

**CAPABILITIES OF THE CENTRAL RESEARCH INSTITUTE OF THE RUSSIAN  
MINISTRY OF DEFENSE ON THE ORGANIZATION OF SCIENTIFIC RESEARCH  
FOR YOUNG SCIENTISTS AND SPECIALISTS**

A.I.BAIBAKOV,Cand. Sc., M.Yu.KOCHETYGOV

Central Research Institute of the Aerospace Forces of the Ministry of Defense of Russia  
32, Af. Nikitina emb., Tver, 170026, e-mail:nicpovtver@mail.ru

Based on the approach implemented in the classification analysis method, the directions and topics of research carried out in the lead research organization on the problems of building air (aerospace) defense of the country – the Central Research Institute of the Aerospace Forces of the Ministry of Defense of the Russian Federation (TsNII VKS) are structured in the interests of attracting talented young scientists and specialists - graduates of higher educational institutions - to research. Fundamental disciplines studied in educational institutions and of interest for solving problems of defense and security of the state are considered. The results of speeches of the heads of TsNII VKS at the 6th scientific seminar "Zolotovsky Readings" are presented. Data on the existing scientific and technical potential of TsNII VKS and the prospects for its development are summarized to form target motivation in future young scientists.

*Keywords:* aerospace defense, mathematical modeling, young scientists and specialists, means of aerospace attack, scientific research, research structure, measuring complexes, characteristics of plasma formations.

Поступила в редакцию/received: 16.11.2024; после рецензирования/revised: 20.11.2024;  
принята/accepted: 12.12.2024

УДК 004.932.2

**ОСОБЕННОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ КОЖНЫХ РАН  
РАЗЛИЧНОЙ ЭТИОЛОГИИ**

В.Г. ШЕСТАКОВА, д-р мед. наук, А.О. БУГЛАК, ст. препод.,  
Ю.В. КОЗЛОВСКАЯ, канд. биол. наук, Р.Д. ПАВЛОВ, студ.

Тверской государственный медицинский университет,  
170100, Тверь, ул. Советская, 4, e-mail: snejo4ik@gmail.com

© Шестакова В.Г., Буглак А.О., Козловская Ю.В., Павлов Р.Д., 2025

На современном этапе развития медицины происходит активное внедрение естественных наук физико-математического цикла в сферу диагностики, лечения и профилактики заболеваний. Одним из перспективных направлений является использование кристалломорфологического метода диагностики, основанного на том, что реальные кристаллы обладают уникальными особенностями, которые определяют их габитус. Методы компьютерной морфометрии открывают широкие возможности для применения их в медицинской биокристалломике, но для их практического

использования необходима значительная доработка и объединение усилий экспертов из разных областей. Рассмотрены гистологические характеристики препаратов кожи, а также процесс кристаллизации плазмы крови на различных этапах регенерации ран, вызванных различными причинами. Проанализированы литературные источники в области использования компьютерных технологий по рассматриваемому вопросу.

*Ключевые слова:* регенерация, раны кожи, кристалломорфология, биокристалломика, плазма крови, морфометрия, обработка изображений.

**DOI:10.46573/2658-5030-2025-1-102-107**

## **ВВЕДЕНИЕ**

Повреждение кожных покровов и расположенных под ним тканей – распространенное явление. Поэтому важно разработать новые методы определения стадии восстановления, чтобы врачи могли выбрать оптимальную стратегию лечения. При исследовании особенностей кристаллизации биологических жидкостей человеческого организма было установлено, что они могут служить надежными индикаторами его функционального состояния в определенных физиологических и патологических условиях [1–3].

В научных трудах рассматриваются вопросы использования технологий, позволяющих считывать и распознавать характеристики высушенных образцов биологических жидкостей с помощью компьютера [4–6].

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ**

В исследовании участвовали беспородные белые крысы-самцы в возрасте 8–9 месяцев. Животные содержались в стандартных условиях вивария, получали достаточное количество пищи и воды. Перед началом эксперимента они прошли карантин, чтобы исключить вероятность попадания посторонних микроорганизмов. Все процедуры проводились в соответствии с правилами и нормами работы с экспериментальными животными.

Крысы были разделены на три группы. Первой группе животных на предварительно подготовленную поверхность спины наносили раны площадью 225  $\text{мм}^2$ , затрагивающие кожу и подкожно-жировую клетчатку [3].

Второй группе крыс с помощью специального паяльника наносили ожоги общей площадью 225  $\text{мм}^2$ , что составляло около 14% площади кожи [3, 8].

