаряда, разрушившегося при прохождении преграды. Характер распределения частиц и их морфология весьма специфичны. Полагаем, что количественная и качественная оценка частиц снаряда на мишени позволит определять запреградное расстояние выстрела в пределах действия частей огнестрельного снаряда (фрагментов, осколков, мелких частиц расплавленного металла).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Эйдлин Л.М. Огнестрельные повреждения: врачебное распознавание и криминалистическая оценка. Воронеж: Воронежское областное книгоиздательство, 1939. 223 с.
2. Эйдлин Л.М. Огнестрельные повреждения. 2-е изд., доп. и перераб. Ташкент: Медгиз, 1963. 331 с.
3. Бедрин Л.М. Об особенностях повреждений при обычных и некоторых своеобразных поражениях пульей винтовки: Автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.24. Воронеж, 1951. 21 с.
4. Огарков И.Ф. Влияние некоторых видов одежды и обуви на картину входных и выходных отверстий при выстрелах из винтовки с близких расстояний // Вопросы судебно-медицинской экспертизы / под ред. М. И. Авдеева. Москва, 1954. С. 40–45.

REFERENCES

1. Eidlin LM. Gunshot injuries: medical recognition and forensic assessment. Voronezh: Voronezh Regional Publishing House; 1939. 223 p. (In Russ).
2. Eidlin LM. Gunshot injuries. 2nd ed., revised and updated. Tashkent: Medgiz; 1963. 331 p. (In Russ).

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Исследование и публикация статьи осуществлены на личные средства авторского коллектива.

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

Вклад авторов. С.В. Леонов, М.А. Сухарева, Ю.П. Шакирьянова — сбор данных; М.А. Сухарева, Ю.П. Шакирьянова — написание черновика рукописи; П.В. Пинчук — научная редакция рукописи; С.В. Леонов, П.В. Пинчук, М.А. Сухарева, Ю.П. Шакирьянова, Ю.Ю. Шишкин — рассмотрение и одобрение окончательного варианта рукописи. Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. The study had no sponsorship.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. S.V. Leonov, M.A. Suhareva, J.P. Shakiryanova — data collection; M.A. Suhareva, J.P. Shakiryanova — drafting of the manuscript; P.V. Pinchuk — critical revision of the manuscript for important intellectual content; S.V. Leonov, P.V. Pinchuk, M.A. Suhareva, J.P. Shakiryanova, Yu.Yu. Shishkin — review and approve the final manuscript. Authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

5. Калмыков К.Н. Судебно-медицинская характеристика поражения обыкновенными и специальными пулями образца 1943 г., предварительно преодолевшими преграду: Автореф. дис. ... канд. мед. наук: 14.00.24. Ленинград, 1961. 23 с.
6. Молчанов В.И. Некоторые вопросы судебно-медицинской экспертизы огнестрельных повреждений: Дис. ... д-ра мед. наук: 14.00.24. Ленинград, 1964. 683 с.
7. Кустанович С.Д. Исследование повреждений одежды в судебно-медицинской практике. Москва: Медицина, 1965. 220 с.
8. Попов В.Л., Шигеев В.Б., Кузнецов Л.Е. Судебно-медицинская баллистика. Санкт-Петербург: Гиппократ, 2002. 431 с.
9. Зукас Дж.А., Николас Т., Свифт Х.Ф., и др. Динамика удара. Москва: Мир, 1985. 296 с.

3. Bedrin LM. On the features of damage in ordinary and some peculiar rifle bullet injuries: 14.00.24 [dissertation abstract]. Voronezh; 1951. 21 p. (In Russ).
4. Ogarkov IF. Influence of some types of clothing and shoes on the picture of the entrance and exit holes when firing a rifle from

close distances. In: Questions of forensic medical examination. Ed. by M.I. Avdeev. Moscow; 1954. P. 40–45. (In Russ).

5. Kalmykov KN. Forensic medical characteristics of the defeat by ordinary and special bullets of the 1943 sample, which previously overcame the obstacle: 14.00.24 [dissertation abstract]. Leningrad; 1961. 23 p. (In Russ).
6. Molchanov VI. Some questions of forensic medical examination of

gunshot injuries: 14.00.24 [dissertation]. Leningrad; 1964. 683 p. (In Russ).

7. Kustanovich SD. Investigation of clothing damage in forensic medical practice. Moscow: Meditsina; 1965. 220 p. (In Russ).
8. Popov VL, Shigeev VB, Kuznetsov LE. Forensic ballistics. Saint-Petersburg: Gippokrat; 2002. 431 p. (In Russ).
9. Zukas JA, Nicholas T, Swift HF, et al. Impact dynamics. Moscow: Mir; 1985. 296 p. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

***Леонов Сергей Валерьевич**, д.м.н., профессор;
адрес: Россия, 105094, Москва, пл. Госпитальная, д. 3;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4228-8973>;
eLibrary SPIN: 2326-2920; e-mail: sleonoff@inbox.ru

Пинчук Павел Васильевич, д.м.н., доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0223-2433>;
eLibrary SPIN: 7357-3038; e-mail: pinchuk1967@mail.ru

Сухарева Марина Анатольевна, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3422-6043>;
eLibrary SPIN: 4692-0197; e-mail: suha@yandex.ru

Шакирьянова Юлия Павловна, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1099-5561>;
eLibrary SPIN: 1429-6230; e-mail: tristeza_ul@mail.ru

Шишкин Юрий Юрьевич, д.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1029-9056>;
eLibrary SPIN: 6170-1340; e-mail: shishkinuu@rambler.ru

AUTHORS INFO

***Sergey V. Leonov**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
address: 3, Hospital square, Moscow, 105094, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4228-8973>;
eLibrary SPIN: 2326-2920; e-mail: sleonoff@inbox.ru

Pavel V. Pinchuk, MD, Dr. Sci. (Med.), Associate Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0223-2433>;
eLibrary SPIN: 7357-3038; e-mail: pinchuk1967@mail.ru

Marina A. Suhareva, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3422-6043>;
eLibrary SPIN: 4692-0197; e-mail: suha@yandex.ru

Juliya P. Shakiryanova, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1099-5561>;
eLibrary SPIN: 1429-6230; e-mail: tristeza_ul@mail.ru

Yuri Yu. Shishkin, MD, Dr. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1029-9056>;
eLibrary SPIN: 6170-1340; e-mail: shishkinuu@rambler.ru

* Автор, ответственный за переписку / The author responsible for the correspondence