

УДК 616.711-001.45-089-06:623.451

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma634519>

Определение состава и токсичности поражающих элементов при огнестрельных и минно-взрывных ранениях позвоночника

В.П. Орлов¹, Ю.А. Нащекина², А.В. Нащекин³, С.Д. Мирзаметов¹, С.М. Идричан¹,
М.Н. Кравцов¹, Д.В. Свистов¹

¹ Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия;

² Институт цитологии Российской академии наук, Санкт-Петербург, Россия;

³ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Оценивается целесообразность удаления поражающих элементов, полученных при огнестрельных и минно-взрывных ранениях позвоночника, на основании результатов исследования их состава и цитотоксичности. Исследованы 4 поражающих элемента, удаленных из позвоночника и паравертебральных тканей. Элементный анализ проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа. Состав поражающих элементов изучен с помощью спектрального анализа. С применением метилтетразолиевого теста определяли цитотоксичность среды с поражающими элементами по сравнению с контрольной средой. Морфологические изменения клеток оценивали с помощью оптической световой микроскопии, сравнивая с контрольной средой. По результатам элементного анализа все исследуемые осколки представлены сплавами различных металлов и других химических элементов. В процессе инкубирования осколков в полной питательной среде происходит достаточно активное окисление металлов в течение первых нескольких недель с появлением оранжевого осадка. При дальнейшем инкубировании осколков процесс окисления металлов продолжается достаточно интенсивно. Изменения в питательной среде, вызванные таким окислением, снижают пролиферацию клеток. Кроме того, наблюдается разница в морфологической структуре клеток, культивируемых в присутствии оксидов металлов и в контрольном образце, где клетки имеют характерную для них вытянутую веретеновидную форму, а в экспериментальных образцах — более округлую форму. По результатам метил-тетразолиевого теста выявлена высокая цитотоксичность всех исследованных осколков. Установлено, что все осколки в питательной среде выделяют токсичные окислы металлов, значительно снижающие жизнеспособность клеток независимо от элементного состава исследованных осколков. Для профилактики осложнений, связанных с возможной местной и/или системной токсичностью металлических осколков, а также ранних и поздних инфекционных осложнений, необходимо стремиться к максимальному удалению ранящих снарядов.

Ключевые слова: минно-взрывные ранения; огнестрельные ранения позвоночника; ранящий снаряд; токсичность осколков; метил-тетразолиевый тест; элементный анализ ранящих снарядов; сканирующая электронная микроскопия; спектральный анализ.

Как цитировать

Орлов В.П., Нащекина Ю.А., Нащекин А.В., Мирзаметов С.Д., Идричан С.М., Кравцов М.Н., Свистов Д.В. Определение состава и токсичности поражающих элементов при огнестрельных и минно-взрывных ранениях позвоночника // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2024. Т. 26, № 4. С. 559–568. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma634519>

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma634519>

Composition and toxicity of damaging fragments in gunshot and mine-blast spine injuries

V.P. Orlov¹, Yu.A. Nashchekina², A.V. Nashchekin³, S.D. Mirzametov¹, S.M. Idrichan¹, M.N. Kravtsov¹, D.V. Svistov¹

¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

² Institute of Cytology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia;

³ Ioffe Physical-Technical Institute, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

The feasibility of removing damaging fragments from the spine in gunshot and mine-blast injuries is assessed based on the data of their composition and cytotoxicity. Four damaging fragments removed from the spine and paravertebral tissues were analyzed. Elemental analysis was performed using a scanning electron microscope. The composition of the damaging fragments was studied using spectral analysis. The cytotoxicity of the medium with damaging fragments was evaluated using the methyl tetrazolium test, comparing to the control medium. Morphological changes in cells were assessed using optical light microscopy, comparing to the control. Elemental analysis showed that all studied fragments consisted of alloys of various metals and other chemical elements. During the first few weeks of incubation in a complete nutrient medium, metals underwent fairly active oxidation, producing an orange precipitate. During further incubation, the oxidation of metals continued quite intensively, leading to a change in the nutrient medium and reducing cell proliferation. Moreover, morphological examination showed that cells exposed to metal oxides were rounded, while control sample cells were elongated and spindle-shaped. The methyl tetrazolium test revealed high cytotoxicity of all the fragments studied. All fragments were found to release toxic metal oxides into the nutrient medium, significantly reducing cell viability, regardless of their elemental composition. To prevent complications associated with possible local and/or systemic toxicity of metal fragments, as well as early and late infections, it is recommended to remove projectiles to the maximum extent feasible.

Keywords: mine-blast injuries; gunshot spine injuries; wounding projectile; fragment toxicity; methyl tetrazolium test; elemental analysis of wounding projectiles; scanning electron microscopy; spectral analysis.

To cite this article

Orlov VP, Nashchekina YuA, Nashchekin AV, Mirzametov SD, Idrichan SM, Kravtsov MN, Svistov DV. Composition and toxicity of damaging fragments in gunshot and mine-blast spine injuries. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2024;26(4):559–568. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma634519>

Received: 22.07.2024

Accepted: 01.10.2024

Published: 16.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma634519>

脊柱枪伤和地雷爆炸伤杀伤碎片的毒性和成分测定

V.P. Orlov¹, Yu.A. Nashchekina², A.V. Nashchekin³, S.D. Mirzametov¹, S.M. Idrichan¹, M.N. Kravtsov¹, D.V. Svistov¹¹ Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;² Institute of Cytology of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia;³ Ioffe Physical-Technical Institute, Saint Petersburg, Russia