У крыс из третьей группы после повреждения кожи и подкожно-жировой клетчатки поверхность раны инфицировали золотистым стафилококком (*Staphylococcus aureus*) в концентрации  $1,5 \times 10^8$  клеток/мл по McFarland. В качестве анестезии использовался препарат «Золетил-100» в дозировке 8 мг/кг.

На 7, 14 и 21-й день измеряли размеры ран и струпа. В те же сроки брали образцы тканей из заживающих ран и прилегающих участков неповрежденной кожи. Образцы фиксировали в 10%-м растворе нейтрального забуференного формалина (рН 7,4) на 24 ч, затем заливали в парафин и делали срезы толщиной 5–6 мкм. Срезы окрашивали растворами гематоксилина и эозина и анализировали морфологическую картину.

В эти же сроки брали также кровь для анализа. К 2 мл плазмы крови, полученной путем центрифугирования, добавляли 10 мл 2%-го спиртового раствора нингидрина. Полученную смесь разливали по чашкам Петри и оставляли на 12...14 ч для кристаллизации [7].

Путем анализа литературных источников были выявлены сильные и слабые стороны использования компьютерных технологий для исследования результатов кристаллизации биологических материалов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Заживление ран – это естественный процесс, выработанный в ходе эволюции. Он включает несколько этапов, среди которых особо выделяют следующие:

гемостаз, т.е. остановку кровотечения;

воспаление – реакцию иммунной системы на повреждение тканей;

пролиферацию клеток – образование новых клеток для восстановления поврежденных участков;

ремоделирование внеклеточного матрикса – изменение структуры новых тканей.

Изучение процессов заживления ран и восстановления кожи после различных повреждений включает в себя оценку их эстетического вида. Для достижения желаемого результата необходимо:

1) правильно определить стадию заживления, чтобы лечение соответствовало текущему этапу;

2) минимизировать нарушение зоны заживления во время лечебно-диагностических процедур.

В связи с этим было решено использовать метод тезиографии для определения стадии заживления без прямого контакта с раной. Данный метод позволяет изучить кинетику роста и визуальные характеристики кристаллов, а также сравнить эффективность кристалломорфологического метода и традиционных способов диагностики.

Процесс кристаллизации происходит в два этапа:

1) возникновение субмикроскопического «зародыша» кристаллической фазы, способного к дальнейшему росту;

2) дальнейший рост этого «зародыша».

Известно, что процесс образования кристаллов чувствителен к присутствию примесей [1].

Стереометрическая обработка полученных результатов заключалась в подсчете плотности центров кристаллизации – среднего арифметического числа пересечений лучей кристаллов на 1 см<sup>2</sup>. На измеряемой поверхности в двух взаимно перпендикулярных направлениях просматривали девять полей зрения и подсчитывали количество центров кристаллизации в пределах каждого поля [8, 9].

При кристаллизации чистого спиртового раствора нингидрина формируются крупные кристаллы в форме правильных сферолитов с 35...40 лучами, исходящими из центра кристаллизации. Однако при добавлении плазмы крови интактных крыс и крыс из опытных групп форма кристаллов меняется.

На 7-е сутки исследования кристаллы принимают форму полусферолитов с 15...20 лучами различной длины. На 14-е сутки формируются кристаллы, напоминающие полусферолиты, с количеством лучей от 20 до 25. На 21-е сутки эксперимента кристаллы становятся сферолитами с 30...35 лучами [7].

В первой опытной группе, где была нанесена полнослочная хирургическая рана, на 7, 14 и 21-е сутки исследования было зафиксировано четкое изменение кристалломорфологического рисунка, выражющееся в трансформации полусферолитов в сферолиты (рис. 1).

Кристаллы, образовавшиеся в процессе кристаллизации плазмы второй опытной группы крыс с ожоговой раной, характеризовались крупными размерами и ярко

выраженными лучами. Это можно объяснить тем, что ожоговые раны сопровождаются повышением уровня перекисного окисления липидов в плазме крови, что компенсируется увеличением общей антиоксидантной активности. Данный процесс, вероятно, сопровождался значительными изменениями в метаболизме углеводов и подавлением некоторых ферментативных реакций (рис. 2).

При кристаллизации плазмы крыс из третьей опытной группы с инфицированной раной было отмечено увеличение количества кристаллов в поле зрения по сравнению с группами 1 и 2. Сами кристаллы были более мелкими. Увеличение числа кристаллов можно объяснить присутствием большого количества микроорганизмов в ране, которые также могут выступать в роли центров кристаллизации (рис. 3).

