

**ИЗВѢСТІЯ
РОССИЙСКОЙ
ВОЕННО-МЕДИЦИНСКОЙ
АКАДЕМИИ**



Russian Military Medical Academy Reports

**ОСНОВАНА В 1900
SINCE**

ISSN 2713-2315 (Print)
ISSN 2713-2323 (Online)



TOM VOLUME XL

НОМЕР ISSUE 1

2021

УЧРЕДИТЕЛИ

- ФГБВОУ ВО
«ВМедА им. С.М. Кирова» МО РФ
- ООО «Эко-Вектор»

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор»
Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург,
Аптекарский переулок, д. 3, литера А,
помещение 1Н
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: <https://eco-vector.com>

РЕДАКЦИЯ

Адрес: 194044, Санкт-Петербург,
ул. Академика Лебедева, д. 6,
тел.: +7(812) 292-34-84
факс: +7(812) 329-71-18
e-mail: izvestia-rvma@vmeda.ru
<https://journals.eco-vector.com/RMMArep>

Журнал зарегистрирован Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
ПИ № ФС 77 - 77760 от 10.02.2020 г.
Выходит 4 раза в год

ИНДЕКСАЦИЯ

- РИНЦ
- Google Scholar
- Ulrich's Periodicals Directory

Оригинал-макет изготовлен
ООО «Эко-Вектор».

Ген. директор: П.А. Наумов
Выпускающий редактор: Н.Н. Репьева
Верстка: В.А. Еленин
Формат 60 × 90¹/₈. Усл.-печ. л. 12.
Тираж 500 экз. Цена свободная

Отпечатано в типографии Михаила Фурсова.
196105, Санкт-Петербург, ул. Благодатная, д. 69.
Тел.: +7(812) 646-33-77. Заказ 1-2516-lv.
Подписано в печать 30.03.2021

Главный редактор

Е.В. Крюков (Санкт-Петербург, Россия)

Редакционная коллегия

Заместители главного редактора

Б.Н. Котив (Санкт-Петербург, Россия)

В.Н. Цыган (Санкт-Петербург, Россия)

Выпускающий редактор

А.Е. Коровин (Санкт-Петербург, Россия)

А.Н. Бельских (Санкт-Петербург, Россия)

А.А. Будко (Санкт-Петербург, Россия)

С.А. Бунин (Санкт-Петербург, Россия)

А.Н. Глушко (Санкт-Петербург, Россия)

Р.В. Деев (Санкт-Петербург, Россия)

М.В. Захаров (Санкт-Петербург, Россия)

Е.В. Ивченко (Санкт-Петербург, Россия)

А.Г. Караяни (Москва, Россия)

А.В. Карташев (Ставрополь, Россия)

А.В. Козлов (Санкт-Петербург, Россия)

П.Е. Крайнюков (Москва, Россия)

А.А. Кузин (Санкт-Петербург, Россия)

Д.С. Лебедев (Санкт-Петербург, Россия)

Ю.В. Мирошниченко (Санкт-Петербург, Россия)

О.А. Нагибович (Санкт-Петербург, Россия)

А.О. Недошивин (Санкт-Петербург, Россия)

А.Н. Николаев (Псков, Россия)

Д.В. Овчинников (Санкт-Петербург, Россия)

И.А. Одинцова (Санкт-Петербург, Россия)

К.А. Пашков (Москва, Россия)

В.Л. Пашута (Санкт-Петербург, Россия)

С.В. Сазонов (Екатеринбург, Россия)

Е.И. Саканян (Москва, Россия)

А.Б. Селезнев (Санкт-Петербург, Россия)

Н.Д. Ушакова (Ростов-на-Дону, Россия)

А.Я. Фисун (Анапа, Россия)

Ю.Р. Ханкевич (Санкт-Петербург, Россия)

Д.В. Черкашин (Санкт-Петербург, Россия)

А.М. Шелепов (Санкт-Петербург, Россия)

Д.Л. Шукевич (Немерово, Россия)

В.В. Юсупов (Санкт-Петербург, Россия)

Р.И. Ягудина (Москва, Россия)

Отв. секретарь Д.Н. Борисов (Санкт-Петербург, Россия)

Секретарь Т.И. Копыленкова (Санкт-Петербург, Россия)

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://journals.eco-vector.com/RMMArep>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя — издательства «Эко-Вектор».

Russian Military Medical Academy Reports

2021 Volume 40 Issue 1

<https://journals.eco-vector.com/RMMArep>

FOUNDERS

- S.M. Kirov Military Medical Academy
- Eco-Vector

PUBLISHER

Address:

3A, Aptekarskiy lane, office 1N,
Saint Petersburg, 191186, Russia
Tel: +7(812)648-83-60,
FAX: +7(812)312-45-72
E-mail: nl@eco-vector.com
<https://journals.eco-vector.com>

EDITORIAL

Address:

6, Akademika Lebedeva str.,
Saint Petersburg, 194044, Russia
Tel: +7(812)292-34-84,
FAX: +7(812)329-71-18
e-mail: izvestia-rvma@vmeda.ru
<https://journals.eco-vector.com/RMMArep>

Published 4 times a year

INDEXATION

- Russian Science Citation Index
- Google Scholar
- Ulrich's Periodicals Directory

Reference to *Russian Military Medical
Academy Reports* is mandatory

Editor-in-Chief

E.V. Kryukov (Saint Petersburg, Russia)

EDITORIAL BOARD

Deputy Editors-in-Chief

B.N. Kotiv (Saint Petersburg, Russia)
V.N. Tsygan (Saint Petersburg, Russia)

Issuer Editor

A.E. Korovin (Saint Petersburg, Russia)
A.N. Bel'skikh (Saint Petersburg, Russia)
A.A. Budko (Saint Petersburg, Russia)
S.A. Bunin (Saint Petersburg, Russia)
D.V. Cherkashin (Saint Petersburg, Russia)
R.V. Deev (Saint Petersburg, Russia)
E.V. Ivchenko (Saint Petersburg, Russia)
A.Ya. Fisun (Anapa, Russia)
A.N. Glushko (Saint Petersburg, Russia)
A.G. Karayani (Moscow, Russia)
A.V. Kartashev (Stavropol, Russia)
Yu.R. Khankevich (Saint Petersburg, Russia)
A.V. Kozlov (Saint Petersburg, Russia)
P.E. Kraynyukov (Moscow, Russia)
A.A. Kuzin (Saint Petersburg, Russia)
D.S. Lebedev (Saint Petersburg, Russia)
Yu.V. Miroshnichenko (Saint Petersburg, Russia)
O.A. Nagibovich (Saint Petersburg, Russia)
A.O. Nedoshivin (Saint Petersburg, Russia)
A.N. Nikolaev (Pskov, Russia)
I.A. Odintsova (Saint Petersburg, Russia)
D.V. Ovchinnikov (Saint Petersburg, Russia)
K.A. Pashkov (Moscow, Russia)
V.L. Pashuta (Saint Petersburg, Russia)
E.I. Sakanyan (Moscow, Russia)
S.V. Sazonov (Ekaterinburg, Russia)
A.B. Seleznev (Saint Petersburg, Russia)
A.M. Shelepov (Saint Petersburg, Russia)
D.L. Shukevich (Kemerovo, Russia)
N.D. Ushakova (Rostov-on-Don, Russia)
R.I. Yagudina (Moscow, Russia)
V.V. Yusupov (Saint Petersburg, Russia)
M.V. Zakharov (Saint Petersburg, Russia)
Executive Secretary D.N. Borisov (Saint Petersburg, Russia)
Secretary T.I. Kopylenkova (Saint Petersburg, Russia)

The editors are not responsible for the content of advertising materials.
The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors.
Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication.
By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://journals.eco-vector.com/RMMArep>. Full or partial reproduction of materials published in the journal is allowed only with the written permission of the publisher – the Eco-Vector publishing house.

СОДЕРЖАНИЕ

ВОЕННАЯ И ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ МЕДИЦИНА

А.С. Стародед, С.М. Кузнецов, В.А. Майдан

Медико-географические и социально-гигиенические аспекты адаптации офицеров медицинской службы к военно-профессиональной деятельности 5

А.К. Колобков, В.Ю. Маркевич

Метод остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких 11

КЛИНИЧЕСКАЯ МЕДИЦИНА

Е.О. Ряднова, В.П. Кицышин, В.В. Салухов, А.А. Чугунов

Изменение конечной части комплекса QRS и сегмента ST-T у пациентов с коронавирусной инфекцией 19

Т.В. Степанова, В.В. Салухов, А.А. Чугунов

Определение исходов патогенетической терапии у пациентов с SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонией. 27

Н.А. Пучков, К.В. Маркин, Я.Е. Прочик, А.В. Тёмный, В.Е. Маслов, Д.А. Тарумов

Патология микроструктурной коннективности головного мозга при параноидной шизофрении (по данным диффузионно-тензорной трактографии) 35

М.В. Мамунов, А.В. Патрушев

Диагностическая эффективность основных дерматоскопических симптомов и алгоритмов для выявления меланомы кожи. 45

А.С. Родионов, А.П. Коваленко, Д.И. Кремлёв, Д.В. Аверкиев

Экзорезабилитация пациентов со спастическим гемипарезом: высокие технологии 53

ОРГАНИЗАЦИЯ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Д.В. Болгарев, Д.Н. Борисов

Моделирование деятельности медицинских организаций на эвакуационном направлении 59

БИОМЕДИЦИНСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Ю.А. Бойцова, Н.Ф. Фомин, В.В. Шведюк

Об особенностях мультифасциального строения предбрюшинного пространства в клиническом и анатомическом аспектах. 65

М.С. Тюрюпов, И.В. Гайворонский, А.Л. Кудяшев, И.С. Базаров

Совершенствование хирургического лечения пациентов с посттравматической заднелатеральной нестабильностью коленного сустава 71

ПСИХОФИЗИОЛОГИЯ И МЕДИЦИНСКАЯ ПСИХОЛОГИЯ

О.С. Агаджанян, И.О. Натуральников

Особенности восприятия цифровой информации операторами при различии цветовых схем стимульного материала 79

И.Ф. Серый, С.Д. Хрущев, С.А. Авдюшенко

Дифференциация военнослужащих в целях профессионального отбора на основании результатов исследования глазомера 85

ИСТОРИЯ МЕДИЦИНЫ И ОТЕЧЕСТВА

Д.Р. Здоровцов, С.В. Чурашов, А.Н. Куликов, А.А. Кольбин

Моделирование механической травмы глаза. Актуальность. История вопроса 91

CONTENTS

MILITARY AND EXTREME MEDICINE

A.S. Staroded, S.M. Kyznetsov, V.A. Maydan

Medical-geographical and socio-hygienic aspects of adaptation of medical service officers to military professional activities. 5

A.K. Kolobkov, V.Yu. Markevich

The method of stopping continuing bleeding in case of through-and-through lung injury 11

CLINICAL MEDICINE

E.O. Ryadnova, V.P. Kitsyshin, V.V. Salukhov, A.A. Chugunov

Changes in the end part of the QRS complex and the ST-T segment in patients with coronavirus infection 19

T.V. Stepanova, V.V. Saluhov, A.A. Chugunov

Determination of the outcomes of pathogenetic therapy in patients with SARS-CoV-2-associated pneumonia. 27

N.A. Puchkov, K.V. Markin, Ya.E. Prochik, A.V. Tyomniy, V.E. Maslov, D.A. Tarumov

Pathology of microstructural brain connectivity in paranoid schizophrenia (according to diffusion-tensor tractography data) 35

M.V. Mamunov, A.V. Patrushev

Diagnostic efficiency of the main dermatoscopic symptoms and algorithms for detecting skin melanoma 45

A.S. Rodionov, A.P. Kovalenko, D.I. Kremlyov, D.V. Averkiyev

Exo-rehabilitation of patients with spastic hemiparesis: high technology. 53

HEALTH CARE ORGANIZATION

D.V. Bolgarev, D.N. Borisov

Modeling the activities of medical organizations in the evacuation direction 59

BIOMEDICAL RESEARCH

Yu.A. Boytsova, N.F. Fomin, V.V. Shvedyuk

On the features of the preperitoneal space multifascial structure in clinical and anatomical issues 65

M.S. Tyuryupov, I.V. Gaivoronsky, A.L. Kudyashev, I.S. Bazarov

Improvement of surgical treatment of patients with posttraumatic posterior-lateral instability of the knee joint 71

PSYCHOPHYSIOLOGY AND MEDICAL PSYCHOLOGY

O.S. Agadzhanyan, I.O. Natural'nikov

Features of digital information perception by operators with different color schemes of the stimulus material 79

I.F. Seryi, S.D. Khrushchev, S.A. Avdyushenko

Differentiation of military personnel for professional selection based on the results of the eye estimation study 85

HISTORY OF MEDICINE AND FATHERLAND

D.R. Zdorovtsov, S.V. Churashov, A.N. Kulikov, A.A. Kol'bin

Modeling of mechanical eye injury. Relevance. Background. 91

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64465>

Медико-географические и социально-гигиенические аспекты адаптации офицеров медицинской службы к военно-профессиональной деятельности

© А.С. Стародед*, С.М. Кузнецов, В.А. Майдан

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования
«Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Актуальность исследования связана с формированием комплекса стресс-факторов среды обитания в отношении выпускников высших военных образовательных учреждений и заключается в необходимости системного решения проблемы адаптации офицеров медицинской службы к профессиональной деятельности в условиях Арктики. *Цель исследования* — разработка перспективных направлений профилактики заболеваний и повышения работоспособности офицеров медицинской службы на основе системного исследования медико-географических, военно-профессиональных и социально-психологических факторов формирования устойчивой адаптации у выпускников высших военных образовательных учреждений. Разработана оригинальная анкета «Адаптация», позволяющая оценить влияние комплексного воздействия стресс-факторов. Применен системный подход, дающий возможность оценить вклад медико-географических, профессиональных факторов, а также образа жизни. По результатам регрессионного анализа получены прогностические модели влияния факторов на психофизиологические показатели здоровья, а также корреляционные зависимости между тремя группами факторов и адаптационными возможностями организма военнослужащих. Сделаны выводы, что адаптация военнослужащих, передислоцированных в Арктику, проходит тяжелее по сравнению с теми, кто передислоцирован в субтропики и умеренные широты. Обеспечение высокой работоспособности молодых офицеров требует планирования и реализации мер профилактики, основанных на мониторинге медико-географической обстановки, предварительной адаптации к предстоящей служебной деятельности, развитии инфраструктуры быта и отдыха семей военнослужащих, научного сопровождения проблематики передислокации войск (1 табл., библи.: 11 ист.).

Ключевые слова: адаптация; акклиматизация; Крайний Север; медицинская география; офицеры медицинской службы; условия службы.

Как цитировать:

Стародед А.С., Кузнецов С.М., Майдан В.А. Медико-географические и социально-гигиенические аспекты адаптации офицеров медицинской службы к военно-профессиональной деятельности // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 5–10. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64465>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64465>

Medical-geographical and socio-hygienic aspects of adaptation of medical service officers to military professional activities

© Anastasiya S. Staroded*, Sergey M. Kyznetsov, Vitaly A. Maydan

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

The relevance of the study is associated with the formation of a complex of stress factors of the environment in relation to graduates of higher military educational institutions and lies in the need for a systematic solution to the problem of adaptation of medical officers to professional activities in the Arctic. The aim of the study is to develop promising directions for the prevention of diseases and increase the efficiency of medical officers on the basis of a systematic study of medical-geographical, military-professional and socio-psychological factors in the formation of stable adaptation in graduates of higher military educational institutions. An original questionnaire "Adaptation" has been developed, which allows assessing the impact of the complex impact of stress factors. A systematic approach has been applied to assess the contribution of medical-geographical, professional factors, as well as lifestyle. Based on the results of the regression analysis, prognostic models of the influence of factors on the psychophysiological indicators of health, as well as correlations between the three groups of factors and the adaptive capabilities of the organism of military personnel, were obtained. It is concluded that the adaptation of military personnel in the Arctic is more intense in comparison with the redeployment in the subtropics and temperate latitudes. Ensuring high performance of young officers requires the planning and implementation of preventive measures based on monitoring the medical and geographical situation, preliminary adaptation to upcoming service activities, the development of infrastructure for everyday life and recreation of the families of military personnel, scientific support for the problem of redeployment of troops, including the adaptation of young officers. Ensuring high efficiency of young officers requires planning and implementation of preventive measures based on monitoring the medical and geographical situation, preliminary adaptation to the upcoming service activities, development of the infrastructure of everyday life and recreation for families of military personnel, scientific support of the problem of redeployment of troops (1 table, bibliography: 11 refs).

Keywords: acclimatization; adaptation; conditions of service; medical geography; medical officers; the Far North.

To cite this article:

Staroded AS, Kyznetsov SM, Maydan VA. Medical-geographical and socio-hygienic aspects of adaptation of medical service officers to military professional activities. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):5–10. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64465>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Проблему адаптации к условиям Крайнего Севера исследовали многие авторы: А.А. Келлер, А.С. Георгиевский, В.Ф. Репс, Б.В. Устюшин и др., однако они анализировали отдельно медико-географические, военно-профессиональные и социально-психологические факторы, влияющие на человека в условиях Арктики, не используя системный подход [1–6]. Вместе с тем общая теория систем декларирует именно этот принцип [1, 7, 8].

Таким образом, актуальность настоящего исследования связана с формированием комплекса стресс-факторов среды обитания в отношении выпускников высших военных учебных заведений и заключается в необходимости системного решения проблемы адаптации офицеров медицинской службы к профессиональной деятельности в условиях Арктики. Это обусловлено существенными системными изменениями всех систем организма при адаптации к условиям военно-профессиональной деятельности в экстремальных климатических условиях [9–11].

Цель — разработать перспективные направления профилактики заболеваний и повышения работоспособности военнослужащих медицинской службы на основе системного исследования процессов адаптации и акклиматизации выпускников высших военных учебных заведений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлись курсанты (40 мужчин в возрасте $22,6 \pm 0,5$ лет) Военно-медицинской академии в период стажировки.

Обследуемые были разделены на 3 группы: опытную (группа А, 20 чел.), которая стажировалась в арктической зоне Кольского полуострова, и 2 контрольные, командированные в Кронштадт (группа В, умеренные широты, 10 чел.) и Севастополь (группа С, субтропическая зона, 10 чел.). Стажировка проходила с 6 октября по 6 ноября, всего 31 сут. Реперные точки исследования — на 1-е, 7-е, 14-е, 21-е, 28-е сут.

Оценка стресс-факторов проводилась с помощью следующих групп методов: медико-географические (медико-географическое описание районов, описание климатогеографических зон); военно-профессиональные факторы (показатели метеоусловий, хронометраж элементов и исследование распорядка дня, напряженность и тяжесть труда); социально-психологические (образ жизни во вне рабочее время) с формированием баз данных, расчетом средних величин и средней ошибки. Для их оценки была разработана оригинальная анкета «Адаптация». Вопросы были разделены на следующие группы: анкетная часть, отражающая половые и возрастные особенности, принадлежность к опытной или контрольной группе, — 1–6 вопросы; оценка

питания — 6–11; условия, тяжесть и напряженность труда — 16–32; акклиматизация (ее особенности) — 2–15, 32, 35–43, 46; образ жизни — 20, 33, 34, 44–47 вопросы.