摘要

根据脊柱枪伤和地雷爆炸伤中杀伤碎片的成分和细胞毒性的研究结果，对清除杀伤碎片的合理性进行评估。研究了从脊柱和椎旁组织中取出的4枚杀伤碎片。使用扫描电子显微术进行了元素分析。利用光谱分析法研究了杀伤碎片的成分。采用甲基四氮唑试验，确定了与对照培养基相比杀伤碎片培养基的细胞毒性。与对照培养基相比，用光学显微镜评估了细胞的形态变化。根据元素分析结果，所研究碎片都是各种金属和其他化学元素的合金。在完全营养培养基中培养碎片的过程中，最初几周会发生相当活跃的金属氧化，并出现橙色沉淀。在碎片的进一步培养过程中，金属氧化过程会继续进行。这种氧化引起的营养培养基变化会降低细胞的增殖。此外，在细胞形态结构上，有金属氧化物存在的培养的与对照样品中的存在差异，对照样品中的细胞呈特征性的细长纺锤形，而实验样品中的细胞则呈更圆润的形状。甲基四氮唑试验的结果表明，所有研究的碎片都具有很强的细胞毒性。已确定，所有碎片在营养培养基中都会释放出有毒的金属氧化物，极大降低了细胞的存活能力，与所研究碎片的元素组成无关。为防止金属碎片可能引起的局部和/或全身毒性并发症，以及早期和晚期感染并发症，必要最大限度地清除致伤弹丸。

关键词：地雷爆炸伤；脊柱枪伤；致伤弹丸；弹片毒性；甲基四氮唑试验；致伤弹丸的元素分析；扫描电子显微术；光谱分析。

引用本文

Orlov VP, Nashchekina YuA, Nashchekin AV, Mirzametov SD, Idrichan SM, Kravtsov MN, Svistov DV. 脊柱枪伤和地雷爆炸伤杀伤碎片的毒性和成分测定. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2024;26(4):559–568. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma634519>

收稿：22.07.2024

录用：01.10.2024

发表：16.12.2024

ВВЕДЕНИЕ

Огнестрельные ранения позвоночника и спинного мозга как вид боевых повреждений остаются одной из наиболее трагических разновидностей ранений, сопровождающихся высокой летальностью во всех периодах травматической болезни спинного мозга и выраженной стойкой инвалидизацией большинства пострадавших [1]. В то же время огнестрельные ранения позвоночника и спинного мозга являются относительно редким видом боевой патологии. В период Великой Отечественной войны их частота зависела от вида боевых действий войск и составляла 0,5–3 % [2]. По данным локальных войн, в частности при ведении боевых действий в Республике Афганистан и Чеченской Республике, частота огнестрельных ранений позвоночника и спинного мозга составила 4,7–5,1 % [3]. Как показывает опыт высокотехнологичных локальных вооруженных конфликтов настоящего времени, в подавляющем большинстве случаев ранения являются минно-взрывными, осколочными, носят сочетанный и комбинированный характер, что обуславливает тяжесть состояния раненых. В последние годы хирурги придерживаются активной тактики лечения, указывая на ее высокую эффективность. Также лечение должно быть комплексным, особенно при сочетанном характере ранений [4, 5].

Огнестрельные ранения настоящего времени отличаются от ран прошлых войн еще большим разнообразием и тяжестью обширности зоны поражения тканей по периферии от раневого канала [6–8]. В локальных войнах боевые действия ведутся с применением современных видов оружия, и в каждом из регионов они обладают своей спецификой. Металлические осколки авиабомб, артиллерийских снарядов, ракет, гранат или наземных мин определяются как шрапнель.

В настоящее время при локальных военных конфликтах в период боевых действий активно используется артиллерия и различные виды ударных беспилотных летательных аппаратов, которые работают как взрывные устройства, есть примеры применения снарядов с обедненным ураном. Озабоченность по поводу воздействия обедненного урана на здоровье людей и окружающую среду побудила многие страны искать альтернативы ему в бронепробиваемых боеприпасах, и в качестве заменителей были предложены материалы на основе вольфрама. Однако после имплантации в мышцы конечностей лабораторных грызунов гранул из композита военного назначения (вольфрам/никель/кобальт) в них развивались высокоагрессивные злокачественные рабдомиосаркомы [9]. Кроме того, даже вдыхание частиц пыли пустыни во время войны в Персидском заливе приводило к вспышкам респираторных заболеваний неизвестной этиологии, называемых «тяжелым острым пневмонитом». Более тщательное исследование пыли иракской пустыни показало, что эти частицы имели глинистую или кварцевую

сердцевину, окруженную неорганическим слоем карбоната кальция, содержащего различные металлы, в том числе (в порядке уменьшения концентрации) алюминий, железо, уран, никель, кобальт, медь, свинец, хром [10].

Свинец, обычно содержащийся в пулях, представляет собой химический элемент, классифицируемый как тяжелый металл, который может вызывать повреждения посредством ионной мимикрии, нарушения внутриклеточного гомеостаза кальция, ингибирования синтеза оксида азота, производства окислительного стресса и изменения транскрипции генов, включая образование подострых и отсроченных абсцессов [11].

Цель исследования — оценить целесообразность извлечения металлических осколков, полученных при огнестрельных и минно-взрывных ранениях позвоночника, на основании результатов исследования их состава и цитотоксичности по отношению к мезенхимным стромальным клеткам (МСК).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом исследования служили поражающие элементы, удаленные из позвоночника и паравертебральных тканей. Показаниями к удалению металлических осколков при ранениях позвоночника и спинного мозга стали слепые проникающие ранения позвоночника и спинного мозга, корешков конского хвоста, а также слепые непроникающие и паравертебральные ранения позвоночника. Доступные металлические осколки удалялись с применением малоинвазивных технологий (тубусных ретракторов и эндоскопически; рис. 1).