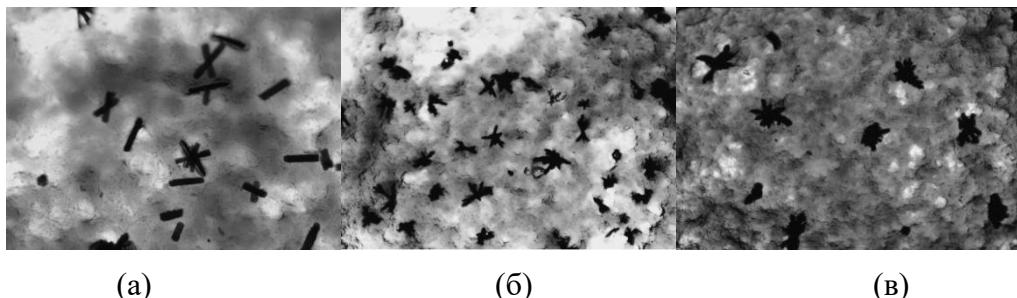


Рис. 1. Спиртовой раствор нингидрина с плазмой крыс опытной группы 1 на 7-е (а), 14-е (б) и 21-е (в) сутки исследования.  
Увеличение x200 (а), x100 (б, в)

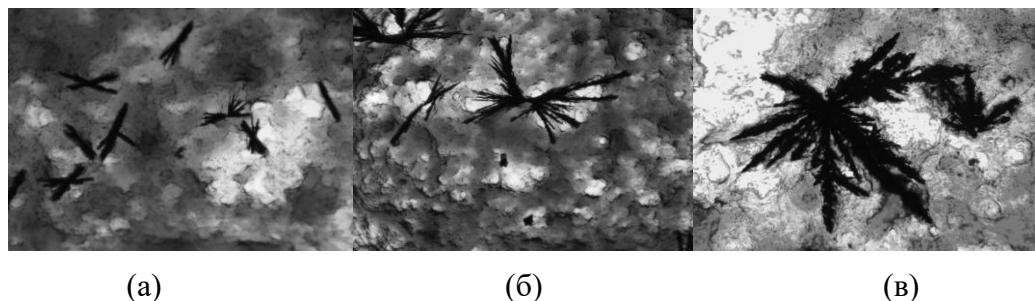


Рис. 2. Спиртовой раствор нингидрина с плазмой крыс опытной группы 2 на 7-е (а), 14-е (б) и 21-е (в) сутки исследования.  
Увеличение x100 (а, б), x400 (в)

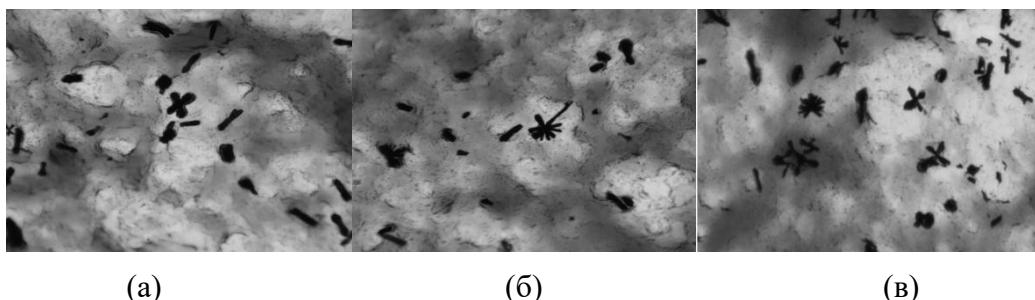


Рис. 3. Спиртовой раствор нингидрина с плазмой крыс опытной группы 3 на 7-е (а), 14-е (б) и 21-е (в) сутки исследования.  
Увеличение x100

В ряде российских научных организаций, расположенных в Москве, Волгограде и Сарове, были разработаны и успешно апробированы системы, предназначенные для фотографирования и/или видеосъемки кристаллических структур с применением микроскопов. Использованный В.В. Шабалиным метод морфологического анализа заключался в поиске специфических «ключевых» структур в микроскопическом образце [6], а затем их количественной оценке по плотности элементов в поле зрения. Разработанные в лаборатории М.Э. Бузоверя программные продукты «ProtoBlood» и «ProtoSaliva» предназначались для анализа и описания характеристик текстуры кристаллов. В частности, они позволяли определить наличие, глубину и площадь объектов, а также изучить оптические свойства образца [5]. Преимущества компьютерной обработки результатов биокристаллоскопии связаны с исключением субъективного фактора при анализе, а также с ускорением и автоматизацией тезиокристаллоскопического теста.