Процесс адаптации оценивался по показателям функционального состояния организма (температура тела, частота дыхания (ЧД), частота сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД)) и психофизиологическим показателям (самочувствие, активность, настроение (САН), Шкала астенизации состояния (ШАС)).

Вклад каждой группы факторов оценивался на основе построения прогностических моделей (многофакторный регрессионный анализ), а взаимозависимости между факторами и показателями здоровья — методом корреляционного анализа.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При анализе медико-географических зон обращали особое внимание на динамику атмосферного давления, влияющая на сердечно-сосудистую и нервную системы. Наиболее стабильное атмосферное давление наблюдалось в Севастополе, тогда как в умеренной зоне и Арктике кривые были идентичны либо близки, однако их колебания образовывали «барометрическую пилу», наиболее негативно отражающуюся на здоровье.

Наиболее неблагоприятные, высокие значения абсолютной атмосферной влажности, влияющие на уровень заболевания легких, наблюдались на Севере и в умеренных широтах, тогда как в Крыму ее значения были наиболее благоприятны.

Время адаптации к измененным климатическим условиям составляло в группе А $4,3 \pm 1,6$ сут, в группе С — $2,8 \pm 0,3$, в группе В, как в контрольной по данному показателю, адаптация наступила сразу на 1-е сут у всех респондентов.

Изменение светового дня отметили 20 % респондентов группы С, а также 86,9 % группы А. В группе В, как в контрольной по данному показателю, достоверных изменений не отмечено. Описанные выше параметры на самочувствии респондентов не отразились.

Субъективная оценка динамики климата соответствовала месту прохождения стажировки. При оценке адаптации 83 % респондентов отметили ведущую роль климатогеографических условий, 14 % — изменение условий труда и 3 % — изменение образа жизни.

Респонденты оценивали акклиматизацию по десятибалльной шкале $9,4 \pm 0,3$ балла. При этом оптимальное самочувствие наступало в зависимости от региона прохождения стажировки: в группе В — на $3,7 \pm 0,4$ сут; в группе С — на $13,8 \pm 0,8$, в группе А — на $28,1 \pm 0,5$ сут.

Динамика режима труда и отдыха является важнейшим стресс-фактором, определяющим формирование адаптации как системного ответа организма на воздействие окружающей среды. Работоспособность

изменялась в течение всей практики. Наибольший спад наблюдался в ее начале у 86 % респондентов.

Анализ раскладки продуктов до и во время практики показал, что в период пребывания в академии энергетическая ценность составляла 4220 ккал, тогда как во время стажировки на надводных кораблях — 4450 ккал. Режим питания предусматривал четырехразовый прием пищи, что повлияло на увеличение энергетической обеспеченности рациона. Респонденты особо отмечали расширение ассортимента блюд с высокими вкусовыми качествами: блинчики, оладьи, сырники, мед, шоколад. Положительная динамика массы тела курсантов составила в среднем $3,7 \pm 1,8$ кг. Наибольшая наблюдалась в группе А и составляла $4,1 \pm 1,3$ кг, в группе С — $3,1 \pm 0,5$, в группе В — $3,6 \pm 0,4$ кг. 65 % респондентов отметили снижение физической нагрузки и энергозатрат в целом.

При оценке объективных показателей функционального состояния учитывались динамика показателей терморегуляции, АД, ЧСС, ЧД, проявления авитаминоза аскорбиновой кислоты и ретинола (кровоточивость десен, шелушение кожи и др.). Однако при оценке данных параметров достоверных различий ($p < 0,05$) не обнаружено. Наибольшую динамику индекса массы тела (ИМТ) продемонстрировала группа А (увеличение ИМТ на $0,71 \pm 0,13$). В группе С аналогичный показатель составил $0,53 \pm 0,12$. Наименьшую динамику продемонстрировала группа В — $0,41 \pm 0,21$.

Авитаминоз наблюдался в подавляющем большинстве случаев (95 %), независимо от места прохождения войсковой стажировки.

При оценке субъективных данных посредством методик САН и ШАС выяснилось, что первая более чувствительна к изменению состояния респондентов.

Оценка ШАС показала, что у всех обследованных астения не обнаружена. Однако при детальном анализе данных установлено, что более значимая тенденция к астенизации организма свойственна группе А ($35,9 \pm 0,4$ баллов). Наиболее стабильной оказалась группа В ($37,4 \pm 0,7$ баллов). Промежуточное значение заняла группа С ($36,4 \pm 0,6$ баллов).

Методика САН была наиболее чувствительной. Динамика значений в период стажировки САН представлена в табл. 1.

Значения среднего количества баллов за период стажировки распределились следующим образом: группа А — $5,1 \pm 0,7$; группа В — $5,7 \pm 0,4$; группа С — $5,7 \pm 0,4$. Наиболее низкие показатели по всем шкалам наблюдались у респондентов, проходящих практику в группе А (самочувствие — 3,0; активность — 2,6; настроение — 4,2). Неравномерность всех трех показателей была наибольшей (более 1,9 в крайних значениях) также в группе А, что, в свою очередь, свидетельствует о явлениях дезадаптации.

Наиболее низкие результаты при прохождении методики респонденты демонстрировали на 14-е сут практики. Итоговые оценки были снижены на $0,9 \pm 0,2$. В группе А — $1,0 \pm 0,1$; в группе В — $0,6 \pm 0,2$; в группе С — $0,7 \pm 0,2$. Возврат к исходным величинам самочувствия во всех группах произошел на 28-е сут.

Следует отметить, что, несмотря на невысокую количественную выраженность, корреляции стресс-факторов и состояния адаптации (слабая или умеренная связь) в 92 % перечисленных ниже корреляционных зависимостях обладают высокой достоверностью ($p < 0,05$) и информативностью (более 95 %).

Район проведения практики, оцениваемый по шкале, разработанной при нашем участии, значительно коррелировал со временем наступления устойчивой адаптации ($r = -0,56$), сформировавшимся полигиповитаминозом ($r = 0,58$), продолжительностью светового дня ($r = 0,71$). Умеренная связь наблюдалась с проявлениями гиповитаминоза в отношении витамина С ($r = -0,36$), наличием вредных привычек ($r = -0,38$), климатическими условиями ($r = 0,36$), возможностью и желанием продолжения хобби ($r = 0,39$), а также самочувствием ($r = 0,32$), активностью ($r = 0,36$), настроением ($r = 0,37$).

Время наступления адаптации характеризовалось умеренной связью с проявлениями гиповитаминоза ($r = -0,36$), наличием вредных привычек ($r = 0,36$), продолжительностью светового дня ($r = -0,34$), климатическими условиями ($r = -0,37$), самочувствием ($r = -0,35$).

Анализ взаимосвязей ИМТ с показателями адаптации выявил, что обратная умеренная связь установлена со временем наступления оптимального самочувствия ($r = -0,4$), шкалой астенизации ($r = -0,34$), самочувствием ($r = -0,38$), активностью ($r = -0,37$), настроением ($r = -0,43$).

Таблица 1. Динамика показателей САН

| Сутки исследований | Группа А | Группа В | Группа С |
|--------------------|---------------|--------------------|--------------------|
| 1 | $5,7 \pm 0,5$ | $5,6 \pm 0,8$ | $5,7 \pm 0,6$ |
| 7 | $4,9 \pm 0,7$ | $5,3 \pm 0,4^*$ | $5,1 \pm 0,3$ |
| 14 | $4,8 \pm 0,3$ | $5,3 \pm 0,9^*$ | $5,0 \pm 0,6$ |
| 21 | $4,9 \pm 0,4$ | $5,4 \pm 0,2^{**}$ | $5,5 \pm 0,4^{**}$ |
| 28 | $5,1 \pm 0,3$ | $5,7 \pm 0,5^{**}$ | $5,7 \pm 0,2^{**}$ |

* — $p < 0,05$ по отношению к группе А; ** — $p < 0,01$ по отношению к группе А.

Результаты корреляционного анализа свидетельствуют о достаточно высокой объективности разработанной нами анкеты «Адаптация», особенно в отношении интегральной оценки состояния адаптации и ее зависимости от ведущих стресс-факторов.

Проведенный регрессионный анализ позволил построить прогностическую математическую модель в отношении формирования адаптации и вклада медико-географических, военно-профессиональных и социально-психологических стресс-факторов:

$$Y = 0,22X_1 + 0,31X_2 - 0,15X_3 - 12,7, \text{ где}$$

Y — суммарная оценка по шкале САН, балл;

X_1 — суммарная оценка, характеризующая медико-географическую обстановку, балл;

X_2 — суммарная оценка, характеризующая военно-профессиональные факторы, балл;

X_3 — суммарная оценка, характеризующая социально-психологические факторы (образ жизни, эмоциональный фон), балл.

Информационная способность модели, однако, не является высокой (72 %), а ее достоверность не оптимальная ($p = 0,07$). Это, возможно, связано с ограниченными возможностями формировать более значимые по количеству выборки опытной и контрольных групп, а также возможной аннигиляцией факторов (нивелируют влияние друг друга).

Вместе с тем однофакторная модель, учитывающая климатогеографические особенности (Арктика — 1 балл, Севастополь — 2, Кронштадт — 3 балла), характеризует актуальность процесса формирования социальной и биологической адаптации:

$$Y = 6,8X_1 + 4,8, \text{ где}$$

Y — суммарная оценка по анкете «Адаптация», балл;

X_1 — количественная оценка региона (Арктика — 1 балл, Севастополь — 2, Кронштадт — 3 балла).

Следует отметить, что более негативная оценка Севастополя респондентами по отношению к Кронштадту связана, очевидно, не столько с климатогеографической зоной (влажный умеренный климат), сколько с динамичностью метеоусловий при переезде к району стажировки.

Полученные результаты позволили разработать рекомендации прогностического характера профилактики заболеваний в период стажировки в Арктической зоне:

В процессе выполнения комплексных задач, участия в командно-штабных учениях увеличить долю учебного времени на моделирование функции начальника медицинской службы в Арктической зоне, для чего целесообразно привлечение сил и средств военно-морской базы Кронштадт в зимний период.

При распределении курсантов на первичные должности корабельного звена медицинской службы необходимо в системе профотбора и военно-врачебной комиссии внести коррективы в отношении Арктики.

Для снижения долевого влияния военно-профессиональных и социально-психологических факторов целесообразно провести в преддверии стажировки

недельные сборы в учебном центре «Красное Село» и моделирование типового распорядка дня войсковой части и кораблей.

Разработать гигиенические рекомендации в отношении профилактики полигиповитаминозов, повышения функциональных возможностей организма военнослужащих, гигиенического воспитания и формирования навыков здорового образа жизни.

Оптимизировать условия проживания, а также досуга и быта в период стажировки.

ВЫВОДЫ

1. Служба в Арктической зоне выпускников Военно-медицинской академии на первичных должностях связана с неблагоприятным влиянием медико-географических, военно-профессиональных и социально-психологических факторов.

2. Применение системного подхода в условиях передислокации войск предусматривает возможность расширения предметной области медицинской географии на основе включения военно-профессиональных и социально-психологических элементов адаптации к военной службе в условиях Крайнего Севера.

3. Анкета «Адаптация» позволяет объективно оценивать процесс адаптации выпускников высших военных образовательных учреждений, своевременно планировать и проводить эффективные профилактические мероприятия.

4. Системное применение методов анкетирования и оценки функционального состояния в сочетании с методами математико-статистической обработки данных способствует мониторингу ведущих факторов риска заболеваний и иных нарушений состояния здоровья в связи с явлениями расстройств адаптации, что позволяет прогнозировать и оперативно оценивать негативное влияние стресс-факторов.

5. Потенцирующий эффект медико-географических, военно-профессиональных и социально-психологических стресс-факторов предусматривает необходимость планирования и реализации профилактических программ в период подготовки и проведения стажировки курсантов Военно-медицинской академии.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» (протокол № 40 от 12.03.2021).

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. АН СССР, Отд-е физиологии, Всесоюз. физиол. о-во им. И.П. Павлова. Словарь физиологических терминов / под ред. О.Г. Газенко. М.: Наука, 1987. 446 с.
2. Келлер А.А., Кувакин В.И. Медицинская экология. СПб.: Петроградский и К°, 1998. 256 с.
3. Келлер А.А. Современное состояние и задачи медико-географических исследований в СССР. Медицинская география и здоровье: Сб. научных трудов. Л.: Наука, 1989. С. 7–17.
4. Майдан В.А., Кузнецов С.М., Лизунов В.Ю. Гигиенические особенности адаптации работников к условиям Крайнего Севера // Известия Российской военной медицинской академии. 2020. Т. 39, № S3-3. С. 113–116.
5. Репс В.Ф., Ищенко Д.В., Ефименко Н.В. Психофизиологические механизмы адаптации к экстремальным условиям окружающей среды // Медицина экстремальных ситуаций. 2018. Т. 20, № 1. С. 94–101.
6. Сапов И.А., Новиков В.С. Неспецифические механизмы адаптации человека. Л.: Наука, 1984. 146 с.
7. Устюшин Б.В. Физиолого-гигиенические аспекты труда человека на открытых территориях Крайнего Севера // Медицина труда и промышленная экология. 1994. № 12. С. 10–14.
8. Daanen H.A., Van Marken Lichtenbelt W.D. Human whole body cold adaptation // *Lancet*. 2016. Vol. 3, No. 1. P. 104–118. DOI: 10.1080/23328940.2015.1135688
9. Крюков В.Е., Новоженев В.Г. Изменения перекисного гомеостаза у военнослужащих в процессе адаптации к службе и климатогеографическим условиям региона пребывания // Военно-медицинский журнал. 2003. № 5. С. 28–34.
10. Крюков Е.В. Изменения перекисного окисления липидов и гемостаза у военнослужащих в процессе адаптации к военной службе // Военно-медицинский журнал. 2003. Т. 324, № 11. С. 72.
11. Крюков Е.В. Изменения неспецифической защиты и иммунитета у военнослужащих в процессе адаптации к военной службе // Военно-медицинский журнал. 2002. № 12. С. 60–61.

REFERENCES

1. Gazenko OG, ed. *Dictionary of physiological terms*. Academy of Sciences of the USSR, Department of Physiology, All-Union. fizio. about them. I.P. Pavlova. Moscow: Nauka Publisher; 1987. 446 p. (In Russ.)
2. Keller AA, Kuvakin VI. *Medical ecology*. Saint Petersburg: Petrogradskiy i K° Publisher; 1998. 256 p. (In Russ.)
3. Keller AA. *The current state and tasks of medical and geographical research in the USSR*. Medical geography and health. Collection of scientific papers. Leningrad: Nauka Publisher; 1989. P. 7–17. (In Russ.)
4. Maydan VA, Kuznetsov SM, Lizunov VYu. Hygienic features of adaptation of workers to the conditions of the Far North. *Izvestia of the Russian Military Medical Academy*. 2020;39(S3-3):113–116. (In Russ.)
5. Reps VF, Ishchenko DV, Efimenko NV. Psychophysiological mechanisms of adaptation to extreme environmental conditions. *Medicine of Extreme Situations*. 2018;20(1):94–101. (In Russ.)
6. Sapov IA, Novikov VS. *Non-specific mechanisms of human adaptation*. Leningrad: Nauka Publisher; 1984. 146 p. (In Russ.)
7. Ustyushin BV. Physiological and hygienic aspects of human labor in the open areas of the Far North. *Occupational Medicine and Industry Ecology*. 1994;12:10–14. (In Russ.)
8. Daanen HA, Van Marken Lichtenbelt WD. Human whole body cold adaptation. *Lancet*. 2016;3(1):104–18. DOI: 10.1080/23328940.2015.1135688
9. Kryukov VE, Novozhenov VG. Changes in peroxide homeostasis in servicemen in the process of adaptation to service and climatic and geographical conditions of the region of residence. *Military Medical Journal*. 2003;5:28–34. (In Russ.)
10. Kryukov EV. Changes in lipid peroxidation and hemostasis in military personnel in the process of adaptation to military service. *Military Medical Journal*. 2003;324(11):72. (In Russ.)
11. Kryukov EV. Changes in nonspecific protection and immunity in service men in the process of adaptation to military service. *Military Medical Journal*. 2002;12:60–61. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

*Анастасия Сергеевна Стародед, курсант 6-го курса;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1039-5352>;
eLibrary SPIN: 8803-5599; e-mail: astaroded@yandex.ru

Сергей Максимович Кузнецов, канд. мед. наук, доцент;
eLibrary SPIN: 7329-0560; e-mail: kusnez-s-maks@mail.ru

Виталий Александрович Майдан, канд. мед. наук, доцент;
eLibrary SPIN: 1379-8064; e-mail: vmaydan@mail.ru

AUTHORS INFO

*Anastasiya S. Staroded, 6th year cadet;
address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Peterburg, 194044, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1039-5352>;
eLibrary SPIN: 8803-5599; e-mail: astaroded@yandex.ru

Sergey M. Kuznetsov, MD, PhD (Medicine), Associate Professor;
eLibrary SPIN: 7329-0560; e-mail: kusnez-s-maks@mail.ru

Vitaly A. Maydan, MD, PhD (Medicine), Associate Professor;
eLibrary SPIN: 1379-8064; e-mail: vmaydan@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64472>

Метод остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких

© А.К. Колобков*, В.Ю. Маркевич

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Проанализирована структура повреждений груди в мирное и военное время, а также выполнен статистический анализ этапного лечения пострадавших с продолжающимся кровотечением при сквозном ранении легких в период войны в Афганистане, вооруженных конфликтов на Северном Кавказе и по данным историй болезни пациентов клиники военно-полевой хирургии. Структура жизнеугрожающих последствий повреждений груди в ходе военных конфликтов включала в себя развивающееся в 22,5 % случаев продолжающееся кровотечение при сквозном ранении легких; в условиях мирного времени — в 18,6 % случаев. Сформулированы медико-технические требования к способу остановки продолжающегося кровотечения при такого рода ранении. Разработаны биологическая модель сквозного ранения легкого для проведения испытаний созданного метода и способ остановки продолжающегося кровотечения при таком ранении в соответствии с медико-техническими требованиями. Экспериментально подтверждена высокая эффективность разработанного способа остановки кровотечения при сквозном ранении легкого (6 рис., 4 табл., библи.: 7 ист.).

Ключевые слова: Damage Control; кровотечение; остановка кровотечения; сквозное ранение легких; сочетанная травма; травма груди.

Как цитировать:

Колобков А.К., Маркевич В.Ю. Метод остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 11–17. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64472>

DOI: <https://doi.org/10.17816/uroved64472>

The method of stopping continuing bleeding in case of through-and-through lung injury

© Artemii K. Kolobkov*, Vitaliy Yu. Markevich

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

The analysis of the structure of chest injuries in peacetime and wartime was carried out; a statistical analysis of the staged treatment of patients with ongoing bleeding with a perforating wound of the lungs during the war in Afghanistan, armed conflicts in the North Caucasus and according to the case histories of patients of the clinic of military-field surgery. The structure of the life-threatening consequences of chest injuries during military conflicts included continuing bleeding developing in 22.5% of cases with a through wound of the lungs; in peacetime in 18.6% of cases. The medical and technical requirements for the method of stopping the ongoing bleeding with a through wound of the lungs are formulated. Biological models of ongoing bleeding with a through wound of the lungs have been developed to conduct tests of the developed method. A method of stopping continuing bleeding in case of through-and-through lung injury in accordance with medical and technical requirements has been developed. The high efficiency of the developed method of stopping bleeding in case of through lung injury was experimentally confirmed (6 figures, 4 tables, bibliography: 7 refs).