Для определения состава и цитотоксичности ранящих снарядов были отобраны 4 образца. С целью проведения цитологического исследования первым этапом выполняли подготовку осколков. Металлические осколки поражающих элементов, удаленные из спинного мозга и позвоночника, тщательно отмывали в проточной воде и механически очищали от органических веществ, которые находились на их поверхности. После этого проводили снятие окислов с поверхности осколков с помощью металлической щеточки, затем повторно промывали осколки в проточной воде, высушивали и только после этого отправляли на исследование. Элементный анализ проводили с помощью сканирующего электронного микроскопа (СЭМ) «JSM-7001F» фирмы «Jeol» (Япония). Состав осколков изучен с помощью спектрального анализа, который проводился на базе Физико-технического института им. А.Ф. Иоффе Российской академии наук, Санкт-Петербург.

Для проведения теста на цитотоксичность образцы осколков стерилизовали в 70 % спирте и инкубировали в полной питательной среде (модифицированная среда игла Дульбекко) (Dulbecco's modified Eagle's medium — DMEM/F12) фирмы «Gibco» (США), содержащей 1 % незаменимых аминокислот, 10 об. % термически

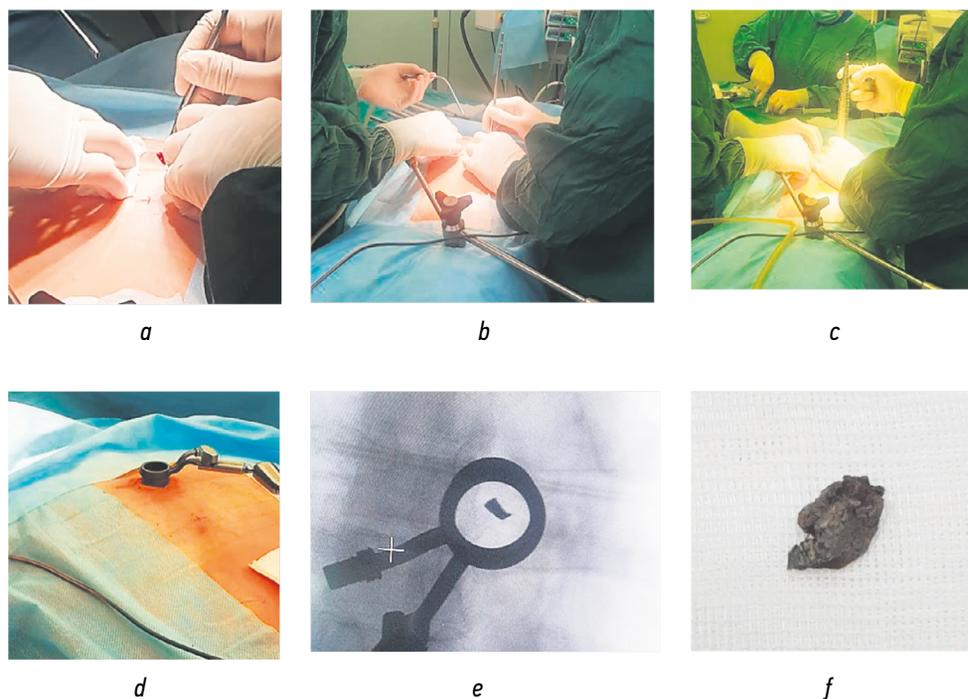


Рис. 1. Минимально инвазивное удаление осколка из паравертебральных мягких тканей: *a, b, c, d* — этапы выполнения доступа с применением тубулярных ретракторов и установки рабочего тубуса (диаметр 21 мм); *e* — коррекция положения тубуса под контролем рентгенографии; *f* — внешний вид удаленного ранящего снаряда

Fig. 1. Minimally invasive removal of a fragment from paravertebral soft tissues; *a, b, c, d* — stages of preparing access using tubular retractors and installation of a working sheath (21 mm in diameter); *e* — X-ray guided adjustment of the sheath position; *f* — removed wounding projectile

инактивированной фетальной бычьей сыворотки фирмы «HyClone» (США), 1 % L-глутамин, 50 Ед/мл пенициллина и 50 мкг/мл стрептомицина.

Для исследования цитотоксичности использовали клеточную линию человека FetMSCs — мезенхимные стромальные клетки человека (Институт цитологии Российской академии наук, г. Санкт-Петербург). Клетки культивировали в CO₂-инкубаторе при 37 °С в увлажненной атмосфере, содержащей воздух и 5 % CO₂ в питательной среде DMEM/F12. Для количественной оценки цитотоксичности оксидов металлов проводили метилтетразолиевый тест (МТТ), содержащий 3-(4,5-диметилтиазол-2-ил)-2,5-дифенилтетразолиум бромид (0,1 мг/мл).

Для эксперимента 5×10^3 клеток/(100 мкл×лунку) высевали в 96 луночных планшетах и культивировали в течение 24 ч для их прикрепления. Через 1 сут среду сливали и в лунки добавляли полную питательную среду, в которой в течение 3 недель инкубировали осколки. Через 3 сут среду удаляли и вносили 50 мкл/лунку среду DMEM/F12 с МТТ [12]. Клетки инкубировали в CO₂-инкубаторе в течение 2 ч при температуре 37 °С. После удаления надсадочной жидкости образованные метаболически жизнеспособными клетками кристаллы формазана растворяли в диметилсульфоксиде (50 мкл/лунку) и переносили в чистые лунки, а затем определяли жизнеспособность МСК путем измерения их оптической плотности на планшетном спектрофотометре при длине волны 570 нм. Аналогичные исследования проведены со

средой, период инкубирования которой составил 3 мес. Для расчета жизнеспособности МСК использовали анализ полиномиальной регрессии в программе Microsoft Excel (Microsoft Corporation, США).