К объективным факторам, ограничивающим широкое применение этих методов, относятся:

невозможность создания полноценного банка образцов, которые будут соответствовать заданной программе анализа изображений;

отсутствие единого общепринятого подхода, параметров и критериев для интерпретации результатов анализа кристаллизации биологического материала;

высокая стоимость компьютеризации исследований.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В процессе проведения эксперимента в различных группах были выявлены изменения в количестве, конфигурации и размере кристаллов, характерные для каждой стадии. Эти параметры представляют диагностическую ценность и позволяют рассматривать биокристалломику как один из дополнительных и малотравматичных методов исследования процесса регенерации. В строении кристаллов было выявлено более пятидесяти различных структур, которые можно изучать с помощью специальных компьютерных программ. Каждая из этих структур имеет свои уникальные характеристики, такие как ориентация, размер, форма и морфология, а также признаки разрушения.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Курбатова Л.А. Кристаллизация в биологических средах и ее применение в медицине: дис. ... канд. хим. наук. Тверь, 1995. 160 с.
2. Мартусевич А.К., Ковалева Л.К., Самоделкин А.Г. Современные методы биокристалломики в оценке состояния организма животного // *Вестник Нижегородской государственной сельскохозяйственной академии*. 2019. №2 (22). С. 54–57.
3. Буглак А.О., Шестакова В.Г., Ганина Е.Б. Биокристалломика как метод прогнозирования течения репарации ожоговых ран кожи // *Молодежный инновационный вестник*. 2023. Т. 12. № 1. С. 24–25.
4. Мартусевич А.К. Биокристалломика как наука о спонтанном, направленном и управляемом биокристаллогенезе // *Информатика и системы управления*. 2008. № 2. С. 145–148.
5. Бузоверя М.Э., Шишпор И.В., Шатохина С.Н., Кац Ю.Д., Шабалин В.Н. Морфометрический анализ фаций сыворотки крови // *Клиническая лабораторная диагностика*. 2003. № 9. С. 22–23.

6. Шабалин В.В. Принципы обработки изображений структур биологических жидкостей // *Материалы III Всероссийской научно-практической конференции «Функциональная морфология биологических жидкостей»*. М.: [Б. и.], 2004. С. 45–46.
7. Буглак А.О., Шестакова В.Г., Ганина Е.Б., Захарова В.Н., Патрошкина В.В. Тезиографический метод исследования плазмы крови // *Тверской медицинский журнал*. 2023. № 5. С. 67–71.
8. Boehnko И.Д., Зенин Б.А. Кристалломорфологический метод исследований // *Сборник докладов III научной конференции физиологов, биохимиков и фармакологов Западно-Сибирского объединения*. Томск: Томский университет, 1965. С.24–26.
9. Козлова О.Г. Рост и морфология кристаллов. М.: МГУ, 1980. 357 с.

**Для цитирования:** Шестакова В.Г., Буглак А.О., Козловская Ю.В., Павлов Р.Д. Особенности регенерации кожных ран различной этиологии // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2025. № 1 (25). С. 102–107.

## FEATURES OF REGENERATION OF SKIN WOUNDS OF VARIOUS ETIOLOGIES

V.G. SHESTAKOVA, Dr. Sc., A.O. BUGLAK, Senior Lecturer,  
Yu.V. KOZLOVSKAYA, Cand. Sc., R.D.PAVLOV, Student

Tver State Medical University,  
4, Sovetskaya str., Tver, 170100, e-mail:snejo4ik@gmail.com

At the present stage of medicine development, there is an active introduction of natural sciences of the physical and mathematical cycle into the field of diagnostics, treatment and prevention of diseases. One of the promising areas is the use of the crystallomorphological method of diagnostics, based on the fact that real crystals have unique features that determine their habitus. Computer morphometry methods open up wide opportunities for their application in medical biocrystallomics, but their practical use requires significant revision and unification of efforts of experts from different fields. The histological characteristics of skin preparations, as well as the process of crystallization of blood plasma at various stages of wound regeneration caused by various reasons are considered. Literary sources in the field of using computer technologies on the issue under consideration are analyzed.

**Keywords:** regeneration, skin wounds, crystallomorphology, biocrystallomics, blood plasma, morphometry, image processing.

Поступила в редакцию/received: 16.11.2024; после рецензирования/revised: 20.11.2024;  
принята/accepted: 12.12.2024