Keywords: chest injury; concomitant injury; Damage Control; stopping bleeding; the bleeding; through-and-through lung injury.

To cite this article:

Kolobkov AK, Markevich VYu. The method of stopping continuing bleeding in case of through-and-through lung injury. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):11–17. DOI: <https://doi.org/10.17816/uroved64472>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Частота и тяжесть ранений груди как в вооруженных конфликтах, так и в мирное время только увеличиваются. Такие ранения часто сопровождаются жизнеугрожающими последствиями, занимающими большую долю в структуре летальности раненых, приводя к увеличению тяжести их состояния [1–3]. В настоящий момент развитие хирургии повреждений груди характеризуется широким внедрением разнообразных методик устранения такого жизнеугрожающего последствия ранений груди, как продолжающееся кровотечение при сквозном ранении легких, но их применение зачастую остается длительным по времени выполнения и травматичным, что может явиться причиной развития как осложнений, так и летального исхода [4, 5]. Разработка способа быстрой и эффективной остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких в рамках тактики Damage control, предусматривающей первоочередное устранение жизнеугрожающих последствий с целью сохранения жизни, может способствовать улучшению результатов лечения таких пациентов [5, 6].

Цель — по результатам экспериментального исследования предложить способ для остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких. На основании статистического анализа определить возможности метода в улучшении исходов лечения раненых.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Статистическое исследование основано на ретроспективном анализе 1924 историй болезни пациентов с тяжелой сочетанной травмой груди. В первый массив ($n = 804$) вошли раненые в периоды вооруженных конфликтов в Афганистане и на Северном Кавказе; во второй массив ($n = 1120$) внесены данные о пациентах, поступивших на лечение в клинику военно-полевой хирургии (2011–2017 гг.). Для создания первичной базы данных использовалась программа Microsoft Excel 2016, статистическая обработка осуществлялась с помощью

программы Statistica 10. Статистическая значимость зафиксирована на уровне ниже 0,05. Апробация предложенного метода остановки кровотечения при сквозном ранении легкого осуществлялась в экспериментальной части исследования на 3 свиньях. Выбор животных определялся следующими факторами: адаптацией животных к содержанию в вивариях; близкой в сравнении с человеком реакцией на кровотечение при ранении легких, схожей системой гемостаза, сопоставимой с человеком массой тела, схожими по структуре и функции органами сердечно-сосудистой, дыхательной и пищеварительной систем [7]. С помощью монитора МИТАР-01-«Р-Д» регистрировали среднее артериальное давление, частоту дыхательных движений и сердечных сокращений, сатурацию.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При проведении ретроспективного анализа историй болезни 804 тяжело раненых в грудь во время вооруженных конфликтов в Афганистане и на Северном Кавказе (1994–1996 гг., 1999–2002 гг.) (далее — АФ, СК1 и СК2 соответственно), было отобрано 652 (81,1 %) истории болезней с повреждением одного или двух легких. В 22,5 % случаев ($n = 181$) развилось продолжающееся кровотечение при сквозном ранении легких.

Распределение раненых с повреждениями легких и с развитием продолжающегося кровотечения при их сквозном ранении по вооруженным конфликтам представлено на схеме (рис. 1). Наблюдается увеличение частоты повреждений легких при ранениях груди и случаев продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких от АФ к СК2 — что демонстрирует растущую актуальность исследования. Для остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких на этапах медицинской помощи в военное время использовались следующие способы: атипичная резекция легкого (51,6 %), лобэктомия (25,3 %), ушивание раневого канала легкого (14,3 %), пневмонэктомия (8,8 %). Частота выполнения операций для остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких на этапах

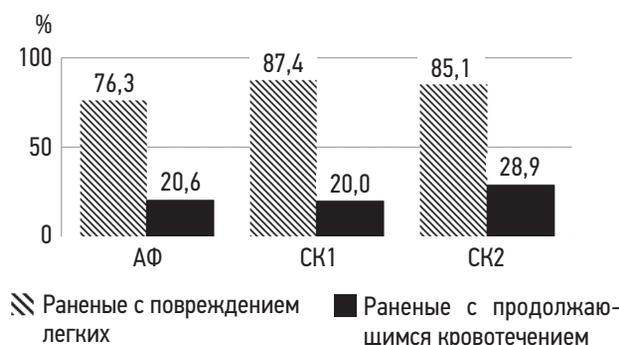


Рис 1. Распределение раненых с продолжающимся кровотечением при сквозном ранении легких в вооруженных конфликтах

Таблица 1. Устранение продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких у исследуемых на различных этапах медицинской эвакуации, %

| Конфликт | Этап | |
|----------|------|------|
| | КХП | СХП |
| АФ | 41,2 | 28,2 |
| СК1 | 26,3 | 13,1 |
| СК2 | 13,8 | 15,5 |
| Среднее | 27,1 | 18,9 |

Примечание. КХП — этап квалифицированной хирургической помощи; СХП — этап специализированной хирургической помощи.

Таблица 2. Летальность исследуемых раненых на различных этапах медицинской эвакуации, %

| Конфликт | Этап | |
|----------|------|-----|
| | КХП | СХП |
| АФ | 12,9 | 4,7 |
| СК1 | 0,0 | 5,3 |
| СК2 | 5,2 | 1,7 |
| Среднее | 6,0 | 3,9 |

медицинской помощи отражена в табл. 1, летальность среди исследуемых раненых приведена в табл. 2.

Остановка продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких на этапе КХП производилась в 13,8 % (СК2), 26,3 % (СК1) и 41,2 % (АФ), на этапе СХП — в 13,1 % (СК1), 15,5 % (СК2) и в 28,2 % (АФ) случаев, большее количество оперативных вмешательств на этапе КХП обусловлено наиболее ранней доставкой раненых на данный этап. При этом на этапе КХП наблюдается большее среднее значение летальности (6,0 %), чем на этапе СХП (3,9 %), причиной чему служили тяжесть состояния раненых и ограниченные возможности хирургического устранения последствий ранений. Неостановленное продолжающееся кровотечение при сквозном ранении легких послужило причиной смерти на этапах медицинской помощи в 21 случае (11,6 %). Высокий уровень летальности раненых объясняется тяжестью состояния вследствие развития жизнеугрожающих последствий ранений. Остановка продолжающегося кровотечения из ткани легкого в рамках концепции Damage control с использованием быстрой и эффективной методики позволит улучшить результаты лечения у такой категории раненых в военное время.

Для определения эффективности остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких на этапе специализированной помощи в мирное время из 1120 исследуемых историй болезни было отобрано 148 (13,2 %) случаев тяжелых сочетанных огнестрельных или колото-резанных ранений груди. Из них 59 случаев (5,3 %) составили пациенты с проникающими ранениями и повреждением легких. Из этого числа пострадавших в 11 случаях (18,6 %) наблюдалось

продолжающееся кровотечение при сквозном ранении легких. При этом во всех случаях выполнялась неотложная торакотомия. Для остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легкого было произведено 6 (59,5 %) атипичных резекций легкого, в 2 случаях (18,2 %) проводилась сегментэктомия, также в 2 случаях (18,2 %) — легочная трактомию и в 1 случае (9,1 %) пациенту выполнена лобэктомия. В результате использования существующих методов остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легкого зарегистрировано развитие осложнений в 3 случаях (27,5 %), летального исхода в 2 наблюдениях (18,2 %).

Анализ исходов лечения раненых и пострадавших показал, что летальность в военное время составила 11,6 %, а в мирное — 18,2 %. В результате проведенного исследования установили, что ранения груди часто сопровождаются развитием жизнеугрожающих последствий, которые приводят к увеличению тяжести состояния раненых. Имеющиеся жизнеугрожающие состояния создают необходимость скорейшего их устранения. Остановка продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легкого в рамках концепции Damage control с использованием быстрой и эффективной методики позволит улучшить результаты лечения исследуемой категории пациентов.

Выявлены высокая летальность и частота развития осложнений при сквозных ранениях легких, сопровождающихся продолжающимся кровотечением, что связано с высокой тяжестью состояния пациентов при развитии жизнеугрожающих последствий ранения. При оказании медицинской помощи таким пациентам в рамках тактики Damage control необходимо скорейшее устранение жизнеугрожающих состояний, блокировка факторов танатогенеза. С этой целью сформулированы требования для создания способа остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легкого с учетом достоинств и недостатков имеющихся методик.

Метод для устранения продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких должен обеспечивать максимальную остановку кровотечения и герметизацию для предотвращения утечки воздуха из поврежденного легкого, в том числе из раневого канала, локализованного в центральной зоне органа. Осуществление данного требования возможно достичь с использованием аппаратного шва или ручным обвивным швом на легочную ткань. Кроме этого, способ должен выполняться быстро для уменьшения времени операции на раневом канале в легком в целях снижения интраоперационной кровопотери и вероятности поздних инфекционных осложнений. Также техническая простота и высокая эффективность выполнения данного метода должны позволять выполнить окончательную остановку кровотечения и аэростаз хирургу, обладающему базовыми навыками в торакальной хирургии.

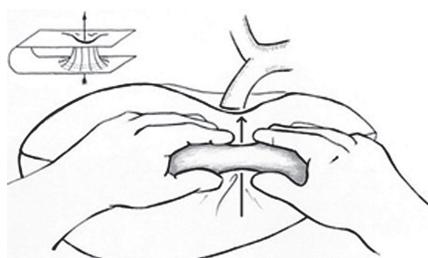


Рис. 2. Компрессия легочной ткани по ходу раневого канала ассистентом

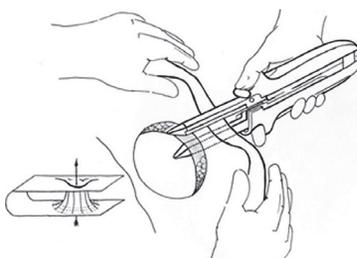


Рис. 3. Аппаратный шов сжатой по ходу раневого канала легочной ткани от наружной поверхности легкого до раневого канала

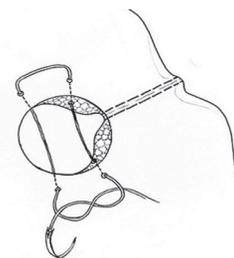


Рис. 4. Прошивание раневого канала П-образным швом



Рис. 5. Биологическая модель продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких



Рис. 6. Осуществленный гемо- и аэрозтаз

Разработанный метод проиллюстрирован на рис. 2–4 и представляет собой хирургическое вмешательство. После выполнения типичной торакотомии производится ревизия плевральной полости, выявляются раневой канал и источник продолжающегося кровотечения из раны легкого. Ассистент сдавливает пальцами легочную ткань по ходу раневого канала, тем самым стремясь максимально сблизить входное и выходное отверстия (рис. 2). После компрессии легочной ткани хирург накладывает на легочную ткань сшивающий аппарат (рис. 3) от края легкого до компрессируемого раневого канала, производятся сшивание и дальнейшее рассечение ткани легкого аппаратом. Если размер линии от края легкого до раневого канала превышает размер сшивающего аппарата, то прошивание производится в два и более приема. При отсутствии сшивающего аппарата аналогичным образом, параллельно, на расстоянии 5 мм друг от друга, накладываются два зажима. Легочная ткань между ними пересекается, зажимы разводятся в стороны, вокруг обоих зажимов накладывается обвивной шов, зажимы снимаются. Раневой канал раскрывается и прошивается П-образным швом (рис. 4). С помощью воздушной нагрузки с использованием аппарата искусственной вентиляции легких проводится контроль произведенного оперативным вмешательством гемостаза и герметизации легочной ткани. При обнаружении мест утечки воздуха они дополнительно ушиваются. Операция заканчивается постановкой дренажей в плевральную полость и послойным ушиванием торакотомной раны.

Создание биологической модели продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких начиналось с подготовки экспериментального животного. Биообъекты

интубировались с целью обеспечения проходимости дыхательных путей. Наркоз подбирался таким образом, чтобы достигалась достаточная наркотизация, но сохранялось самостоятельное дыхание атмосферным воздухом. Для вводного наркоза использовался Золетил 100. После фиксации показателей жизнедеятельности производилась правосторонняя боковая торакотомия, скальпелем или зажимом наносилось сквозное ранение легкого в центральной зоне (рис. 5). Далее проводилась экспозиция в течение 20 мин, после которой выполнялась вторая фиксация показателей для оценки полученной биологической модели. На разработанной биологической модели проводилась остановка продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких путем выполнения предложенного способа. Для каждого животного показатели жизнедеятельности контролировались в трех временных точках: до начала эксперимента, после создания кровотечения из паренхимы легкого и после применения разработанного метода для остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких. Контроль показателей осуществлялся после экспозиции. Значения показателей жизнедеятельности в ходе экспериментов по устранению данного состояния представлены в табл. 3. В ходе эксперимента, в результате нанесения ранений легочной паренхиме и продолжающегося кровотечения, отмечались выраженная тахикардия, снижение артериального давления, увеличение частоты дыхательных движений и уменьшение сатурации — развитие тяжелого состояния у животных. Было выполнено предложенное оперативное вмешательство, после его применения (рис. 6) определялось изменение показателей в сторону нормализации, что подтверждает эффективность разработанной методики.

Таблица 3. Значения показателей жизнедеятельности в ходе экспериментов

| Показатели | САД среднее | ЧСС | ЧДД | SpO ₂ |
|-------------------------------------|-------------|-------------|--------|------------------|
| До ранения | 122,4 ± 8,9 | 77 ± 6 | 14 ± 2 | 97,9 ± 1,7 |
| После экспозиции (20 мин) | 75 ± 7,4 | 136 ± 4 | 26 ± 3 | 81,3 ± 3,7 |
| После оперативного вмешательства | 112,1 ± 4,7 | 106,7 ± 8,3 | 21 ± 2 | 95,7 ± 2,3 |

Примечание. САД — систолическое артериальное давление; ЧСС — частота сердечных сокращений; ЧДД — частота дыхательных движений, SpO₂ — насыщение крови кислородом.

Таблица 4. Выполнение технических требований к методу

| Критерий | Результат |
|---|---------------|
| Остановка кровотечения (с какой попытки) | С 1-й попытки |
| Создание аэростаза (с какой попытки) | С 1-й попытки |
| Травматизация плевральной полости/легкого/органов средостения (+/-) | — |
| Время операции (мин) | 4 ± 1 |

В процессе выполнения эксперимента контролировали выполнение технических требований к способу, которые подтверждают его эффективность при лечении раненых в тяжелом состоянии согласно тактике Damage control — скорость его выполнения, отсутствие дополнительной травматизации, эффективность остановки кровотечения и создания аэростаза (табл. 4).

Таким образом, при экспериментальной оценке эффективности предложенного способа остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких на биологических объектах была продемонстрирована его эффективность, выполнение всех предъявляемых к нему медико-технических требований. Это позволяет использовать разработанный способ при устранении жизнеугрожающих состояний у раненых, находящихся в тяжелом и крайне тяжелом состоянии согласно тактике Damage control.

ВЫВОДЫ

1. Структура жизнеугрожающих последствий повреждений груди в ходе военных конфликтов включала в себя развивающееся в 22,5 % случаев продолжающееся кровотечение при сквозном ранении легких;

в условиях мирного времени данное состояние наблюдалось в 18,6 % случаев.

2. Созданный на основе разработанных медико-технических требований метод оперативного вмешательства для остановки продолжающегося кровотечения при сквозном ранении легких продемонстрировал свою высокую эффективность при экспериментальной оценке на биологических моделях.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова».

Вклад авторов. А.К. Колобков — анализ данных, написание текста статьи. В.Ю. Маркевич — редактирование текста статьи. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Денисов А.С., Щеколова Н.Б., Ладейщиков В.М. Хирургическая тактика при сочетанной травме груди в остром и последующих периодах травматической болезни // Пермский медицинский журнал. 2019. Т. 36, № 3. С. 11–17. DOI: 10.17816/pmj36311-17
2. Евдокимов С.В., Баулин А.В., Евдокимов М.Е., и др. Некоторые особенности организации проведения хирургического экс-

перимента на свиньях // Успехи современного естествознания. 2015. № 1–5. С. 756–759.

3. Иноземцев Е.О., Григорьев Е.Г., Апарцин К.А. Актуальные вопросы хирургии сочетанных повреждений (по материалам публикаций журнала «Политравма») // Политравма. 2017. № 1. С. 6–10.

4. Самохвалов И.М., Головки К.П., Бояринцев В.В., и др. Обоснование концепции раннего патогенетического лечения тяжелых ранений и травм // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2020. № 3. С. 23–28.
5. Самохвалов И.М., Мануковский В.А., Бадалов В.И., и др. Применение тактики многоэтапного лечения («damage control») в военно-полевой хирургии // Военно-медицинский журнал. 2011. Т. 332, № 9. С. 30–35.

6. Asensio J.A., Ogun O.A., Mazzini F.N., et al. Predictors of outcome in 101 patients requiring emergent thoracotomy for penetrating pulmonary injuries // *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2018. Vol. 44, No. 1. P. 55–61. DOI: 10.1007/s00068-017-0802-x
7. Geldenhuis A. Thoracic Damage Control Surgery // *Current Trauma Reports*. 2018. Vol. 4, No. 3. P. 177–182.

REFERENCES

1. Denisov AS, Shchekolova NB, Ladeyshchikov VM. Surgical tactics for combined chest trauma in acute and subsequent periods of traumatic. *Perm Medical Journal*. 2019;36(3):11–17. (In Russ.) DOI: 10.17816/pmj36311-17
2. Evdokimov SV, Baulin AV, Evdokimov ME, et al. Some features of organizing a surgical experiment on pigs. *Advances in current natural sciences*. 2015;(1–5):756–759.
3. Inozemtsev EO, Grigoryev EG, Aparzin KA. Topical issues of surgery of combined injuries (based on the publications of the journal *Polytrauma*). *Polytrauma*. 2017;(1):6–10. (In Russ.)
4. Samokhvalov IM, Golovko KP, Boyarintsev VV, et al. Rationale for the concept of early pathogenetic treatment of severe injuries and injuries. *Vestnik Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akadtmii*. 2020;(3):23–28. (In Russ.)
5. Samokhvalov IM, Manukovskiy VA, Badalov VI, et al. Application of multi-stage treatment tactics (“damage control”) in military field surgery. *Military Medical Journal*. 2011;332(9):30–35. (In Russ.)
6. Asensio JA, Ogun OA, Mazzini FN, et al. Predictors of outcome in 101 patients requiring emergent thoracotomy for penetrating pulmonary injuries. *European Journal of Trauma and Emergency Surgery*. 2018;44(1):55–61. DOI: 10.1007/s00068-017-0802-x
7. Geldenhuis A. Thoracic Damage Control Surgery. *Current Trauma Reports*. 2018;4(3):177–82.