Статистический анализ проводили путем использования методов статистической обработки, рекомендованных в медицине, фармации и медико-биологических исследованиях, с помощью программы Microsoft Excel 2010 (Microsoft Corporation, США). Размер выборки предварительно не рассчитывался.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Все исследуемые осколки представляют собой сплавы различных металлов и других химических элементов (рис. 2, табл. 1).

Разные осколки содержат в своем составе в основном кислород (O₂), в виде оксидов, а также железо (Fe) (образцы 1–4) или медь (Cu) (образцы 1, 3, 4). Во всех образцах также выявлено большое количество углерода (С). Магнитные свойства осколков отличались в зависимости от количества в них различных металлов. Лучшими магнитными свойствами обладали осколки, содержащие большее количество железа.

В процессе инкубирования осколков в полной питательной среде происходит достаточно активное окисление металлов в течение первых нескольких недель, о чем свидетельствует изменение окраски питательной среды

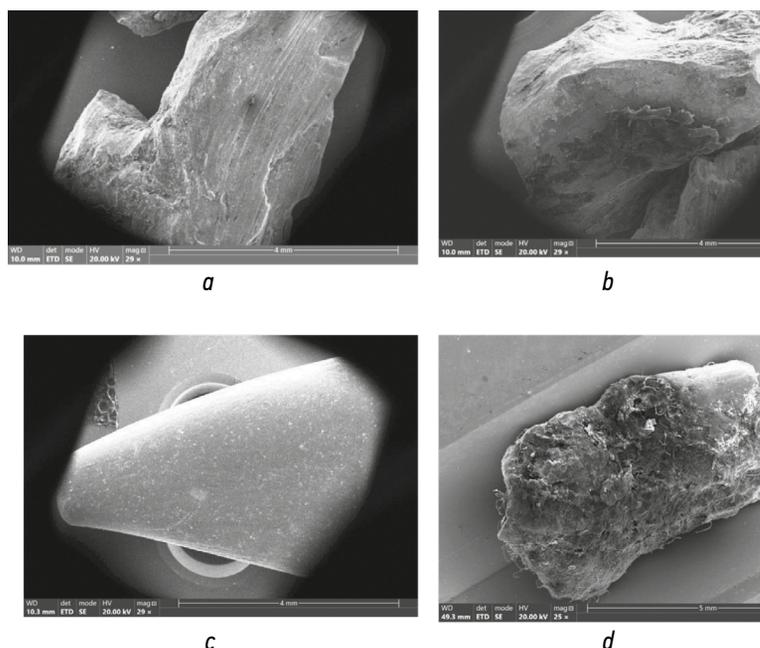


Рис. 2. Сканирующая электронная микроскопия поверхности четырех образцов осколков: *a* — образец 1; *b* — образец 2; *c* — образец 3; *d* — образец 4

Fig. 2. Scanning electron microscopy of the surface of four fragment samples; *a* — Sample 1; *b* — Sample 2; *c* — Sample 3; *d* — Sample 4

Таблица 1. Элементный состав четырех образцов осколков

Table 1. Elemental composition of four fragment samples

Образец 1		Образец 2		Образец 3		Образец 4	
Элемент	Массовая доля, %						
C	35,2	C	43,69	C	47,77	C	38,49
O	22,25	O	26	O	17,79	O	14,87
F	4,53	Na	2,41	F	1,75	F	4,43
Mg	0,19	Al	0,18	P	0,74	Na	2,01
Al	0,29	Si	0,59	Ca	1,1	P	0,27
Si	1,88	P	0,65	Mn	0,9	Cl	0,21
P	0,19	K	0,3	Fe	23,82	Ca	0,27
S	0,16	Ca	0,76	Cu	3,64	Cr	0,43
K	0,15	Cr	0,36	Zn	2,15	Fe	36,79
Ca	0,69	Fe	24,3	Mo	0,34	Co	0,08
Mn	0,45	Cu	0,37	—	—	Tb	2,15
Fe	27,26	Mo	0,38	—	—	—	—
Cu	4,16	—	—	—	—	—	—
Zn	2,6	—	—	—	—	—	—

и появление оранжевого осадка (рис. 3, *a*). В процессе дальнейшего инкубирования осколков процесс окисления металлов продолжается достаточно интенсивно, о чем свидетельствует увеличение интенсивности окраски и формирования плотного оранжевого осадка (рис. 3, *b*).

Для оценки потенциальной цитотоксичности осколков и оксидов металлов, образующихся в результате

инкубирования осколков в питательной среде, к МСК добавляли исследуемую питательную среду и культивировали в течение 3 сут. По истечении указанного времени морфологию клеток оценивали с помощью световой микроскопии (рис. 4).

Из рисунка 4 видно, что во всех 4 образцах присутствует осадок оксидов металлов в виде оранжевых

отложений. Такой осадок снижает пролиферацию клеток, о чем свидетельствует разница в количестве клеток в экспериментальных образцах по сравнению с контрольным, в котором по истечении 3 сут сформировался монослой клеток. Также наблюдается разница в морфологии клеток, культивируемых в присутствии оксидов металлов

и в контрольном образце. В отличие от контрольного образца, где клетки имеют характерную для них вытянутую веретеновидную форму, в экспериментальных образцах клетки имеют более округлую форму. Наибольшее количество расплывшихся клеток по сравнению с образцами 2–4 наблюдалось в образце 1.