ОБ АВТОРАХ

***Артемий Константинович Колобков**, курсант 6-го курса; адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; eLibrary SPIN: 1881-4298; e-mail: artkolon@gmail.com

Виталий Юрьевич Маркевич, канд. мед. наук, доцент; eLibrary SPIN: 5652-4935; e-mail: vitaly-med@mail.ru

AUTHORS INFO

***Artemii K. Kolobkov**, 6th year cadet; address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia; eLibrary SPIN: 1881-4298; e-mail: artkolon@gmail.com

Vitaliy Yu. Markevich, MD, PhD (Medicine), Associate Professor; eLibrary SPIN: 5652-4935; e-mail: vitaly-med@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64473>

Изменение конечной части комплекса QRS и сегмента ST-T у пациентов с коронавирусной инфекцией

© Е.О. Ряднова*, В.П. Кицышин, В.В. Салухов, А.А. Чугунов

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Статья посвящена закономерностям изменения комплекса QRS и сегмента ST-T у пациентов с новой коронавирусной инфекцией. В статье представлены результаты сравнения данных электрокардиограмм у 70 пациентов с COVID-19, находившихся на лечении в 1-й клинике (терапии усовершенствования врачей) с апреля по июль 2020 г. У каждого пациента были сняты минимум две электрокардиограммы (в начале и в конце заболевания). В ходе работы разработана и описана новая методика измерения площади зубцов P, T, комплекса QRS и сегмента ST-T с помощью динамической математической программы GeoGebra Classic 6.0 методом соотношения миллиметровых сеток электрокардиограммы и программы и дальнейшего построения неправильной фигуры с учетом полярности зубцов и сегментов. Согласно проведенному исследованию, сумма площадей сегмента ST-T во всех 12 отведениях статистически значимо отличалась и была больше в конце заболевания у лиц старше 30 лет. Также значимо больше были суммы в правых грудных отведениях (V1–V2) у лиц всех возрастов. Вероятно, данные изменения связаны с тяжестью течения основного заболевания и, следовательно, с перегрузкой правых отделов сердца.

Ключевые слова: COVID-19; SARS-CoV-2; зубец T; нарушения ритма; реполяризация; сегмент ST-T; факторы риска.

Как цитировать:

Ряднова Е.О., Кицышин В.П., Салухов В.В., Чугунов А.А. Изменение конечной части комплекса QRS и сегмента ST-T у пациентов с коронавирусной инфекцией // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 19–25. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64473>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64473>

Changes in the end part of the QRS complex and the ST-T segment in patients with coronavirus infection

© Ekaterina O. Ryadnova*, Viktor P. Kitsyshin, Vladimir V. Salukhov, Aleksandr A. Chugunov

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

This article is devoted to the patterns of changes in the QRS complex and the ST-T segment in patients with a new coronavirus infection. The article presents the results of a comparison of electrocardiogram data in 70 patients with COVID-19 who were treated in 1st Department of Internal Medicine Postgraduate Training from April to July 2020. Each patient had at least two electrocardiograms taken (at the beginning and at the end of the disease). In the course of the work, a new method for measuring the area of the teeth P, T, QRS complex and ST-T segment was developed and described using the dynamic mathematical program GeoGebra Classic 6.0 by correlating the millimeter grids of the electrocardiogram and the program and further constructing an irregular shape taking into account the polarity of the teeth and segments. According to the study, the sum of the ST-T segment areas in all 12 leads is statistically significantly greater at the end of the disease in individuals over 30 years old. It is also significantly higher in the right thoracic leads (V1-V2) in for all ages. Probably, these changes are associated with the severity of the underlying disease and, consequently, with the overload of the right parts of the heart.

Keywords: arrhythmias; COVID-19; repolarization; risk factor; SARS-CoV-2; ST-T segment; T-wave.

To cite this article:

Ryadnova EO, Kitsyshin VP, Salukhov VV, Chugunov AA. Changes in the end part of the QRS complex and the ST-T segment in patients with coronavirus infection. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):19–25. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64473>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

С начала пандемии специалистами разных направлений активно изучаются проявления, связанные с инфицированием SARS-CoV2, подходы к диагностике и лечению [1, 2]. На данный момент выявлено, что наиболее часто встречающимися патологиями сердечно-сосудистой системы при COVID-19 являются: острый коронарный синдром, внезапная сердечная смерть, миокардит, тромбоэмболические осложнения, аритмии и нарушения реполяризации. Нарушения реполяризации — это изменение формы зубца Т и отклонение сегмента ST от изолинии на электрокардиограмме [3].

Проблема изменения формы зубца Т при записи электрокардиограммы является распространенной. Она составляет около 21 % по данным одних исследований, и от 2,4 до 27,1 % — по данным других [4, 5]. Данные исследования включали пациентов без патоморфологических изменений сердечно-сосудистой системы. Особое значение нарушение реполяризации приобрело при новой коронавирусной инфекции. Так, по данным Н.А. Varman, депрессия сегмента ST была обнаружена у 20 %, инверсия Т-волны — у 22 и изменения ST-T — у 28 % пациентов [6]. Предполагается, что изменение зубца Т и сегмента ST-T может служить маркером тяжести течения основного заболевания, оценка морфологии зубцов может способствовать ранней диагностике вовлечения в воспалительный процесс сердечно-сосудистой системы, что, в свою очередь, приведет к снижению частоты развития фатальных аритмий и смертности [7].

Ранее используемыми методиками описания зубца Т и сегмента ST являлись амплитуда и интервал. К сожалению, данных параметров недостаточно для точного описания изменений, происходящих на электрокардиограмме (ЭКГ). Начиная с 2003 г. получили развитие новые методики описания гетерогенности Т-зубца: анализ морфологии второго центрального момента Т-волны, косинус между комплексом QRS и Т-волной, нормализованная площадь Т-зубца, автоматизированный анализ второго центрального момента стандартных цифровых 12-канальных электрокардиограмм, 120-канальное картирование поверхности тела, дисперсия области Т-волны (TW-Ad) [8]. Большая часть данных методов является недоступной для рутинного использования, именно поэтому нами разработан новый подход к оценке морфологии зубца Т.

Цель — оценить закономерности изменения комплекса QRS и сегмента ST-T у пациентов с коронавирусной инфекцией, осуществить контроль состояния пациентов, а также определить взаимосвязь тяжести течения основного заболевания с изменениями на ЭКГ.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании произведена обработка электрокардиограмм пациентов с COVID-19, находившихся на лечении в 1-й клинике (терапии усовершенствования врачей) с апреля по июль 2020 г. Необходимым условием было наличие у каждого пациента минимум двух электрокардиограмм (в начале и в конце заболевания). В исследование было включено 70 человек: 54 мужчины и 16 женщин, средний возраст составил 46 лет. Все электрокардиограммы были записаны с помощью электрокардиографа Rscribe (ELI), MORTARA Instrument со скоростью 25 мм/с, вольтажом 10 мм/мВ, фильтром 40 Гц.

Данные электрокардиограмм были обработаны с помощью динамической математической программы GeoGebra Classic 6.0 методом соотнесения миллиметровых сеток электрокардиограммы и программы. После чего производилось построение изолиний от начала зубца Р одного комплекса до начала зубца Р другого. Также проводились перпендикулярная изолинии прямая через точку j для обозначения начала комплекса ST-T, перпендикуляры через начало и конец зубца Т. Производились выборка трех представительских комплексов из каждого отведения и, далее, построение неправильной фигуры с учетом полярностей зубцов и сегментов (рис. 1, $a-v$).

Затем оценивалась площадь зубцов Р, Т и сегмента ST в мм², а также, с целью снижения влияния на ошибку альтерации зубца Т от цикла к циклу в одном отведении, производился расчет среднего из трех полученных значений.

Для интерпретации данных, полученных при измерении площадей зубцов Р, Т и сегмента ST и оценки их точности была создана матрица, в которой была выполнена комплексная оценка зубцов и сегментов в каждой электрокардиограмме, а также проведен анализ данных, полученных в начале и конце заболевания.

Нормальность распределения количественных переменных определялась с помощью косвенных методов (определение коэффициента асимметрии и эксцесса), графических методов (частотная гистограмма, нормально-вероятностный график и ящичная диаграмма), а также с помощью критерия Колмогорова–Смирнова (распределение считалось отличным от нормального при $p < 0,05$). Так как данные были распределены ненормально для количественной характеристики распределенных переменных, определялась медиана (Me) и межквартильный размах в формате МКР (00; 00). Для определения статистической значимости различий зависимых количественных переменных между группами использовался Т-критерий Уилкоксона. Для измерения статистической значимости в независимых выборках номинальных шкал двух уровней, трех и более уровней применялись U-критерий Манна–Уитни и критерий Краскела–Уоллиса соответственно.

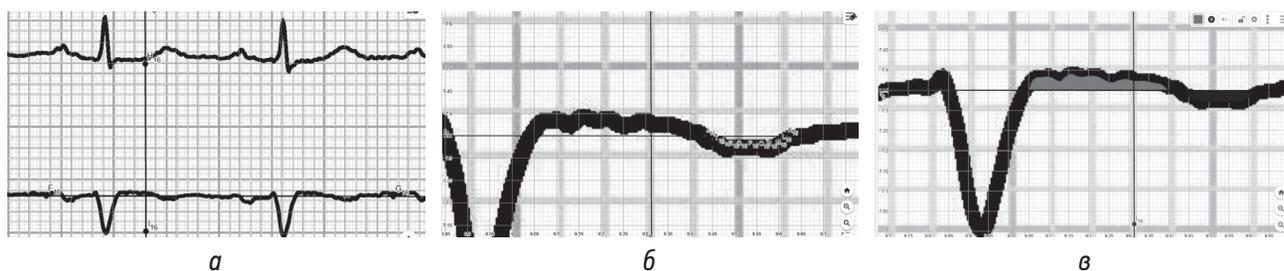


Рис. 1. Электрокардиограмма: а–в — этапы построения многоугольника для оценки площади сегмента ST-T

РЕЗУЛЬТАТЫ

По результатам обработки электрокардиограмм в обследованной группе ($n = 70$) были изучены площади зубцов P, T, сегмента ST, сумма площадей во всех 12 отведениях, а также сумма площадей сегмента ST-T в правых грудных отведениях V1–V2.

При исследовании суммы площадей зубца P во всех 12 отведениях в начале и конце заболевания статистические данные отличались не существенно ($p = 0,773$). Медианное значение суммы зубцов P в начале заболевания составило 7,8465 (МКР: 0; 11,016), в конце заболевания — 8,6835 (МКР: 0; 10,5885). Данные в каждом отведении также не показали статистических различий.

При сравнении сумм площадей зубца T и сегмента ST во всех 12 отведениях также не было выявлено существенных различий. Статистическая значимость для зубца T составила $p = 0,175489$, медианное значение суммы зубцов T в начале заболевания — 29,4605 (МКР: 0; 63,5625), в конце заболевания — 37,88 (МКР: 0; 62,806). Для сегмента ST статистическая значимость составила $p = 0,185$, медианное значение суммы зубцов ST в начале заболевания — 8,0235 (МКР: 3,8655; 15,7505), в конце заболевания — 6,766 (МКР: 0; 12,46350).

Однако статистически значимые различия были выявлены при сравнении площадей зубца T в правых

грудных отведениях V1 ($p = 0,02$), V2 ($p = 0,003$). Площадь зубца T была значимо больше при ЭКГ в покое перед выпиской из стационара. Так, медианное значение площади зубца по данным ЭКГ в покое перед выпиской составило 1,6755 (МКР: -0,734; 3,791) и 10,53 (МКР: 6,08; 15,08) в отведениях V1 и V2 соответственно. Исходно данные показатели были равны 0,7795 (МКР: -0,913; 2,956) и 8,988 (МКР: 5,189; 12,49). Площади сегмента ST в отведениях V1 и V2 отличались также статистически значимо: $p = 0,019$ и $p = 0,025$, значения Me перед выпиской составляли 0,965 (МКР: 0,0; 2,045) и 2,1585 (МКР: 1,345; 4,34), при поступлении в стационар — 0,819 (МКР: 0,0; 1,695) и 2,09 (МКР: 0,88; 3,541) соответственно.

Далее был произведен расчет некоего интегрального показателя для количественной оценки изменений процессов реполяризации правых отделов сердца. Была рассчитана сумма площадей зубца T в правых грудных отведениях (V1–V3) (рис. 2, а–в). При сравнении данного показателя в двух группах статистическое различие составляло $p = 0,01$, Me в начале заболевания — 21,4 (МКР 9,96; 28,664), в конце заболевания — 20,3 (МКР 12,66; 33,92).

Следующим этапом было сравнение изменений площади зубца T среди разных возрастных групп. Все пациенты ($n = 70$) были разделены на 7 групп с шагом 10 лет. В первую группу (возрастной интервал с 18 до 27 лет)

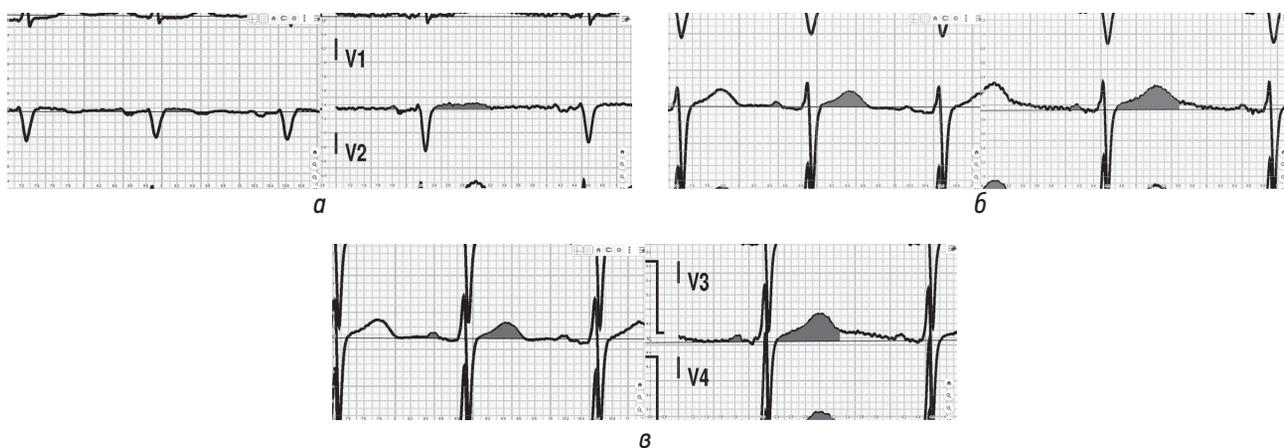


Рис. 2. Электрокардиограмма: а — сравнение зубца T в отведении V1 в начале и конце заболевания; б — сравнение зубца T в отведении V2 в начале и конце заболевания; в — сравнение зубца T в отведении V3 в начале и конце заболевания

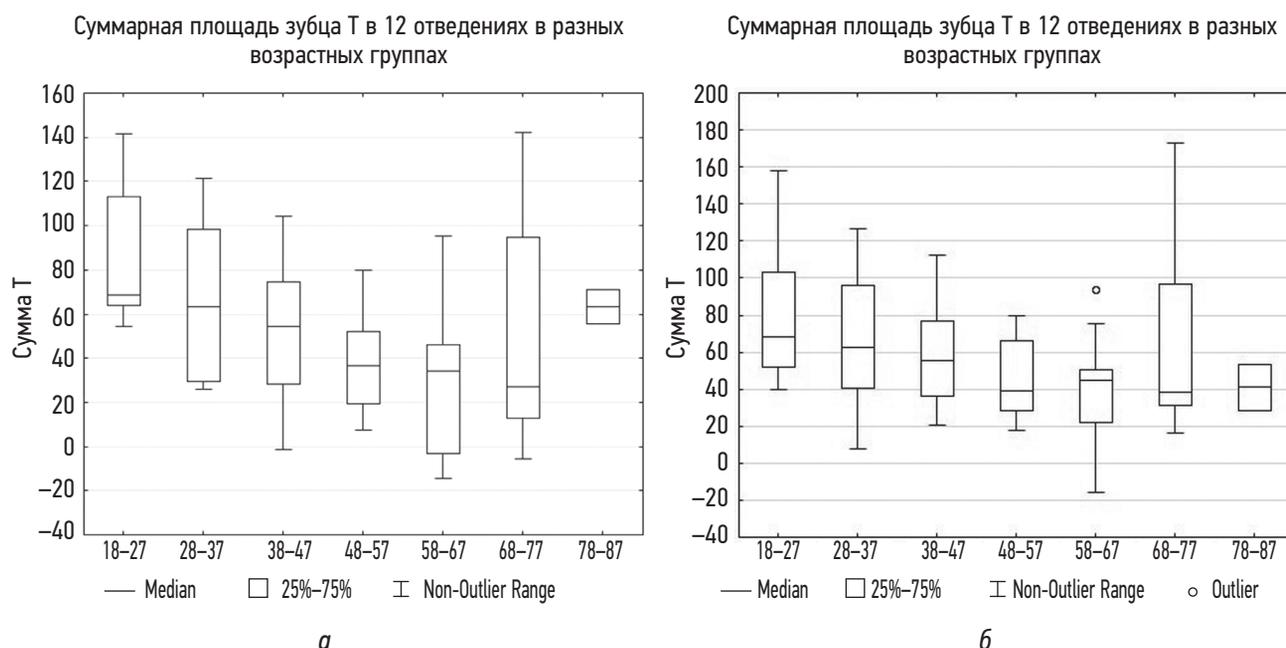


Рис. 3. Коробчатые диаграммы; *а* — сравнение сумм зубцов Т в зависимости от возраста в начале заболевания; *б* — сравнение сумм зубцов Т в зависимости от возраста в конце заболевания

вошли 12 человек; во вторую (с 28 до 37 лет) — 11; в третью (с 38 до 47 лет) — 13; в четвертую (с 48 до 57 лет) — 15; в пятую (с 58 до 67 лет) — 10; в шестую (с 68 до 77 лет) — 7; в седьмую (старше 78 лет) — 2 человека. При сравнении групп между собой по сумме зубцов Т в начале заболевания статистические различия были значимы ($p = 0,004$). Значения медиан и межквартильного размаха были следующие (рис. 3, *а*):

- 1) в первой группе — 68,7075 (МКР: 63,843; 113,277);
- 2) во второй — 63,053 (МКР: 29,549; 98,196);
- 3) в третьей — 54,327 (МКР: 27,998; 74,674);
- 4) в четвертой — 36,728 (МКР: 19,379; 52,136);
- 5) в пятой — 34,459 (МКР: -2,957; 46,312);
- 6) в шестой — 27,346 (МКР: 12,67; 94,724);
- 7) в седьмой — 63,3585 (МКР: 55,582; 71,135).

В свою очередь, при аналогичном сравнении в конце заболевания сумма зубцов Т в 12 отведениях отличалась по группам статистически не значимо ($p = 0,15$). Значения медиан и межквартильного размаха были следующие (рис. 3, *б*):

- 1) в первой группе — 67,947 (МКР: 51,558; 103,0655);
- 2) во второй — 62,72 (МКР: 40,165; 96,101);
- 3) в третьей — 55,291 (МКР: 36,329; 76,548);
- 4) в четвертой — 39,286 (МКР: 28,55; 65,871);
- 5) в пятой — 45,0695 (МКР: 22,158; 50,366);
- 6) в шестой — 38,377 (МКР: 31,41; 97,105);
- 7) в седьмой — 40,8835 (МКР: 28,403; 53,364).

Следует отметить, что наблюдается закономерное изменение медиан и межквартильного размаха у людей в возрасте от 27 до 78 лет (со второй по шестую группу). В группах под номерами один и семь наблюдаются обратные значения, что может говорить о псевдонормализации зубца Т в данных группах в начале заболевания.

Вероятно, данная особенность изменения реполяризации, отличная от основной группы, связана с особенностями вегетативной нервной системы, а также с наиболее легким течением основного заболевания у лиц младше 27 лет.