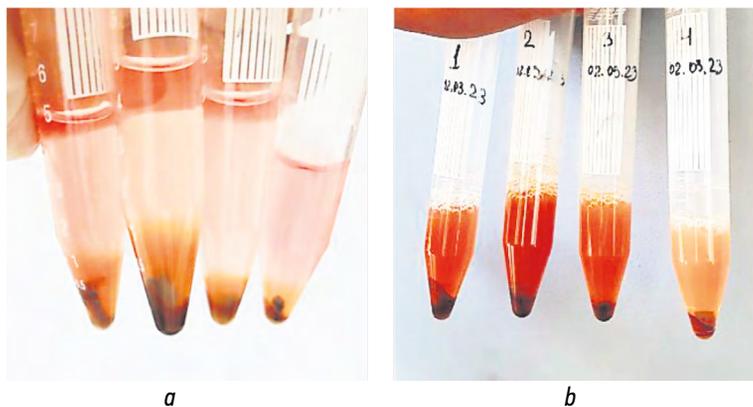


Рис. 3. Внешний вид питательной среды: *a* — после 3 нед. инкубирования осколков; *b* — после 3 мес. инкубирования осколков
Fig. 3. External appearance of the nutrient medium; *a* — after 3-week incubation with fragments; *b* — after 3-month incubation with fragments

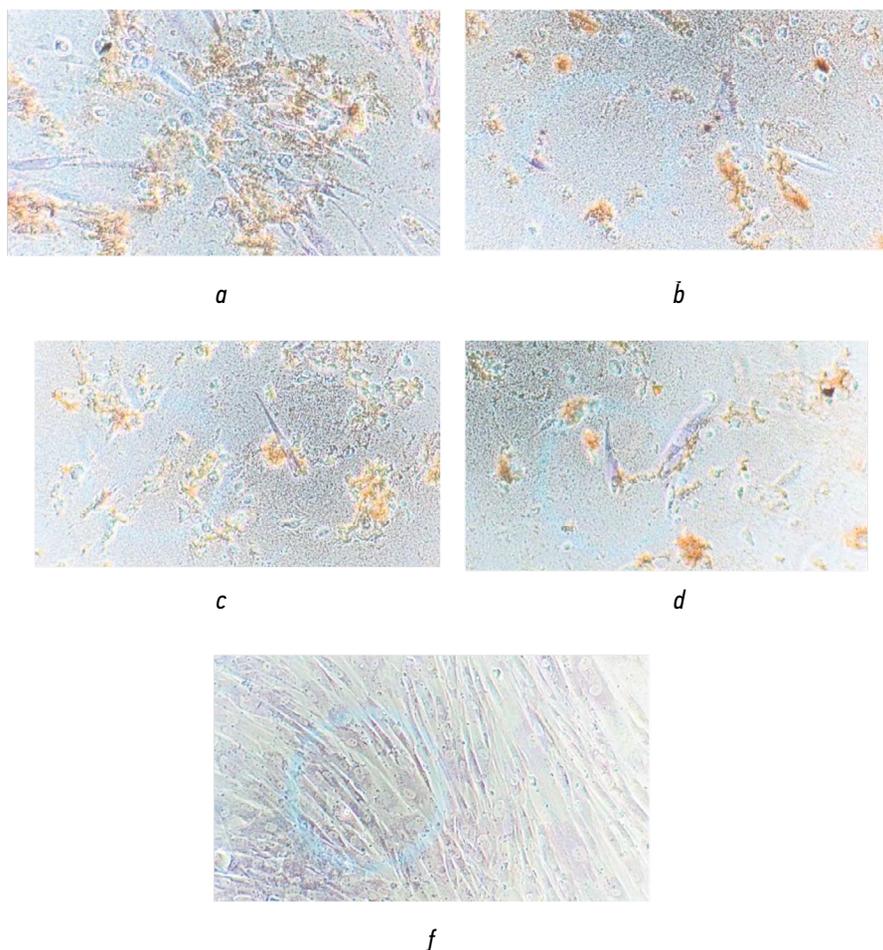


Рис. 4. Световая микроскопия МСК при культивировании в среде после инкубирования с осколками в течение 3 сут: *a* — образец 1; *b* — образец 2; *c* — образец 3; *d* — образец 4; *e* — контрольная среда
Fig. 4. Light microscopy of mesenchymal stromal cells cultured in the medium after incubation with fragments for 3 days; *a* — Sample 1; *b* — Sample 2; *c* — Sample 3; *d* — Sample 4; *e* — control medium

На рисунке 5 представлена диаграмма по оценке жизнеспособности МСК, культивируемых в питательной среде после 3 нед. инкубирования с осколками. Данные МТТ согласуются с результатами световой микроскопии. Количество жизнеспособных клеток в образцах 2–4 существенно уступает количеству клеток в контрольном образце. Количество жизнеспособных клеток

в образце 1 больше, чем в образцах 2–4, но тоже уступает контрольному образцу.

При более длительном инкубировании осколков в питательной среде (3 мес.) продолжается активное формирование оксидов металлов. Оксиды металла наблюдались в питательной среде вместе с клетками после 3 сут культивирования (рис. 6).

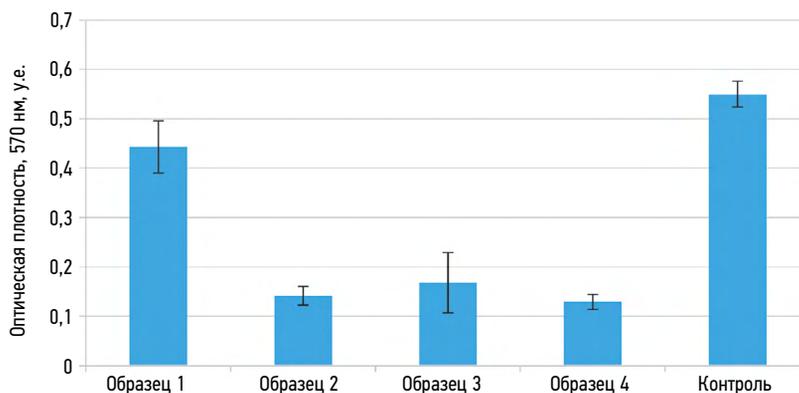


Рис. 5. МТТ МСК после 3 сут культивирования в присутствии питательной среды после инкубирования с осколками в течение 3 нед.
Fig. 5. Methyl tetrazolium test of mesenchymal stromal cells cultured for 3 days in the medium after incubation with fragments for 3 weeks

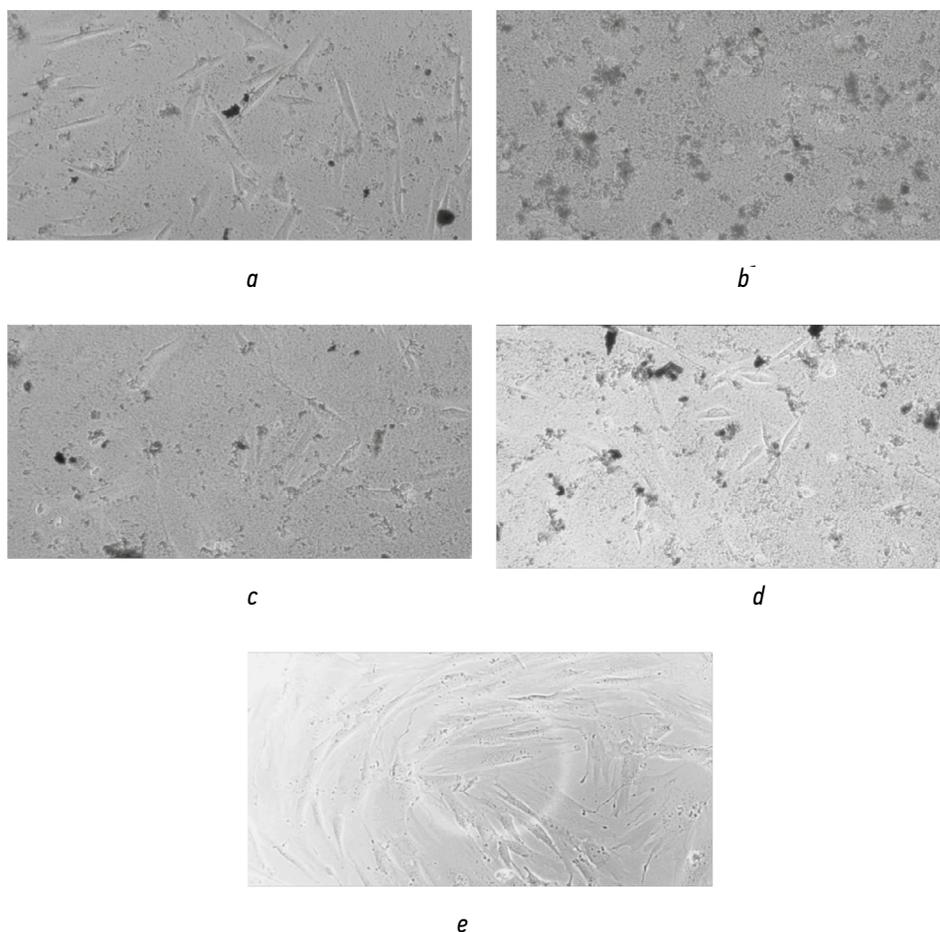


Рис. 6. Световая микроскопия МСК при культивировании МСК в среде после инкубирования с осколками в течение 3 сут: *a* — образец 1; *b* — образец 2; *c* — образец 3; *d* — образец 4; *e* — контрольная среда
Fig. 6. Light microscopy of mesenchymal stromal cells cultured in the medium after incubation with fragments for 3 days; *a* — Sample 1; *b* — Sample 2; *c* — Sample 3; *d* — Sample 4; *e* — control medium

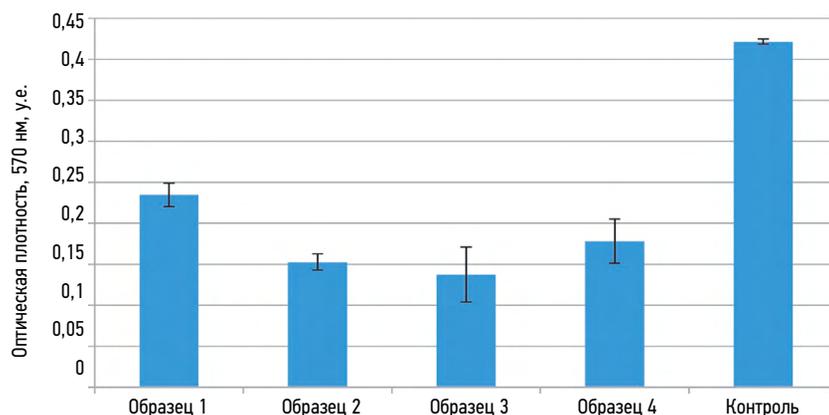


Рис. 7. МТТ после 3 сут культивирования в присутствии питательной среды после инкубирования с осколками в течение 3 мес.
Fig. 7. Methyl tetrazolium test after 3-day cultivation in the medium after incubation with fragments for 3 months

Во всех 4 образцах клеток не сформировался клеточный монослой, при этом клетки образцов 1–3 морфологически отличались от клеток контрольного образца. Количество жизнеспособных клеток в такой среде менее 50 % по сравнению с контрольным образцом, о чем свидетельствуют данные МТТ-анализа (рис. 7).