После выявленных особенностей был проведен дополнительный анализ данных с исключением группы лиц моложе 30 лет. Количество пациентов составило 56 человек. В данном анализе статистически значимые различия наблюдались в отношении не только правых грудных отведений, но и в отношении общей суммы площадей зубцов Т во всех 12 отведениях. Оказалось, что сумма площадей зубцов Т была статистически значимо больше перед выпиской, составив 48,4945 (МКР: 28,662; 72,765), чем на изначальной ЭКГ, составив 45,57 (МКР: 22,45; 63,56) ($p = 0,02$).

Таким образом, изменение площади зубца Т и сегмента ST может иметь важную клиническую значимость для определения степени вовлечения сердечной мышцы в воспалительный процесс, а также говорить о перегрузке правых отделов сердца вследствие легочной гипертензии. Особую важность это может предоставлять в военно-медицинских учреждениях, не оснащенных аппаратами для эхокардиографического исследования сердца. Значительное уменьшение амплитуды и площади зубца Т в правых грудных отведениях косвенно может свидетельствовать о перегрузке правого желудочка. Сравнение площадей зубца Т в отведениях V1-V3 может служить важным критерием оценки сердечно-сосудистой системы у пациентов с коронавирусной инфекцией любого возраста. А сумма площадей зубцов Т во всех 12 отведениях может быть значимым электрокардиографическим критерием у лиц старше 30 лет.

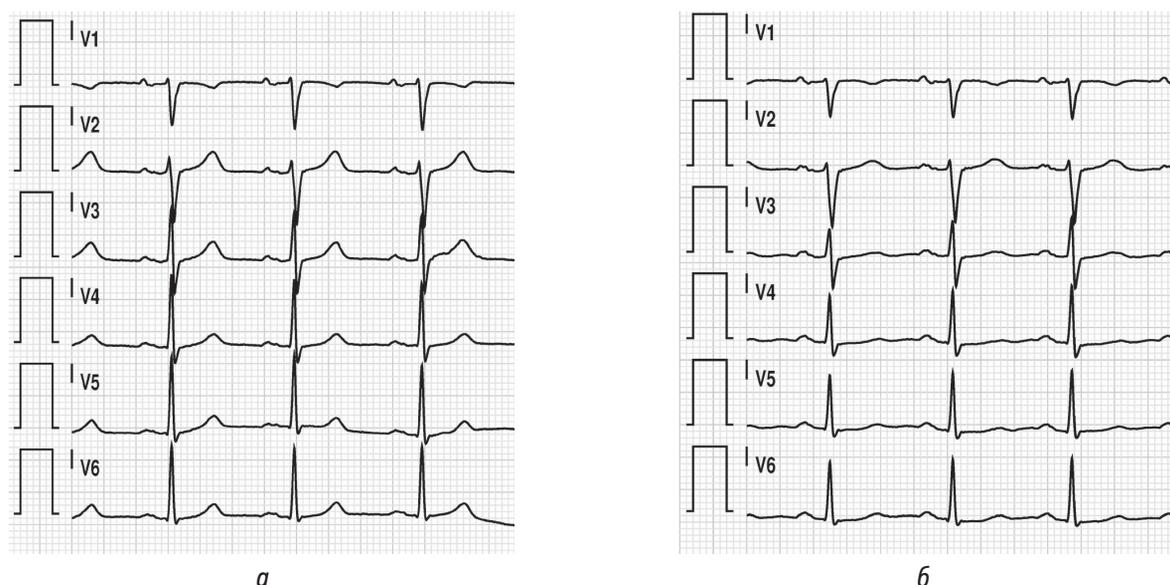


Рис. 4. Электрокардиограмма: *а* — до заболевания COVID-19; *б* — в начале заболевания COVID-19

Стоит остановиться и на том, что при сравнении электрокардиограмм, снятых до COVID-19 и сделанных начале заболевания, хорошо видно «уплощение» зубца Т (рис. 4, *а*, *б*). Однако эти статистические данные не обрабатывались, так как ЭКГ до заболевания имеются всего у 6 % ($n = 4$) пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании рассмотрен новый способ для оценки изменений реполяризации сердца. Анализ изменений площади Т-зубца в перспективе может решить задачу определения степени вовлечения в воспалительный процесс сердца, кроме того способствовать раннему выявлению перегрузки правых отделов сердца, а следовательно, косвенно говорить о тяжести процесса.

В ходе работы значимая динамика сумм площадей сегмента ST-T у пациентов всех возрастов наблюдалась только в правых грудных отведениях (V1-V3). При исключении из обследуемой группы лиц моложе 30 лет увеличение площади сегмента ST-T в конце заболевания наблюдалось во всех 12 отведениях. Результаты проведенного исследования показывают, что измерения

площадей зубцов и сегментов электрокардиограммы могут быть использованы в качестве вспомогательных характеристик при ведении пациентов с новой коронавирусной инфекцией.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено экспертной комиссией № 4 Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (протокол № 158 от 12.03.2021).

Вклад авторов. Е.О. Ряднова — литературный поиск, анализ данных, написание текста статьи. В.П. Кицышин, В.В. Салухов, А.А. Чугунов — редактирование текста статьи.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Зайцев А.А., Чернов С.А., Крюков Е.В., и др. Практический опыт ведения пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 в стационаре (предварительные итоги и рекомендации) // Лечащий врач. 2020. № 6. С. 74–79. DOI: 10.26295/OS.2020.41.94.014
2. Зайцев А.А., Савушкина О.И., Черняк А.В., и др. Клинико-функциональная характеристика пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию COVID-19 // Практическая пульмонология. 2020. № 1. С. 78–81.
3. Задионченко В.С., Шехян Г.Г., Щикота А.М., Ялымов А.А. Причины и клиническое значение ЭКГ-феномена элевации сегмента ST // Вестник экстренной медицины. 2019. Т. 4, № 12. С. 60–70.
4. Шуленин С.Н., Бойцов С.А., Бобров А.Л. Клиническое значение синдрома ранней реполяризации желудочков, алгоритм обследования пациентов // Вестник аритмологии. 2007. Т. 50, № 50. С. 33–40.
5. Stein P.D., Matta F., Ekkah M., et al. Electrocardiogram in pneumonia // Am. J. Cardiol. 2012. Vol. 12, No. 110. P. 1836–1840. DOI: 10.1016/j.amjcard.2012.08.019

6. Barman H.A., Atici A., Alici G., et al. The effect of the severity COVID-19 infection on electrocardiography // *Am. J. Emerg. Med.* 2020. Vol. 10, No. 38. P. 27–31. DOI: 10.1016/j.ajem.2020.10.005
7. Baldi E., Sechi G.M., Mare C., et al. COVID-19 kills at home: the close relationship between the epidemic and the increase of out-of-hospital cardiac arrests // *Eur. Heart J.*

2020. Vol. 32, No. 41. P. 3045–3054. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa508
8. Kenttä T.V., Sinner M.F., Nearing B.D., et al. Repolarization Heterogeneity Measured With T-Wave Area Dispersion in Standard 12-Lead ECG Predicts Sudden Cardiac Death in General Population // *Circ. Arrhythm. Electrophysiol.* 2018. Vol. 2, No. 11. P. 57–62. DOI: 10.1161/CIRCEP.117.005762

REFERENCES

1. Zaytsev AA, Chernov SA, Kryukov EV, et al. Practical experience of managing patients with new coronavirus infection COVID-19 in the hospital (preliminary results and recommendations). *Lechashchiy vrach.* 2020;(6):74–79. (In Russ.) DOI: 10.26295/OS.2020.41.94.014
2. Zaytsev AA, Savushkina OI, Chernyak AV, et al. Clinical and functional characteristics of patients who have undergone a new coronavirus infection COVID-19. *Practical pulmonology.* 2020;(1):78–81. (In Russ.)
3. Zadionchenko VS, Shekhyan GG, Shchikota AM, Yalymov AA. Causes and clinical significance of ECG-phenomenon of ST segment elevation. *Vestnik Ekstrennoy Meditsiny.* 2019;4(12):60–70. (In Russ.)
4. Shulenin SN, Boytsov SA, Bobrov AL. Clinical significance of the syndrome of early repolarization of the ventricles, an algorithm for examining patients. *Arrhythmology Bulletin.* 2007;50(50):33–40. (In Russ.)
5. Stein PD, Matta F, Ekkah M, et al. Electrocardiogram in pneumonia. *Am J Cardiol.* 2012;12(110):1836–1840. DOI: 10.1016/j.amjcard.2012.08.019
6. Barman HA, Atici A, Alici G, et al. The effect of the severity COVID-19 infection on electrocardiography. *Am J Emerg Med.* 2020;10(38):27–31. DOI: 10.1016/j.ajem.2020.10.005
7. Baldi E, Sechi GM, Mare C, et al. COVID-19 kills at home: the close relationship between the epidemic and the increase of out-of-hospital cardiac arrests. *Eur Heart J.* 2020;32(41):3045–3054. DOI: 10.1093/eurheartj/ehaa508
8. Kenttä TV, Sinner MF, Nearing BD, et al. Repolarization Heterogeneity Measured With T-Wave Area Dispersion in Standard 12-Lead ECG Predicts Sudden Cardiac Death in General Population. *Circ Arrhythm Electrophysiol.* 2018;2(11):57–62. DOI: 10.1161/CIRCEP.117.005762

ОБ АВТОРАХ

***Екатерина Олеговна Ряднова**, клинический ординатор;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8890-0414>;
eLibrary SPIN: 3590-9216; e-mail: kate_31_96@mail.ru

Виктор Петрович Кицышин, докт. мед. наук, профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7797-5952>;
eLibrary SPIN: 5733-0983; e-mail: kitsyshin@ya.ru

Владимир Владимирович Салухов, докт. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1851-0941>;
eLibrary SPIN: 4531-6011; e-mail: vlasaluk@yandex.ru

Александр Алексеевич Чугунов, адъюнкт;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2532-6133>;
eLibrary SPIN: 3839-7619; e-mail: alexandrchugun@yandex.ru

AUTHORS INFO

***Ekaterina O. Ryadnova**, resident;
address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8890-0414>;
eLibrary SPIN: 3590-9216; e-mail: kate_31_96@mail.ru

Viktor P. Kitsyshin, MD, DSc (Medicine), Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7797-5952>;
eLibrary SPIN: 5733-0983; e-mail: kitsyshin@ya.ru

Vladimir V. Salukhov, MD, DSc (Medicine);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1851-0941>;
eLibrary SPIN: 4531-6011; e-mail: vlasaluk@yandex.ru

Aleksandr A. Chugunov, adjunct;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2532-6133>;
eLibrary SPIN: 3839-7619; e-mail: alexandrchugun@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64474>

Определение исходов патогенетической терапии у пациентов с SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонией

© Т.В. Степанова*, В.В. Салухов, А.А. Чугунов

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Этиотропные препараты, использовавшиеся в начале пандемии, не показали своей эффективности в отношении уменьшения сроков лечения, развития летального исхода, а также предупреждения перехода на использование механической вентиляции легких. Для апробации нового метода этиотропной и патогенетической терапии нами был проведен анализ исходов комплексной терапии 30 пациентов с SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонией, проходивших лечение в 1-й клинике (терапии усовершенствования врачей) по данным КТ-исследования и показателям острофазовых белков (С-реактивного белка). Всем пациентам при поступлении, затем на 10 сут нахождения в клинике и через 60 сут после выписки была выполнена компьютерная томография органов грудной клетки с целью оценки наличия инфильтрации и оценки динамики, также им измерялся уровень С-реактивного белка на момент поступления и по выписке из клиники. Пациентам, у которых на 10 сут сохранилась инфильтрация легочной ткани согласно данным рентгенографического исследования, дополнительно помимо стандартной терапии (в соответствии с Временными методическими рекомендациями 4-й версии) назначался метилпреднизолон 20 мг/сут. В итоге были сформированы 2 группы сравнения: 1-я группа — пациенты, получавшие дополнительно к стандартной терапии пероральные глюкокортикостероиды, и 2-я группа — принимавшие только стандартную терапию. Согласно проведенному исследованию, применение пероральных глюкокортикостероидов (метилпреднизолон 20 мг/сут) дополнительно к стандартной терапии не показало своей эффективности в лечении SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонии, что свидетельствует об отсутствии терапевтического действия препарата в выбранной дозировке. Таким образом, определение наиболее эффективных методов лечения является приоритетным направлением для последующего исследования.

Ключевые слова: COVID-19; SARS-CoV-2; КТ-исследование; острофазовые белки; патогенетическая терапия; пероральные глюкокортикостероиды; пневмония; этиотропная терапия.

Как цитировать:

Степанова Т.В., Салухов В.В., Чугунов А.А. Определение исходов патогенетической терапии у пациентов с SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонией // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 27–33. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64474>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64474>

Determination of the outcomes of pathogenetic therapy in patients with SARS-CoV-2-associated pneumonia

© Tatyana V. Stepanova*, Vladimir V. Saluhov, Aleksandr A. Chugunov

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

Etiotropic medicines used at the beginning of the pandemic have not shown their effectiveness in reducing the duration of treatment, the development of death, as well as preventing the transition to the use of mechanical ventilation. To test a new method of etiotropic and pathogenetic therapy, we analyzed the outcomes of complex therapy of 30 patients with SARS-CoV-2-associated pneumonia who were treated in the 1st clinic (advanced therapy for doctors) according to CT studies and indicators of acute phase proteins (C-reactive protein). All patients on admission, then on the 10th day of stay in the clinic and 60 days after discharge underwent computed tomography of the chest organs in order to assess the presence of infiltration and assess the dynamics, and they measured the level of CRP at the time of admission and upon discharge from the clinic. Patients who did not have resolution according to the X-ray examination data on the 10th day, in addition to standard therapy (in accordance with the Interim Guidelines 4 version), were prescribed methylprednisolone 20 mg per day. As a result, 2 comparison groups were formed: group 1 – patients who received, in addition to standard therapy, oral glucocorticosteroids, and group 2 – who received only standard therapy. According to the study, the use of oral glucocorticosteroids (methylprednisolone 20 mg/day) in addition to standard therapy did not show their effectiveness in the treatment of SARS-CoV-2-associated pneumonia, which indicates the absence of a therapeutic effect of the drug at the selected dosage. Thus, determining the most effective treatment methods is a priority for further research.

Keywords: acute phase proteins; COVID-19; CT scan; etiotropic therapy; oral glucocorticosteroids; pathogenetic therapy; pneumonia; SARS-CoV-2.

To cite this article:

Stepanova TV, Saluhov VV, Chugunov AA. Determination of the outcomes of pathogenetic therapy in patients with SARS-CoV-2-associated pneumonia. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):27–33. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64474>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Отсутствие этиотропных методов лечения и профилактики новой коронавирусной инфекции (COVID-19), ставшей причиной пандемии в 2020 г., определяет актуальность исследования эффективности препаратов этиотропной и патогенетической терапии. На данный момент эффективность в отношении тяжелой и критической форм COVID-19 доказали только системные глюкокортикостероиды (ГКС) [1]. В связи с высокой заболеваемостью и летальностью определение наиболее эффективных методов лечения является приоритетным направлением для исследования [2].

За последние двадцать лет в мире возникли три вспышки инфекционных заболеваний, вызванных коронавирусами: SARS-CoV (2002–2004 гг.), ставший причиной развития тяжелого острого респираторного синдрома (ТОРС); MERS-CoV — ближневосточный респираторный синдром (2012 г. — по настоящее время) и SARS-CoV-2 (2019 г. — по настоящее время) [3]. Коронавирусная инфекция (COVID-19), ставшая причиной пандемии в 2020 г., вызвана РНК-вирусом SARS-CoV-2 семейства *Coronaviridae*, который имеет на 79 % идентичный геном с SARS-CoV [4]. В связи с высокой патогенностью этот вирус отнесен ко II группе патогенности [5].

Российская Федерация по числу зараженных находится на 4-м месте, уступая США, Индии и Бразилии [6]. В связи с высоким уровнем смертности и отсутствием специфического и эффективного лечения COVID-19 вызвал серьезную озабоченность всего медицинского сообщества [7, 8].

По данным различных авторов, описывающих клиническую картину пациентов с подтвержденным COVID-19, большинство из них госпитализируются с пневмонией. Инкубационный период заболевания оценивается в 4 дня (межквартильный [а] диапазон от 2 до 7 дней) [9]. Некоторые исследования оценивают более широкий диапазон инкубационного периода до 14 дней. При поступлении в больницу у пациентов чаще всего регистрировали следующие симптомы: лихорадка (77–98 %), кашель (46–82 %), миалгия или утомляемость (11–69 %) и одышка (3–55 %) в начале заболевания [8, 10, 11].

COVID-19 — системное заболевание, которое в первую очередь поражает эндотелий сосудов. При отсутствии квалифицированного и индивидуального лечения в конечном итоге может развиться полиорганная недостаточность, даже если больной не в преклонном возрасте или не имеет сопутствующей патологии [9].

Во время острой фазы пневмонии COVID-19 повреждение легких в основном происходит из-за воспалительной реакции на вирусную инфекцию с возможной бактериальной суперинфекцией. Эндотелиальная дисфункция и повреждение микрососудов из-за местных тромботических явлений также являются возможными детерминантами повреждения легких [10]. Ключевые

аспекты клинической картины, диагностики и лечения находят широкое отражение в современной литературе [12–14].

При поступлении в лечебные учреждения всем пациентам выполняется компьютерная томография органов грудной клетки (КТ ОГК). КТ-признаки развиваются на 5–12-й день заболевания. Особенностью коронавирусной инфекции являются следующие признаки [13–16]):

- Многочисленные уплотнения легочной ткани по типу «матового стекла» преимущественно округлой формы, различной протяженности с/без консолидации.
- Периферическая, мультилобарная локализация выявленных участков уплотнения.
- Двусторонний характер выявленных изменений.

Цель — оценить исходы SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонии у пациентов, получавших дополнительно пероральные ГКС в минимальной дозировке, в сравнении с пациентами, получавшими только стандартную терапию.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Нами было отобрано 30 пациентов (средний возраст 51 год), проходивших стационарное лечение по поводу новой коронавирусной инфекции в 1-й клинике терапии усовершенствования врачей в период с 28.04 по 28.07.2020 г. Критериями включения являлись: наличие РНК-вируса в мазке со слизистой носоглотки и/или ротоглотки методом полимеразной цепной реакции (RT-PCR), степень поражения легких по данным КТ-исследования КТ-1, КТ-2 и КТ-3, назначение метилпреднизолона в дозировке 20 мг/сут, назначение стандартной терапии. Критерием исключения был прием ГКС по поводу сопутствующих заболеваний, однако за период наблюдения таких пациентов не было. По основным характеристикам, кроме назначаемой терапии, пациенты были репрезентативны.

Всем пациентам при поступлении, затем на 10-е сут нахождения в клинике и через 60 сут после выписки была выполнена КТ ОГК с целью оценки наличия инфильтрации и динамики. Также пациентам измерялся уровень С-реактивного белка (СРБ) на момент поступления и по выписке из клиники. Пациентам, у которых на 10 сут сохранялась инфильтрация легочной ткани согласно данным КТ ОГК, дополнительно помимо стандартной терапии назначался метилпреднизолон 20 мг/сут (5 таблеток по 4 мг в течение 5 дней с последующим уменьшением по 1 таблетке). Через 60 сут пациенты были поделены на 2 группы, равные по полу, возрасту и степени поражения по КТ. Пациентов разделили на тех, кто получал по 5 таблеток метилпреднизолона на этапе нахождения в клинике, и контрольную группу (получавших стандартную терапию). Побочных эффектов от приема пероральных ГКС в минимальной дозировке в ходе исследования выявлено не было.

Таблица 1. Основные характеристики исследуемых групп

| Параметры | 1-я группа (n = 11) | 2-я группа (n = 17) |
|---|---|---------------------|
| Возраст, лет | 49 ± 10 | 52 ± 9 |
| | Пол (муж./жен.), абс., % | |
| Мужчины | 10 (90,9 %) | 13 (76,5 %) |
| Женщины | 1 (9,1 %) | 4 (23,5 %) |
| | Степень поражения легких по КТ ОГК при поступлении, абс., % | |
| КТ-1 | 4 (36,36 %) | 1 (5,9 %) |
| КТ-2 | 4 (36,36 %) | 7 (41,18 %) |
| КТ-3 | 3 (27,28 %) | 9 (52,92 %) |
| Уровень СРБ на момент поступления, мг/л | 30,6 ± 24,4 | 41,1 ± 37,2 |
| Среднее число дней госпитализации, день | 24 ± 4 | 19 ± 7 |

Таким образом, были сформированы две группы сравнения (табл. 1):

- 1-я группа, получавшая метилпреднизолон (средний возраст 49 ± 10 лет, медиана 49,0, средняя степень поражения по КТ-2);
- 2-я группа, получавшая только стандартную терапию (средний возраст 52 ± 9 лет, медиана 49,0, средняя степень поражения по КТ-2).

Эффективность патогенетической терапии оценивали по динамике КТ-исследования. Применялись непараметрические методы, абсолютные показатели указывались в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей.

Первичными точками исследования являлись:

- 1 — уменьшение площади инфильтрации легочной ткани по данным КТ на 10-й день;
- 2 — динамика уровня СРБ.

Конечными точками исследования являлись:

- 1 — разрешение воспалительного инфильтрата по данным КТ-картины на 60-й день;
- 2 — достижение референсных значений СРБ в крови.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего в исследование было включено 30 пациентов (однако на финальное исследование 2 пациентов

не явились), которые были поделены на 2 группы, равные по полу, возрасту и степени поражения по КТ. В основную группу были включены 11 пациентов, которые дополнительно к этиотропной терапии получали по 20 мг метилпреднизолона на этапе стационарного лечения в клинике. В контрольную группу вошли 17 пациентов, которые получали стандартную терапию в соответствии с Временными методическими рекомендациями 4-й версии. Побочных эффектов от приема пероральных ГКС в минимальной дозировке в ходе исследования выявлено не было.

Согласно полученным данным проведен анализ результатов (табл. 1), который позволил констатировать, что основная группа больных была меньше по количеству, представлена преимущественно лицами мужского пола (90,9 %) с преобладающим объемом поражения легких на уровне КТ-1–2 (73 %), в отличие от контрольной группы, где объем поражения был на уровне КТ-2–3 (94 %). По совокупности клинических данных, результатов лабораторного исследования, КТ ОГК можно заключить, что степень тяжести COVID-19 в контрольной группе была выше.

Сравнительный анализ 2 групп показал (табл. 2), что назначение метилпреднизолона в дозировке 20 мг на 10-е сут после получения данных КТ ОГК

Таблица 2. Сравнительная характеристика результатов КТ-исследований ОГК на 10-е сут

| Исход по КТ | 1-я группа (n = 11) | 2-я группа (n = 17) |
|----------------------------|---------------------|---------------------|
| «Матовые стекла» | 6 (54,5 %) | 6 (35,3 %) |
| Очаги фиброза | 1 (9,1 %) | 2 (11,8 %) |
| Полное разрешение | 0 (0 %) | 5 (29,4 %) |
| Плевропюльмональные спайки | 4 (36,4 %) | 4 (23,5 %) |

Таблица 3. Уровень СРБ в зависимости от проводимой терапии в последний день госпитализации, мг/л

| Объем Совокупности | Арифметическая средняя | Медиана | Нижний квартиль | Верхний квартиль |
|--------------------|------------------------|---------|-----------------|------------------|
| 11 (1-я группа) | 11,25286 | 8,08 | 0,73 | 24,91 |
| 17 (2-я группа) | 5,645 | 4,77 | 1,28 | 8,83 |

Таблица 4. Анализ эффективности назначения метилпреднизолона на основе *U*-критерия Манна–Уитни

| Показатель | <i>U</i> -критерий | <i>Z</i> -критерий | Значимая вероятность | <i>Z</i> adjusted * | 2*1 sided exact <i>p</i> ** |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|
| Уровень СРБ перед выпиской, мг/л | 8 | 0,357143 | 0,720985 | 0,357143 | 0,730769 |

* *Z* adjusted — уточненное значение *Z*-функции Фишера; ** 2*1 sided exact *p* — строгий уровень значимости.

Таблица 5. Влияние уровня СРБ на развитие плевропульмональных спаек

| Показатель | Развитие плевропульмональных спаек | | | | |
|--------------------------|------------------------------------|------------------------|---------|-----------------|------------------|
| | объем совокупности | арифметическая средняя | медиана | нижний квартиль | верхний квартиль |
| СРБ в день выписки, мг/л | 4 (1-я группа) | 12,14 | 10,685 | 2,37 | 21,91 |
| | 9 (2-я группа) | 7,12 | 4,84 | 1,19 | 8,83 |

Таблица 6. Анализ развития плевропульмональных спаек на основе *U*-критерия Манна–Уитни

| Показатель | <i>U</i> -критерий | <i>Z</i> -критерий | Значимая вероятность | <i>Z</i> adjusted * | 2*1 sided exact <i>p</i> ** |
|----------------------------------|--------------------|--------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|
| Уровень СРБ перед выпиской, мг/л | 5 | 0,38575 | 0,699676 | 0,385758 | 0,71049 |

* *Z* adjusted — уточненное значение *Z*-функции Фишера; ** 2*1 sided exact *p* — строгий уровень значимости.

(на которой сохраняется инфильтрация легочной ткани) не влияет на скорость разрешения SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонии: пациенты, принимавшие стандартную терапию и дополнительно ГКС, имели сохраняющиеся «матовые стекла» на КТ-снимках (35,3 и 54,5 % соответственно). Также метилпреднизолон не влияет на формирование плевропульмональных спаек и не ускоряет разрешение воспалительных инфильтраций (ни у одного пациента не было полного разрешения по КТ-картине по сравнению со стандартной терапией). Исходя из этого можно сделать вывод, что назначение метилпреднизолона не сокращает сроки разрешения SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонии.

Далее нами был проведен анализ исходов лечения у пациентов по данным уровня СРБ в конце заболевания. Нами был использован *U*-критерий Манна–Уитни, в соответствии с которым был проведен анализ данных для определения исходов от уровня СРБ.

Уровень СРБ перед выпиской в сравниваемых группах имел отчетливую тенденцию к нормализации. Однако в основной группе его уровень оставался в 2 раза выше референсных значений (табл. 3).

Также был проведен анализ эффективности назначения метилпреднизолона 20 мг/сут в группе с высоким уровнем СРБ, где также был использован *U*-критерий Манна–Уитни (табл. 4).

Согласно расчетам, значимая вероятность (*p*-value) равна 0,72, что доказывает отсутствие статистической разницы между 2 группами.

Нами был проведен анализ влияния уровня СРБ на образование плевропульмональных спаек, что возможно трактовать как один из вариантов нормы (табл. 5).

Значимая вероятность (*p*-value) составила 0,69, что доказывает отсутствие влияния уровня СРБ на исход в виде плевропульмональных спаек (табл. 6).

Анализ корреляции исхода в фиброз (полного разрешения) с уровнем СРБ не проводился ввиду малого числа исходов.

Таким образом, можно констатировать, что уровень СРБ не коррелирует с рентгенологическими данными на момент завершения стационарного этапа лечения.

ВЫВОДЫ

1. Уровень СРБ у пациентов, получавших дополнительно ГКС (метилпреднизолон 20 мг/сут), не достигает референсных значений к моменту окончания стационарного лечения, и его уровень не коррелирует с рентгенологическими данными на момент завершения стационарного этапа лечения.

2. Срок разрешения пневмонической инфильтрации по данным КТ-исследования у пациентов, получавших

пероральные ГКС в минимальной дозировке, в сравнении с пациентами, не получавших ГКС, статистически значимо не отличался.

3. Средний срок госпитализации пациентов, получавших дополнительно ГКС-терапию, оказался больше, чем у пациентов, получавших только стандартную терапию: 24 ± 4 и 19 ± 7 дней соответственно.

4. Применение пероральных ГКС (метилпреднизолон 20 мг/сут) дополнительно к стандартной терапии не показало своей эффективности в лечении SARS-CoV-2-ассоциированной пневмонии, что свидетельствует об отсутствии терапевтического действия препарата в выбранной дозировке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Horby P., Mafham M., Linsell L., et al. Effect of Hydroxychloroquine in hospitalized patients with Covid-19 // *N. Engl. J. Med.* 2020. Vol. 383, No. 21. P. 2030–2040. DOI: 10.1056/NEJMoa2022926
2. Салухов В.В., Харитонов М.А., Крюков Е.В., и др. Актуальные вопросы диагностики, обследования и лечения больных с COVID-19-ассоциированной пневмонией в различных странах и континентах // *Медицинский совет.* 2020. № 21. С. 96–102.
3. Веселова Е.И., Русских А.Е., Каминский Г.Д., и др. Новая коронавирусная инфекция // *Туберкулез и болезни легких.* 2020. Т. 98, № 4. С. 6–14. DOI: 10.21292/2075-1230-2020-98-4-6-14
4. Кашель. Практическое пособие для врачей / под ред. А.А. Зайцева, С.В. Оковитого, Е.В. Крюкова. М.: Главный военный клинический госпиталь имени Н.Н. Бурденко, 2015. 60 с.
5. Wu Z., McGoogan J.M. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: Summary of a report of 72 314 cases from the Chinese center for disease control and prevention // *JAMA.* 2020. Vol. 323, No. 13. P. 1239–1242. DOI: 10.1001/jama.2020.2648
6. Zuo W., Zhao X., Chen Y.-G. SARS Coronavirus and lung fibrosis // *Molecular Biology of the SARS-Coronavirus.* 2010. Vol. 9, No. 6. P. 247–258. DOI: 10.1007/978-3-642-03683-5_15
7. WHO. Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. Available from: <https://covid19.who.int/> (accessed 10.03.2021).
8. Зайцев А.А., Чернов С.А., Крюков Е.В., и др. Практический опыт ведения пациентов с новой коронавирусной инфекцией COVID-19 в стационаре (предварительные итоги и рекомендации) // *Лечащий врач.* 2020. № 6. С. 74–79. DOI: 10.26295/OS.2020.41.94.014

REFERENCES

1. Horby P, Mafham M, Linsell L, et al. Effect of Hydroxychloroquine in hospitalized patients with Covid-19. *N Engl J Med.* 2020;383(21):2030–2040. DOI: 10.1056/NEJMoa2022926
2. Salukhov VV, Kharitonov MA, Kryukov EV, et al. Topical issues of diagnostics, examination and treatment of patients with covid-19-associated pneumonia in various countries and continents. *Meditsinskiy sovet.* 2020;(21): 96–102. (In Russ.)
3. Veselova EI, Russkikh AE, Kaminskiy GD, et al. Novel coronavirus infection. *Tuberculosis and Lung Diseases.* 2020;98(4):6–14. (In Russ.) DOI: 10.21292/2075-1230-2020-98-4-6-14

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова».

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

9. WHO. Therapeutics and COVID-19: living guideline, 2020. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/therapeutics-and-covid-19-living-guideline> (accessed 10.03.2021).
10. Guan W.J., Ni Z.Y., Hu Y., et al. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China // *N. Engl. J. Med.* 2020. Vol. 382, No. 18. P. 1708–1720. DOI: 10.1056/NEJMoa2002032
11. Цинзерлинг В.А., Вашукова М.А., Васильева М.В., и др. Вопросы патоморфогенеза новой коронавирусной инфекции (COVID-19) // *Журнал инфектологии.* 2020. Т. 12, № 2. С. 5–11. DOI: 10.22625/2072-6732-2020-12-2-5-11
12. Hu Q., Guan H., Sun Z., et al. Early CT features and temporal lung changes in COVID-19 pneumonia in Wuhan, China // *Eur. J. Radiol.* 2020. No. 128. P. 109017. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109017
13. Зайцев А.А., Савушкина О.И., Черняк А.В., и др. Клинико-функциональная характеристика пациентов, перенесших новую коронавирусную инфекцию COVID-19 // *Практическая пульмонология.* 2020. № 1. С. 78–81.
14. Huang C., Wang Y., Li X., et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China // *Lancet.* 2020. Vol. 395, No. 10223. P. 497–506. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30183-5
15. Gentile F., Aimo A., Forfori F. et al. COVID-19 and risk of pulmonary fibrosis: the importance of planning ahead // *Eur. J. Prev. Cardiol.* 2020. Vol. 27, No. 13. P. 1442–1446. DOI: 10.1177/2047487320932695
16. Временные методические рекомендации от 26.10.2020 г. «Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Версия 9». Режим доступа: <https://base.garant.ru/74810808/> (дата обращения 01.02.2021).

4. Zaytsev AA, Okovity SV, Kryukov EV, ed. *The cough.* A practical guide for doctors. Moscow: The main military clinical hospital named after N.N. Burdenko Publishing House; 2015. 60 p. (In Russ.)
5. Wu Z, McGoogan JM. Characteristics of and important lessons from the coronavirus disease 2019 (COVID-19) outbreak in China: Summary of a report of 72 314 cases from the Chinese center for disease control and prevention. *JAMA.* 2020;323(13):1239–1242. DOI: 10.1001/jama.2020.2648
6. Zuo W, Zhao X, Chen Y-G. SARS Coronavirus and lung fibrosis. *Molecular Biology of the SARS-Coronavirus.* 2010;9(6):247–258. DOI: 10.1007/978-3-642-03683-5_15

7. WHO. Coronavirus Disease (COVID-19) Dashboard. Available from: <https://covid19.who.int/> (accessed 10.03.2021).
8. Zaytsev AA, Chernov SA, Kryukov EV, et al. Practical experience of managing patients with new coronavirus infection COVID-19 in the hospital (preliminary results and recommendations). *Therapist*. 2020;(6):74–79. (In Russ.) DOI: 10.26295/OS.2020.41.94.014
9. WHO. Therapeutics and COVID-19: living guideline, 2020. Available from: <https://www.who.int/publications/i/item/therapeutics-and-covid-19-living-guideline> (accessed 10.03.2021).
10. Guan WJ, Ni ZY, Hu Y, et al. Clinical Characteristics of Coronavirus Disease 2019 in China. *N Engl J Med*. 2020;382(18):1708–1720. DOI: 10.1056/NEJMoa2002032
11. Tsinslerling VA, Vashukova MA, Vasilyeva MV, et al. Issues of pathology of a new coronavirus infection COVID-19. *Journal Infectology*. 2020;12(2):5–11. (In Russ.) DOI: 10.22625/2072-6732-2020-12-2-5-11
12. Hu Q, Guan H, Sun Z, et al. Early CT features and temporal lung changes in COVID-19 pneumonia in Wuhan, China. *Eur J Radiol*. 2020;(128):109017. DOI: 10.1016/j.ejrad.2020.109017
13. Zaytsev AA, Savushkina OI, Chernyak AV, et al. Clinical and functional characteristics of patients who have undergone a new coronavirus infection COVID-19. *Practical pulmonology*. 2020;(1):78–81. (In Russ.)
14. Huang C, Wang Y, Li X, et al. Clinical features of patients infected with 2019 novel coronavirus in Wuhan, China. *Lancet*. 2020;395(10223):497–506. DOI: 10.1016/S0140-6736(20)30183-5
15. Gentile F, Aimo A, Forfori F, et al. COVID-19 and risk of pulmonary fibrosis: the importance of planning ahead. *Eur J Prev Cardiol*. 2020;27(13):1442–1446. DOI: 10.1177/2047487320932695
16. Temporary guidelines “Prevention, diagnosis and treatment of new coronavirus infection (COVID-19)”. Version 9 of October 26, 2020. Available from: <https://base.garant.ru/74810808/> (accessed 01.02.2021). (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Татьяна Валерьевна Степанова**, курсант 6-го курса;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика
Лебедева, д. 6;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7177-2575>;
eLibrary SPIN: 3580-0596; e-mail: stepanovatatyana1998@gmail.com

Владимир Владимирович Салухов, докт. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1851-0941>;
eLibrary SPIN: 4531-6011; e-mail: vlasaluk@yandex.ru

Александр Алексеевич Чугунов, адъюнкт;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2532-6133>;
eLibrary SPIN: 3839-7619; e-mail: alexandrchugun@yandex.ru

AUTHORS INFO

***Tatyana V. Stepanova**, 6th year cadet;
address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044,
Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7177-2575>;
eLibrary SPIN: 3580-0596; e-mail: stepanovatatyana1998@gmail.com

Vladimir V. Salukhov, MD, DSc (Medicine);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1851-0941>;
eLibrary SPIN: 4531-6011; e-mail: vlasaluk@yandex.ru

Aleksandr A. Chugunov, adjunct;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2532-6133>;
eLibrary SPIN: 3839-7619; e-mail: alexandrchugun@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64475>

Патология микроструктурной коннективности головного мозга при параноидной шизофрении (по данным диффузионно-тензорной трактографии)

© Н.А. Пучков*, К.В. Маркин, Я.Е. Прочик, А.В. Тёмный, В.Е. Маслов, Д.А. Тарумов

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Цель: выявить изменения микроструктурной коннективности головного мозга у пациентов с параноидной шизофренией.

Материалы и методы. Обследовано 25 пациентов с диагнозом «параноидная шизофрения». Группу контроля составили 30 здоровых человек без неврологических и соматических заболеваний. Исследования проводились на магнитно-резонансном томографе «Philips Ingenia», с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл при использовании импульсной последовательности DTI. Обработка данных производилась с использованием трактографического модуля «DSI Studio».

Результаты. По результатам групповой оценки полученных трактографических данных головного мозга выявлены значимые отличия в микроструктурной коннективности в группе пациентов с параноидной шизофренией. Обнаружен патологический конгломерат связности корково-подкорковых структур, отличающийся от наборов нормальных связей у группы контроля, состоящий из поясной извилины, гиппокампа и таламуса. Такой патологический управляющий центр является одним из возможных трактографических паттернов шизофрении. По нашему мнению, патологическая коннективность гиппокампа и таламуса уменьшает контролирующую функцию поясной коры — управляющего центра данной системы. В данном случае избыточная связность гиппокампа с поясной корой может свидетельствовать о некорректном осуществлении их взаимодействия, что также влияет на возникновение или прогрессирование эмоционально-волевых нарушений. Таламус, являясь центром передачи сенсорной и двигательной информации от органов чувств, может передавать некорректные избыточные данные о происходящем вокруг организма и участвовать в формировании слуховых и зрительных галлюцинаций. Также патологическая работа таламуса может способствовать прогрессированию аутизма. Таким образом, пациент все более теряет связь с действительностью, все более неосознанно предпочитает фантазии, стирая связи с реальностью. Данные одной из характеристик искусственной нейросети — коэффициента кластеризации — были значимо повышены у пациентов по сравнению с группой контроля, что может свидетельствовать о наличии избыточной, аномальной микроструктурной связности в сети.