В целом установлено, что все исследованные осколки состоят из множества химических элементов, сплавов различных металлов. Сравнение элементного анализа и результатов МТТ показало, что все осколки в питательной среде выделяют токсичные окислы металлов, значительно снижающие жизнеспособность окружающих тканей независимо от элементного состава исследованных осколков.

Нежелательных явлений при проведении исследования не отмечено. Ограничением исследования считаем отсутствие сравнительного анализа цитотоксичности ранящих снарядов с биоинертными инородными телами (имплантатами).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенного исследования дают основания предположить, что окислы сплавов различных металлов, входящих в состав поражающих элементов, удаленных из позвоночника и паравертебральных тканей, являются токсичными для организма независимо от их элементного состава. Для профилактики осложнений, связанных с возможной местной и/или системной токсичностью металлических осколков, а также ранних и поздних инфекционных осложнений, необходимо стремиться к максимальному удалению ранящих снарядов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования

и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Вклад каждого автора. В.П. Орлов — разработка общей концепции; написание статьи; Ю.А. Нащекина — определение токсичности осколков, анализ данных; А.В. Нащекин — оценка состава ранящих снарядов, анализ данных; С.Д. Мирзаметов — удаление осколков, анализ данных; С.М. Идричан — удаление осколков; М.Н. Кравцов — удаление осколков; Д.В. Свистов — дизайн исследования, анализ данных.

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

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

ADDITIONAL INFORMATION

Authors' contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study.

The contribution of each author. V.P. Orlov — development of a general concept; writing an article; Yu.A. Nashchekina — determination of the toxicity of fragments, data analysis; A.V. Nashchekin — assessment of the composition of wounding shells, data analysis; S.D. Mirzametov — removal of fragments, data analysis; S.M. Idrichan — removal of fragments; M.N. Kravtsov — removal of fragments; D.V. Svistov — study design, data analysis.

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

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ricciardi G.A., Cabrera J.P., Martínez O., et al. AO Spine Latin America Trauma Study Group. Predicting early complications in patients with spinal gunshot wounds: A multicenter study // *Brain and Spine*. 2024. Vol. 4. P. 102766. doi: 10.1016/j.bas.2024.102766
2. Жмур В.А. Оказание помощи раненым в позвоночник и спинной мозг на различных этапах эвакуации // *Опыт советской медицины в Великой Отечественной войне 1941–1945 гг.* Москва, 1952. Т. 11. С. 332–345.
3. Верховский А.И., Хилько В.А. Огнестрельные ранения позвоночника и спинного мозга. Хирургия центральной нервной системы. Москва: Медицина, 1994. С. 264–269.
4. Елхаж М.Х., Умаров Р.М., Берснев В.П., и др. Огнестрельные сочетанные спинномозговые и черепно-мозговые ранения // *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2009. Т. 168, № 6. С. 56–58.
5. Мануковский В.А., Мовсисян А.Б., Тимонин С.Ю. Хирургическое лечение минно-взрывного ранения Th11 позвонка с анатомическим перерывом спинного мозга: редкий клинический случай и краткий обзор современной ситуации // *Хирургия позвоночника*. 2023. Т. 20, № 4. С. 22–29. EDN: UMWNTK doi: 10.14531/ss2023.4.22-29
6. Baum G.R., Baum J.T., Hayward D., MacKay B.J. Gunshot wounds: ballistics, pathology, and treatment recommendations, with a focus on retained bullets // *Orthop Res Rev*. 2022. Vol. 14. P. 293–317. doi: 10.2147/ORR.S378278
7. Тришкин Д.В., Крюков Е.В., Алексеев Д.Е., и др. Военно-полевая хирургия. Национальное руководство. 2-е изд. перераб. и доп. Москва: GEOTAR-Медиа, 2024. 1056 с. EDN: AYGWYM doi: 10.33029/9704-8036-6-VPX-2024-1-1056
8. Самохвалов И.М., Крюков Е.В., Маркевич В.Ю., и др. Десять хирургических уроков начального этапа военной операции // *Военно-медицинский журнал*. 2023. Т. 344, № 4. С. 4–10. EDN: DSYIAP doi: 10.52424/00269050_2023_344_4_4
9. Kalinich J.F., Emond C.A., Dalton T.K., et al. Embedded weaponsgrade tungsten alloy shrapnel rapidly induces metastatic highgrade rhabdomyosarcomas in F344 rats // *Environ Health Perspect*. 2005. Vol. 113, N 6. P. 729–734. doi: 10.1289/ehp.7791
10. Kalinich J.F., Kasper C.E. Are internalized metals a long-term health hazard for military veterans? // *Public Health Rep*. 2016. Vol. 131, N 6. P. 831–833. doi: 10.1177/0033354916669324
11. Yen J.S., Yen T.H. Lead poisoning induced by gunshot injury with retained bullet fragments // *QJM*. 2021. Vol. 114, N 12. P. 873–874. doi: 10.1093/qjmed/hcab144
12. Ghasemi M., Turnbull T., Sebastian S., Kempson I. The MTT assay: utility, limitations, pitfalls, and interpretation in bulk and single-cell analysis // *Int J Mol Sci*. 2021. Vol. 22. N 23. P. 12827. doi: 10.3390/ijms222312827

REFERENCES

1. Ricciardi GA, Cabrera JP, Martínez O, et al. AO Spine Latin America Trauma Study Group. Predicting early complications in patients with spinal gunshot wounds: A multicenter study. *Brain and Spine*. 2024;4:102766. doi: 10.1016/j.bas.2024.102766
2. Zhmur VA. *Rendering assistance to the wounded in the spine and spinal cord at various stages of evacuation*. In: Experience of Soviet medicine in the Great Patriotic War of 1941–1945. Moscow.1952;11:332–345. (In Russ.)
3. Verkhovsky AI, Khilko VA. *Gunshot wounds of the spine and spinal cord. Surgery of the central nervous system*. Moscow: Medicine; 1994. P. 264–269. (In Russ.)
4. Elkhazh MH, Umarov RM, Bersnev VP, et al. Gunshot combined spinal and craniocerebral injuries. *Bulletin of Surgery named after I.I. Grekov*. 2009;168(6):56–58. (In Russ.)
5. Manukovskiy VA, Movsisyan AB, Timonin SYu. Urgical treatment of a mine blast wound of the t11 vertebra with anatomical disruption of the spinal cord: a rare clinical case and a brief review of the current literature. *Russian Journal of Spine Surgery*. 2023;20(4):22–29. (In Russ.) EDN: UMWNTK doi: 10.14531/ss2023.4.22-29
6. Baum GR, Baum JT, Hayward D, MacKay BJ. Gunshot wounds: ballistics, pathology, and treatment recommendations, with a focus on retained bullets. *Orthop Res Rev*. 2022;14:293–317. doi: 10.2147/ORR.S378278
7. Trishkin DV, Kryukov EV, Alekseev DE, et al. *Military field surgery. National Manual*. 2nd ed. rev. and suppl. Moscow: GEOTAR-Media; 2024. 1056 p. (In Russ.) EDN: AYGWYM doi: 10.33029/9704-8036-6-VPX-2024-1-1056
8. Samokhvalov IM, Kryukov EV, Markevich VYu, et al. Ten surgical lessons from the initial stages of a military operation. *Military Medical Journal*. 2023;344(3):4–10. (In Russ.) EDN: DSYIAP doi: 10.52424/00269050_2023_344_4_4
9. Kalinich JF, Emond CA, Dalton TK, et al. Embedded weaponsgrade tungsten alloy shrapnel rapidly induces metastatic highgrade rhabdomyosarcomas in F344 rats. *Environ Health Perspect*. 2005;113(6):729–34. doi: 10.1289/ehp.7791
10. Kalinich JF, Kasper CE. Are internalized metals a long-term health hazard for military veterans? *Public Health Rep*. 2016;131(6): 831–833. doi: 10.1177/0033354916669324
11. Yen JS, Yen TH. Lead poisoning induced by gunshot injury with retained bullet fragments. *QJM*. 2021;114(12):873–874. doi: 10.1093/qjmed/hcab144
12. Ghasemi M, Turnbull T, Sebastian S, Kempson I. The MTT assay: utility, limitations, pitfalls, and interpretation in bulk and single-cell analysis. *Int J Mol Sci*. 2021;22(23):12827. doi: 10.3390/ijms222312827

ОБ АВТОРАХ

***Саидмирзе Джамирзоевич Мирзаметов**, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-1890-7546; eLibrary SPIN: 5959-1988;
e-mail: vmeda-nio@mail.ru

Владимир Петрович Орлов, д-р мед. наук, профессор;
ORCID: 0000-0002-5009-7117; eLibrary SPIN: 9790-6804

Юлия Александровна Нащекина, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-4371-7445; eLibrary SPIN: 1138-8088;
e-mail: nashchekina.yu@mail.ru

Алексей Викторович Нащекин, канд. физ.-мат. наук;
ORCID: 0000-0002-2542-7364; eLibrary SPIN: 6638-5243

Сергей Михайлович Идричан, канд. мед. наук;
ORCID: 0009-0007-9442-7281; eLibrary SPIN: 1474-1269

Максим Николаевич Кравцов, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0003-2486-6995; eLibrary SPIN: 2742-6397;
e-mail: neuromax@mail.ru

Дмитрий Владимирович Свистов, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: 0000-0002-3922-9887; eLibrary SPIN: 3184-5590

AUTHORS INFO

***Saidmirze D. Mirzametov**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-1890-7546; eLibrary SPIN: 5959-1988;
e-mail: vmeda-nio@mail.ru

Vladimir P. Orlov, MD, Dr. Sci. (Medicine), professor;
ORCID: 0000-0002-5009-7117; eLibrary SPIN: 9790-6804

Yuliya A. Nashchekina, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-4371-7445; eLibrary SPIN: 1138-8088;
e-mail: nashchekina.yu@mail.ru

Alexey V. Nashchekin, Cand. Sci. (Physics and Mathematics);
ORCID: 0000-0002-2542-7364; eLibrary SPIN: 6638-5243

Sergey M. Idrichan, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0009-0007-9442-7281; eLibrary SPIN: 1474-1269

Maxim N. Kravtsov, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-2486-6995; eLibrary SPIN: 2742-6397;
e-mail: neuromax@mail.ru

Dmitry V. Svistov, MD, Cand. Sci. (Medicine), assistant professor;
ORCID: 0000-0002-3922-9887; eLibrary SPIN: 3184-5590

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author