Заключение. Проведенное исследование позволяет подтвердить наличие микроструктурных и нейросетевых изменений в гиппокампе, таламусе, поясной коре и базальных ганглиях. Эти изменения являются своеобразными трактографическими семиотическими признаками патологии головного мозга при параноидной шизофрении. Представленное исследование является этапом работы по поиску инструмента выявления особенностей нарушения процессов нейропластичности при данном заболевании и скрининга шизофрении (2 рис., 3 табл., библиография: 13 ист.).

Ключевые слова: лимбическая система; микроструктурная коннективность; нейросеть; параноидная шизофрения; «рич-клуб»; трактография.

Как цитировать:

Пучков Н.А., Маркин К.В., Прочик Я.Е., Тёмный А.В., Маслов В.Е., Тарумов Д.А. Патология микроструктурной коннективности головного мозга при параноидной шизофрении (по данным диффузионно-тензорной трактографии) // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 35–43. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64475>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64475>

Pathology of microstructural brain connectivity in paranoid schizophrenia (according to diffusion-tensor tractography data)

© Nikolay A. Puchkov*, Kirill V. Markin, Yaroslav E. Prochik, Alexander V. Tyomniy, Vasiliy E. Maslov, Dmitry A. Tarumov

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

AIM: revealing microstructural brain connectivity alterations in patients with paranoid schizophrenia.

MATERIALS AND METHODS: 25 patients diagnosed with paranoid schizophrenia were examined. The control group was 30 healthy people without neurological and somatic diseases. Studies were carried out on the Philips Ingenia magnetic resonance tomograph, with a magnetic field strength of 1.5 T using the DTI pulse sequence. Data processing was carried out using the tractographic module "DSI Studio".

RESULTS: According to the group assessment of the obtained tractographic brain data, significant differences in microstructural connectivity in the group of patients with paranoid schizophrenia were detected. A pathological conglomerate of cortical-subcortical structure connectivity was found, different from the sets of normal connections in the control group, consisting of a cingulate gyrus, hippocampus and thalamus. Such a pathological control center is one of the possible tractographic patterns of schizophrenia. In our opinion, the pathological connectivity of the hippocampus and thalamus, as one of the main components of the limbic system of the brain, reduces the controlling emotional function of the cingulate cortex, the control center of this system. In this case, excessive connectivity of the hippocampus with the cingulate cortex may indicate an incorrect implementation of their interaction, which also affects the occurrence or progression of emotional-will disorders. The thalamus, being the center of transmission of sensory and motor information from the sensory organs, can transmit incorrect redundant data about what is happening around the body and participate in the formation of auditory and visual hallucinations. Also, the pathological work of the thalamus may be involved in the progression of autism. Thus, the patient is increasingly losing touch with reality, increasingly preferring unknowingly fantasy, erasing ties with reality. Data from one of the characteristics of the artiformal neural network – the clustering coefficient – were significantly increased in patients compared to the control group, which may indicate the presence of excess, abnormal microstructural connectivity in the network.

CONCLUSION: The study confirms the presence of microstructural and neural network changes in the hippocampus, thalamus, cingulate cortex and basal ganglia. These changes are peculiar tractographic semiotic signs of brain pathology in paranoid schizophrenia. This study is a step in the search for a tool to identify the features of neuroplasticity disorders in this disease and schizophrenia screening (2 figures, 3 tables, bibliography: 13 refs).

Keywords: limbic system; microstructural connectivity; neural network; paranoid schizophrenia; rich-club; tractography.

To cite this article:

Puchkov NA, Markin KV, Prochik YaE, Tyomniy AV, Maslov VE, Tarumov DA. Pathology of microstructural brain connectivity in paranoid schizophrenia (according to diffusion-tensor tractography data). *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):35–43. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64475>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Параноидная шизофрения является одной из наиболее тяжелых по своим проявлениям и последствиям форм психических расстройств, выражающаяся дезинтеграцией психической деятельности, сочетанием продуктивной (галлюцинаторной, бредовой, кататонической, гебефренной, аффективной и др.) и негативной (апатия, абulia, эмоциональная и социальная отгороженность и др.) симптоматики, поведенческих и когнитивных нарушений [1].

На сегодняшний день не существует единого представления о причинах и природе заболевания. В последние годы формируется комплексная модель шизофрении, предполагающая наличие определенной наследственной предрасположенности и биологических, психологических и социальных факторов, влияющих на развитие расстройства [2]. Рассматриваются и исследуются следующие варианты наличия нейробиологических изменений: нарушение обмена нейромедиаторов в головном мозге, процесс нейровоспаления, нейроэндокринные нарушения, процесс нейродегенерации.

С помощью методов нейровизуализации получены убедительные доказательства нарушений функций лимбической системы, базальных ганглиев, префронтальной коры и связанных с ними нейросетей [3]. На сегодняшний день наиболее широко применяемыми методиками исследования морфофункциональных изменений в центральной нервной системе при психической патологии являются функциональная магнитно-резонансная томография (фМРТ), воксельная морфометрия и диффузионно-тензорная визуализация с трактографией.

Выявляемые данные о патологии микроструктурной коннективности на основе трактографических исследований нередко носят противоречивый характер, а вопросы клинического применения специальных методик МРТ в клинической практике остаются не до конца разработанными [4]. Кроме того, следует отметить, что в отечественной литературе практически отсутствуют данные по описываемой проблеме [5–9].

Цель — выявить изменения микроструктурной коннективности головного мозга у пациентов с параноидной шизофренией.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период с 2018 по 2020 г. проведено обследование 25 пациентов с установленным диагнозом «параноидная шизофрения» (F20.0 по МКБ-10), проходивших лечение в клинике психиатрии Военно-медицинской академии. Подробные социально-демографические характеристики обследованного контингента представлены в табл. 1.

Для подтверждения диагноза параноидной шизофрении проведено дополнительное тестирование по шкалам PANSS. У пациентов с шизофренией отмечались высокие показатели негативной симптоматики по данным шкал. Наибольшие отклонения показателей были выявлены по данным шкал G2 (Тревожность), G4 (Внутреннее напряжение), G8 (Негативизм), G16 (Активная социальная изоляция). Показатели продуктивной симптоматики у лиц с параноидной шизофренией преобладали преимущественно в шкалах P1 (Бред), P3 (Галлюцинаторное поведение), P6 (Идеи преследования), P7 (Враждебность).

Исследование проводилось с помощью МР-томографа «Philips Ingenia» с напряженностью магнитного поля 1,5 Тл с помощью методики диффузионно-тензорной визуализации. При выполнении исследования использовалась импульсная последовательность DTI (Diffusion Tensor Imaging). Длительность одного исследования составляла 5 мин 24 с. В дальнейшем получаемые последовательности использовались для преобразования и препроцессинга структурных данных с помощью трактографического модуля DSI Studio (URL: <http://dsi-studio.labsolver.org>). Оптимизация времени сканирования за счет уменьшения количества срезов с увеличением их толщины до 5 мм привела к ускорению измерения диффузионного тензора на высокопольном МРТ. Чтобы достигнуть оптимального соотношения сигнал/шум, была выбрана матрица с разрешением 98 × 128 и размером вокселя 1 × 1 × 5 мм. Сбор информации в строго аксиальной плоскости упростил процедуру и сократил время статистической обработки «сырых» данных в программе «DSI Studio» при одинаковых исходных значениях направлений градиентов.

Программа «DSI Studio» предназначена для реконструкции основных проводящих путей белого вещества головного мозга. Она использует алгоритм вероятностной,

Таблица 1. Характеристика обследованных групп

| Группа | Группа контроля | F20.0 |
|--------------------------------|-----------------|--------------|
| Количество участников | 30 | 25 |
| Пол (м/ж) | 18/12 | 16/9 |
| Возраст (лет) | 24,14 ± 4,73 | 26,15 ± 5,70 |
| Длительность заболевания (лет) | – | 5,56 ± 2,17 |
| PANSS | 3,75 ± 1,13 | 27,56 ± 1,70 |

Примечание. F20.0 — шизофрения параноидная.

пробабиллистической трактографии. Работа данного софта основана на реализации нескольких методов, включая DTI, QBI, DSI, обобщенную q -выборочную визуализацию, диффеоморфную реконструкцию q -пространства, коннектометрию, обобщенное детерминистическое отслеживание и реконструкцию нервных волокон. Анатомическая принадлежность (маркировка) каждого тракта определяется с помощью электронного встроенного атласа и комбинируется с кортикально-субкортикальными отношениями, определенными при сегментации анализируемого головного мозга. Для анализа нами были выбраны структуры эмоционального круга Пайпеца (табл. 3). Его составляющие по данным литературы принимают участие в формировании эндогенной патологии [10]. Лимбический круг Пайпеца является главной циркулярной структурой висцерального мозга. Он проходит через гиппокамп, свод к передним ядрам таламуса, оттуда к поясничной извилине, проходит парагиппокампальную извилину и заканчивается в гиппокампе. Круг играет значительную роль в формировании эмоциональной сферы и памяти [11].

На первом этапе диффузионно-тензорные изображения проходили препроцессинг для устранения артефактов неоднородности магнитного поля от движения с помощью встроенных инструментов. Далее алгоритм обработки данных диффузионной МРТ, представленный ниже, включал в себя:

1. Конвертирование файлов. Изображения в формате DICOM конвертировались в формат файлов NIFTI с помощью программного обеспечения MRICro (URL: <https://mccauslandcenter.sc.edu/crn/micro>). Дальнейшая обработка и работа с файлами проводились в программе «DSI Studio». Полученные изображения в формате NIFTI конвертировались в формат SRC с загрузкой настроек *b-table*. Далее SRC изображения реконструировались в FIB формат. Метод реконструкции проводился по протоколу QSDR с выгрузкой ODF.

2. Формирование групп. Готовые FIB файлы на каждого испытуемого объединяли согласно принадлежности к исследуемой группе и формировали коннектометрическую базу для каждой группы.

3. Выполнение коннектометрического анализа на каждую группу и обработка результатов. Готовые коннектометрические базы обрабатывались с помощью группового коннектометрического анализа. Отсечение ложных трактов проводилось с итерацией 4,0. Threshold (пороговый уровень отсечения ложных результатов) — 1,5. Чтобы оценить возможность ложного обнаружения, на групповую метку было применено 5000 рандомизированных пермутаций.

4. Построение матриц и карт коннективности на каждую группу и их анализ. Матрицы коннективности строились на основе регионов интереса (табл. 3) из атласа AAL2. Карты коннективности строились с помощью загрузки матриц коннективности в формате Connectogram

на интернет-ресурсе «Circos TableViewer» (URL: <http://mkweb.bcgsc.ca/tableviewer/visualize/>).

5. Получение нейросетевых характеристик в виде таблиц и их анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным групповой оценки полученных трактографических данных головного мозга выявлялись значимые отличия в микроструктурной коннективности в группе пациентов с параноидной шизофренией (табл. 2).

На основе данных коэффициентов GFA нами были созданы матрицы коннективности регионов интереса у пациентов и группы контроля (рис. 1). Так, нами был обнаружен патологический конгломерат связности корково-подкорковых структур, отличавшийся от наборов нормальных связей у группы контроля.

На перекресте линий обозначены коэффициенты GFA для коннективности задней части поясной извилины справа и гиппокампа слева, а также гиппокампа и таламуса слева. В случае нормы такая связь отсутствует.

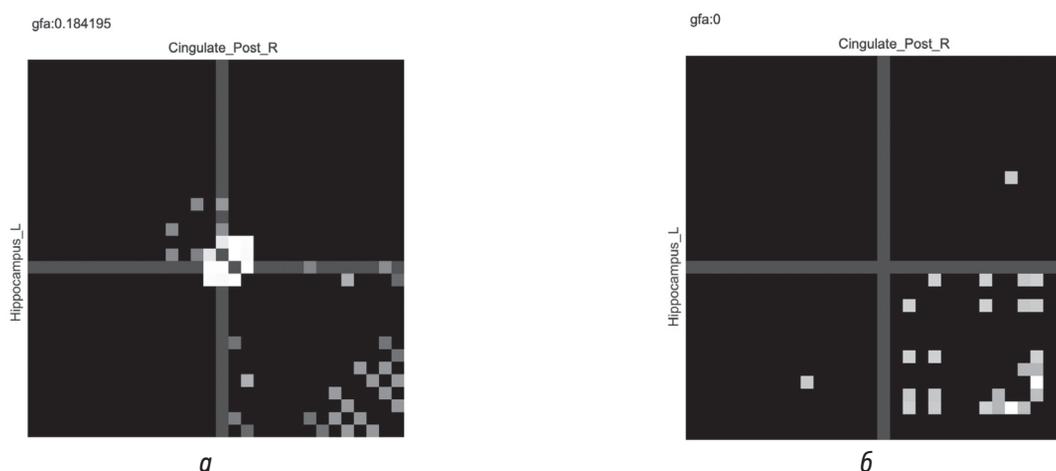
На основе анализа матриц коннективности были составлены схематические модели искусственных нейросетей при параноидной шизофрении по сравнению с нормой. Так, нами был выявлен патологический управляющий центр (rich-club), состоящий из трех хабов (hub). На рис. 2, а представлены схемы связей «рич-клуба» корково-подкорковых структур пациентов с параноидной шизофренией, состоящий из поясной извилины, гиппокампа и таламуса. По нашим представлениям такой патологический управляющий центр является одним из возможных трактографических паттернов шизофрении.

Избыточная (патологическая) связь одной из главных структур лимбической системы — гиппокампа с базальными ядрами может стать важным дополнением к пониманию патогенеза эндогенных расстройств. Гиппокамп участвует в формировании эмоций, а также является местом консолидации памяти. Базальные ядра ответственны за движения, закрепленные в процессе повседневной практики индивидуума и выполняемые без осознанного контроля. Избыточная связность гиппокампа с хвостатым ядром и скорлупой может свидетельствовать о повышенном либо некорректном их взаимодействии. Повышенное взаимодействие может свидетельствовать об избыточном выявлении в клинической симптоматике шизофрении бессмысленных, бесцельных стереотипных движений, проявляющихся в кататоническом синдроме, парапраксиях, парамимиях. Некорректное взаимодействие может обуславливать причины их появления — положительное подкрепление таких движений (вычурная походка, необычное сощуривание глаз, рисование рукой в воздухе и т. д.) по причине проявления патологических «неправильных» положительных эмоций в гиппокампе, подкрепляющих двигательные нарушения при развитии очередного

Таблица 2. Параметры микроструктурной коннективности значимых структур лимбической системы у пациентов с параноидной шизофренией по сравнению с группой контроля (p FDR-corr < 0,05)

| Норма | F 20.0 | | | | |
|---------------|------------|-----------|------------------|------------------|-----------|
| Структуры | GFA | Структуры | GFA | GFA | |
| Insula_R | Putamen_R | 0,0965654 | Cingulate_Ant_R | Cingulate_Mid_R | 0,0980837 |
| Hippocampus_R | Amygdala_R | 0,0994725 | Cingulate_Ant_R | Cingulate_Post_R | 0,0984012 |
| Hippocampus_R | Caudate_R | 0,100067 | Cingulate_Mid_R | Cingulate_Post_R | 0,090123 |
| Hippocampus_R | Pallidum_L | 0,0959641 | Cingulate_Post_L | Cingulate_Post_R | 0,168738 |
| Hippocampus_R | Pallidum_R | 0,0994725 | Cingulate_Post_L | Hippocampus_L | 0,184195 |
| Amygdala_R | Caudate_R | 0,100067 | Cingulate_Post_L | Hippocampus_R | 0,182434 |
| Amygdala_R | Pallidum_L | 0,0953619 | Cingulate_Post_R | Hippocampus_L | 0,184195 |
| Amygdala_R | Pallidum_R | 0,0974522 | Cingulate_Post_R | Hippocampus_R | 0,181315 |
| Pallidum_R | Pallidum_L | 0,0915445 | Hippocampus_L | Hippocampus_R | 0,184195 |
| Pallidum_R | Caudate_R | 0,100067 | Hippocampus_R | Putamen_R | 0,129966 |
| Pallidum_R | Putamen_L | 0,0874226 | Hippocampus_L | Caudate_L | 0,0768675 |
| Putamen_L | Pallidum_L | 0,0874226 | Hippocampus_R | Thalamus_R | 0,0679625 |
| Putamen_R | Pallidum_R | 0,11999 | Hippocampus_L | Thalamus_L | 0,0860225 |
| — | — | — | Thalamus_L | Pallidum_L | 0,108637 |
| — | — | — | Thalamus_L | Putamen_L | 0,110129 |
| — | — | — | Thalamus_L | Caudate_L | 0,0778428 |
| — | — | — | Thalamus_R | Pallidum_R | 0,110429 |
| — | — | — | Thalamus_R | Putamen_R | 0,112263 |
| — | — | — | Thalamus_R | Caudate_R | 0,0773376 |
| — | — | — | Putamen_L | Pallidum_L | 0,112517 |
| — | — | — | Putamen_R | Pallidum_R | 0,110887 |

Примечание. F 20.0 — параноидная шизофрения.

**Рис. 1.** Отличия матриц коннективности у пациентов с шизофренией (а) по сравнению с нормой (б)

эпизода. Отсутствие нормальной коннективности гиппокампа с миндалевидным телом может также провоцировать извращенную эмоциональную самооценку действий пациентом. Роль гиппокампа в консолидации памяти может отвечать за подкрепление обозначенных выше патологических двигательных стереотипов в памяти больного шизофренией.

По нашему мнению, патологическая коннективность гиппокампа и таламуса уменьшает контролируемую функцию поясной коры — управляющего центра данной системы (рис. 2, а). В данном случае избыточная связность гиппокампа с поясной корой может свидетельствовать о некорректном осуществлении их взаимодействия, что также влияет на возникновение

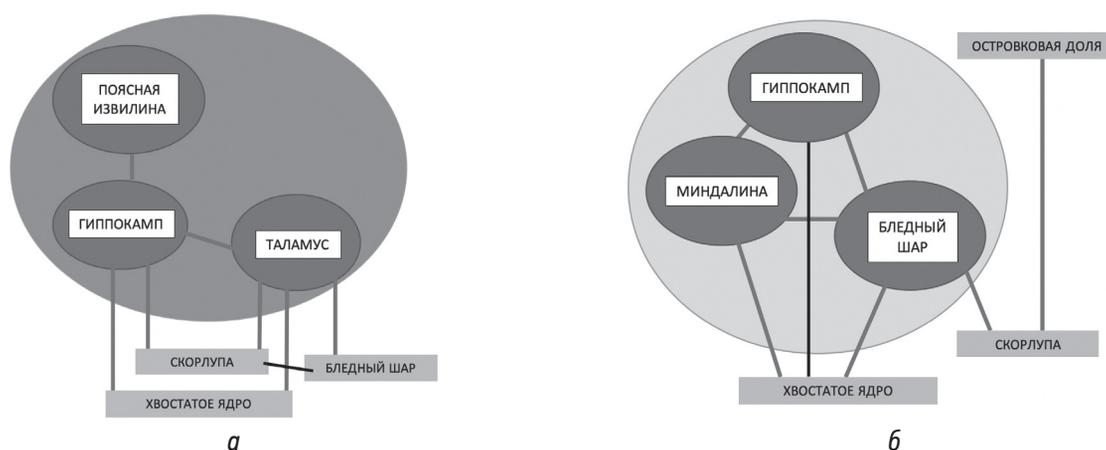


Рис. 2. Модель взаимодействия корковых и подкорковых структур лимбической системы у пациентов с параноидной шизофренией (а) и у группы контроля (б)

или прогрессирование эмоционально-волевых нарушений (паратимии, «аффективное оскудение», импульсивность, парабулии, абулии). Также избыточная связность поясной коры с гиппокампом может свидетельствовать об изменениях в их взаимодействиях на ранних стадиях развития шизофрении.

В нашем совместном исследовании тех же групп пациентов и контроля с применением методики фМРТ было отмечено снижение интенсивности связей между корковыми отделами (островковая кора, параингулярные извилины, передний и задний отделы задней поясной извилины) с подкорковыми структурами. Наличие на первый взгляд противоположных результатов разных методик (трактография и фМРТ) может быть объяснено с точки зрения протекания нейрофизиологических изменений. С помощью методики трактографии мы оценили наличие структурных изменений. По нашим предположениям, эти изменения могли произойти в продромальном периоде развития эндогенного процесса или в онтогенезе. В начале развития патологического процесса поясная кора, возможно, «стремилась» осуществлять контроль над нижележащими структурами, компенсировать патологическое взаимодействие таламуса, гиппокампа и базальных ядер, что повлияло на появление избыточного количества трактов между ней и подкорковыми структурами. Микроструктурные изменения наименее подвержены изменениям в текущем периоде, в отличие от функциональных проявлений, а их наличие на момент исследования может подтверждать нейрофизиологические последствия последних в аспекте нарушенной связности головного мозга при параноидной шизофрении. С помощью методики фМРТ мы подтвердили, что поясная кора уже недостаточно взаимодействует в функциональном отношении с подкорковыми структурами, что может свидетельствовать об ее истощении, декомпенсации и «подпадании» под эмоциональное влияние подкорковых структур. Таким образом, наличие повышенной

структурной связности с наличием снижения функциональной связности поясной коры с подкорковыми структурами может иметь место быть в рамках одной концепции.

Таламус, являясь центром передачи сенсорной и двигательной информации от органов чувств, может передавать некорректные избыточные данные о происходящем вокруг организма и участвовать в формировании слуховых и зрительных галлюцинаций. Также патологическая работа таламуса может участвовать в прогрессировании аутизма. Таким образом, пациент все более теряет связь с действительностью, все более неосознанно предпочитает фантазии, стирая связи с реальностью.

На рис. 2, б представлена модель взаимодействия подкорковых структур в норме, состоящая из гиппокампа, миндалины и бледного шара.

Отсутствие статистически достоверных связей с миндалиной у пациентов с параноидной шизофренией может объяснять развитие симптоматики эмоционального оскудения, амбивалентности и амбитендентности.

По данным исследований, наличие связности комплекса «гиппокамп-миндалины» с бледным шаром в группе контроля обуславливает способности индивидуума к обучению новым навыкам, а связи их с миндалиной и гиппокампом свидетельствуют об устоявшемся функционировании процесса закрепления этих новых навыков [12]. Описанные взаимодействия полностью искажены при параноидной шизофрении.

Помимо оценки параметров связности на основе индекса общей фракционной анизотропии нами были изучены характеристики искусственной нейросети в норме и при патологии, состоящей из выбранных нами структур, которые, по нашим результатам и данным ранее проведенных исследований, принимают участие в патогенезе эндогенной патологии [13]. В табл. 3 представлены параметры плотности, кластеризации, транзитивности и др., которые существенно отличались в обследуемых группах.

Таблица 3. Характеристики искусственной сети у пациентов с параноидной шизофренией по сравнению с нормой

| Характеристика сети | Норма | F 20.0 |
|--|-----------|-----------|
| Плотность сети (density) | 0,0298851 | 0,0482759 |
| Коэффициент кластеризации (clustering coeff. average) | 0,157778 | 0,317778 |
| Транзитивность (transitivity) | 0,498384 | 0,50711 |
| Сетевая характеристика по длине путей (network characteristic_path_length) | 1,75 | 2,47959 |
| Коэффициент «Малый мир» (Small-worldness) | 0,0901587 | 0,128157 |
| Глобальная эффективность (global_efficiency) | 0,614583 | 0,477551 |

Примечание. F 20.0 — параноидная шизофрения.

Коэффициент кластеризации — мера локальной связности внутри сети — обозначает количество связей, исходящих из одного узла. Рассчитывается исходя из усредненных показателей, не учитывая само количество узлов. При анализе коэффициента были получены значимые различия с нормой, что может свидетельствовать о наличии избыточной, аномальной микроструктурной связности в сети. Такой патологический конгломерат связности, названный выше патологическим управляющим центром, наблюдается между гиппокампом, таламусом и поясной корой. Наши исследования, проведенные с помощью методики фМРТ, также подтверждают наличие патологических кластеров коннективности.

По результатам групповой оценки полученных трактографических данных головного мозга выявлены значимые отличия в микроструктурной коннективности в группе пациентов с параноидной шизофренией. Обнаружен патологический конгломерат связности корково-подкорковых структур, отличающийся от наборов нормальных связей у группы контроля, состоящий из поясной извилины, гиппокампа и таламуса. Такой патологический управляющий центр является одним из возможных трактографических паттернов шизофрении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволяет подтвердить наличие микроструктурных и нейросетевых изменений в гиппокампе, таламусе, поясной коре и базальных ганглиях. Эти изменения являются своеобразными трактографическими семиотическими признаками патологии головного мозга при параноидной шизофрении.

Данное исследование является этапом работы по поиску инструмента выявления особенностей нарушения процессов нейропластичности при данном заболевании и скрининга шизофрении.

В дальнейшем, опираясь на полученные данные, планируется провести модернизацию дизайна исследования с привлечением большего количества пациентов, расширением нозологических рамок, а также оценки динамики заболевания у уже сформированной когорты обследованных для более полного понимания как этиопатогенеза самого заболевания, динамики микроструктурных и нейросетевых изменений, так и оценки качества и влияния проводимой терапии на изменения трактографических показателей в различных отделах головного мозга в длительном промежутке времени.

ВЫВОДЫ

1. По данным проведенной коннектометрии при параноидной шизофрении методом трактографии выявлен патологический управляющий центр («рич-клуб»), имеющий повышенные значения связности между структурами, входящими в него, а также с другими структурами головного мозга. Такой «рич-клуб» при параноидной шизофрении состоит из следующих структур: поясная извилина, гиппокамп и таламус.

2. Анализ нейросетевых характеристик, проведенный с помощью анализа графов, показал наличие повышенного коэффициента кластеризации у пациентов с параноидной шизофренией. Такой результат подтверждает наличие аномально повышенной микроструктурной организации сети, влияющей на разнообразие клинических проявлений заболевания.

3. Метод трактографии позволяет выявлять патологические изменения головного мозга до развития клинической симптоматики. Такая возможность может быть использована при скрининге на предмет наличия трактографических паттернов изменения микроструктурных характеристик головного мозга, предрасполагающих к развитию шизофрении.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова».

Вклад авторов. Пучков Н.А. принимал участие в обследовании пациентов, сканировании пациентов и группы контроля, проведении обработки данных

на компьютерном программном обеспечении, написании текста статьи. Маркин К.В. принимал участие в сканировании пациентов. Прочик Я.Е. принимал участие в обработке данных на компьютерном программном обеспечении и обследовании пациентов. Тёмный А.В. принимал участие в обзоре литературы. Маслов В.Е. принимал участие в обследовании пациентов и написании текста. Тарумов Д.А. руководил проведением исследования, принимал участие в планировании исследования и научном редактировании. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Психиатрия: национальное руководство / под ред. Ю.А. Александровского, Н.Г. Незнанова. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018. 1008 с.
2. Шамрей В.К., Курасов Е.С., Нечипоренко В.В. Возможности применения Мексидола в комплексной терапии психических расстройств // Журнал неврологии и психиатрии имени С.С. Корсакова. 2020. Т. 120, № 5. С. 160–164. DOI: 10.17116/jnevro2020120051160
3. Тарумов Д.А., Труфанов А.Г., Железняк И.С., и др. Патология микроструктурной коннективности головного мозга при синдроме зависимости от опиоидов и алкоголя // Доктор.Ру. 2020. Т. 19, № 4. С. 35–42. DOI: 10.31550/1727-2378-2020-19-4-35-42
4. Mwansisya T. Task and resting-state fMRI studies in first-episode schizophrenia: A systematic review // Schizophr. Res. 2017. No. 189. P. 9–18. DOI: 10.1016/j.schres.2017.02.026
5. Deng Y. Tractography-based classification in distinguishing patients with first-episode schizophrenia from healthy individuals // Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry. 2019. No. 88. P. 66–73. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2018.06.010
6. Gómez-Gastiasoro A. Altered frontal white matter asymmetry and its implications for cognition in schizophrenia: A tractography study // Neuroimage Clin. 2019. No. 22. 101781. DOI: 10.1016/j.nicl.2019.101781
7. Ji E. Increased and Decreased Superficial White Matter Structural Connectivity in Schizophrenia and Bipolar Disorder // Schizophr. Bull. 2019. Vol. 45, No. 6. P. 1367–1378. DOI: 10.1093/schbul/sbz015
8. Seitz J. Tractography Analysis of 5 White Matter Bundles and Their Clinical and Cognitive Correlates in Early-Course Schizophrenia // Schizophr. Bull. 2016. Vol. 42, No. 3. P. 762–771. DOI: 10.1093/schbul/sbv171
9. Shon S., Yoon W., Kim H., et al. Deterioration in Global Organization of Structural Brain Networks in Schizophrenia: A Diffusion MRI Tractography Study // Front. Psychiatry. 2018. No. 9. P. 272. DOI: 10.3389/fpsyt.2018.00272
10. Звартау Э.Э., Паткина Н.А. Мотивационные компоненты и самостимуляция при поведенческих реакциях, вызванных электрической стимуляцией гипоталамуса кошек // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова 1974. Т. 24, № 3. С. 529.
11. Тарумов Д.А. Магнитно-резонансная диагностика морфофункциональных изменений головного мозга при психических и поведенческих расстройствах, вызванных употреблением опиоидов и алкоголя. Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2019.
12. Paré D., Collins D., Pelletier J. Amygdala oscillations and the consolidation of emotional memories // Trends Cogn. Sci. 2002. Vol. 6, No. 7. P. 306–314. DOI: 10.1016/s1364-6613(02)01924-1
13. Khadka S. Is aberrant functional connectivity a psychosis endophenotype? A resting state functional magnetic resonance imaging study // Biol. Psychiatry. 2013. Vol. 74, No. 6. P. 458–466. DOI: 10.1016/j.biopsych.2013.04.024

REFERENCES

1. Aleksandrovsky YuA, Neznanov NG, editors. *Psychiatry: a national guide*. Moscow: GEOTAR-Media Publisher; 2018. 1008 p. (In Russ.)
2. Shamray VK, Kurasov ES, Nechiporenko VV. Possibilities of using Mexidol in comprehensive therapy of mental disorders. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2020;120(5):160–164. (In Russ.) DOI: 10.17116/jnevro2020120051160
3. Tarumov DA, Trufanov AG, Zheleznyak IS, et al. Abnormalities in microstructural brain connectivity in patients with opioid or alcohol dependence. *Doktor.Ru*. 2020;19(4):35–42. (In Russ.) DOI: 10.31550/1727-2378-2020-19-4-35-42
4. Mwansisya T. Task and resting-state fMRI studies in first-episode schizophrenia: A systematic review. *Schizophr Res*. 2017;(189):9–18. DOI: 10.1016/j.schres.2017.02.026
5. Deng Y. Tractography-based classification in distinguishing patients with first-episode schizophrenia from healthy individuals. *Progress in Neuro-Psychopharmacology and Biological Psychiatry*. 2019;(88):66–73. DOI: 10.1016/j.pnpbp.2018.06.010
6. Gómez-Gastiasoro A. Altered frontal white matter asymmetry and its implications for cognition in schizophrenia: A tractography study. *Neuroimage Clin*. 2019;(22):101781. DOI: 10.1016/j.nicl.2019.101781

7. Ji E. Increased and Decreased Superficial White Matter Structural Connectivity in Schizophrenia and Bipolar Disorder. *Schizophr Bull.* 2019;45(6):1367–1378. DOI: 10.1093/schbul/sbz015
8. Seitz J. Tractography Analysis of 5 White Matter Bundles and Their Clinical and Cognitive Correlates in Early-Course Schizophrenia. *Schizophr Bull.* 2016;42(3):762–771. DOI: 10.1093/schbul/sbv171
9. Shon S, Yoon W, Kim H, et al. Deterioration in Global Organization of Structural Brain Networks in Schizophrenia: A Diffusion MRI Tractography Study. *Front Psychiatry.* 2018;(9):272. DOI: 10.3389/fpsyt.2018.00272
10. Zvartau EE, Patkina NA. Motivational components and self-stimulation in behavioral responses caused by electrical stimulation of the cat hypothalamus. *Zhurnal vysshei nervnoi deyatel'nosti imeni I.P. Pavlova.* 1974;24(3):529. (In Russ.)
11. Tarumov DA. Magnetic resonance diagnostics of morphofunctional brain changes in mental and behavioral disorders caused by opioid and alcohol use [dissertation]. Saint Petersburg; 2019. (In Russ.)
12. Paré D, Collins D, Pelletier J. Amygdala oscillations and the consolidation of emotional memories. *Trends Cogn Sci.* 2002;6(7):306–314. DOI: 10.1016/s1364-6613(02)01924-1
13. Khadka S. Is aberrant functional connectivity a psychosis endophenotype? A resting state functional magnetic resonance imaging study. *Biol Psychiatry.* 2013;74(6):458–466. DOI: 10.1016/j.biopsych.2013.04.024

ОБ АВТОРАХ

***Николай Александрович Пучков**, курсант 6-го курса; адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2703-9883>; eLibrary SPIN: 6234-9055; e-mail: kolya_puchkov@mail.ru

Кирилл Валерьевич Маркин, курсант 6-го курса; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6242-1279>; eLibrary SPIN: 5416-7490

Ярослав Евгеньевич Прочик, курсант 5-го курса; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3861-641X>; eLibrary SPIN: 9120-1907

Александр Васильевич Тёмный, курсант 6-го курса; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8813-5708>; eLibrary SPIN: 2072-1868

Василий Евгеньевич Маслов, курсант 6-го курса; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1494-3945>; eLibrary SPIN: 6980-8520

Дмитрий Андреевич Тарумов, докт. мед. наук, доцент; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9874-5523>; eLibrary SPIN: 7608-5045; e-mail: Tarumov@live.ru

AUTHORS INFO

***Nikolay A. Puchkov**, 6th year cadet; address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2703-9883>; eLibrary SPIN: 6234-9055; e-mail: kolya_puchkov@mail.ru

Kirill V. Markin, 6th year cadet; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6242-1279>; eLibrary SPIN: 5416-7490

Yaroslav E. Prochik, 5th year cadet; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3861-641X>; eLibrary SPIN: 9120-1907

Alexander V. Tyomniy, 6th year cadet; <https://orcid.org/0000-0001-8813-5708>; eLibrary SPIN: 2072-1868

Vasiliy E. Maslov, 6th year cadet; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1494-3945>; eLibrary SPIN: 6980-8520

Dmitry A. Tarumov, MD, DSc (Medicine), Associate Professor; <https://orcid.org/0000-0002-9874-5523>; eLibrary SPIN: 7608-5045; e-mail: Tarumov@live.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64477>

Диагностическая эффективность основных дерматоскопических симптомов и алгоритмов для выявления меланомы кожи

© М.В. Мамунов*, А.В. Патрушев

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Цель: оценка диагностической точности основных дерматоскопических признаков и алгоритмов, используемых для диагностики меланомы кожи.

Материалы и методы. Для оценки диагностической эффективности проводимой дерматоскопии при выявлении меланомы кожи были выделены основные дерматоскопические признаки, встречающиеся при данном заболевании: атипичная пигментная сеть, атипичные глобулы, асимметрия пигментации и строения, асимметричные полосы, асимметричные зоны гиперпигментации (пятна), бело-голубая (сине-белая) вуаль, зернистость, рубцово-подобные очаги депигментации, белые блестящие полосы, негативная пигментная сеть. Исследование выполняли на основании анализа 34 архивных дерматоскопических изображений меланоцитарных новообразований кожи с морфологически верифицированным диагнозом (11 меланом и 23 меланоцитарных невуса). Кроме того, производилось сравнение показателей диагностической эффективности двух основных дерматоскопических алгоритмов, используемых в диагностике меланомы кожи: алгоритм «по 3 признакам» и «по 7 признакам». Для этого был проведен анализ 186 архивных дерматоскопических изображений меланоцитарных новообразований кожи. Все пациенты, включенные в исследование, проходили обследование и лечение в клинике кожных и венерических болезней в период с 2015 по 2019 г. Исследование проводилось с использованием дерматоскопа HEINE DELTA 20 Plus в режиме иммерсии и в кросс-поляризации.

Результаты. Наибольшую диагностическую эффективность для диагностики меланомы кожи имели следующие дерматоскопические признаки: бело-голубая вуаль (86,8 %), асимметрия пигментации и строения (82,6 %) и белые блестящие полосы (72,8 %). Диагностическая эффективность алгоритма «по 3 признакам» составила 93,0 %, алгоритма «по 7 признакам» — 90,5 %.

Заключение. Диагностические алгоритмы для подтверждения меланомы могут с успехом применяться как врачами общей практики, так и врачами-специалистами (дерматологами, онкологами). При этом алгоритм «по 3 признакам» предпочтительно использовать на первичном приеме пациентов в качестве скринингового варианта, а алгоритм «по 7 признакам» — опытными специалистами в области дерматоскопии для подтверждения диагноза (4 рис., 3 табл., библи.: 11 ист.).

Ключевые слова: алгоритмы; дерматоскопия; диагностическая эффективность; меланома; невус; ранняя диагностика; 3 признака; 7 признаков.

Как цитировать:

Мамунов М.В., Патрушев А.В. Диагностическая эффективность основных дерматоскопических симптомов и алгоритмов для выявления меланомы кожи // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 45–52. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64477>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64477>

Diagnostic efficiency of the main dermatoscopic symptoms and algorithms for detecting skin melanoma

© Maksim V. Mamunov*, Aleksandr V. Patrushev

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

AIM: to assess the diagnostic accuracy of the main dermatoscopic signs and algorithms used to diagnose skin melanoma.

MATERIALS AND METHODS: To assess the diagnostic effectiveness of the performed dermatoscopy in detecting skin melanoma, the main dermatoscopic signs that occur in this disease were identified: atypical pigment network, atypical globules, asymmetry of pigmentation and structure, asymmetric stripes, asymmetric zones of hyperpigmentation (spots), blue-white (white-blue) veil, graininess, scar-like foci of depigmentation, white shiny stripes, negative pigment network. The study was carried out based on the analysis of 34 archival dermatoscopic images of melanocytic skin lesions with a morphologically verified diagnosis (11 melanomas and 23 melanocytic nevi). In addition, a comparison was made of the indicators of the diagnostic efficiency of two main dermatoscopic algorithms used in the diagnosis of skin melanoma: the algorithm “by 3 signs” and “by 7 signs”. For this, 186 archived dermatoscopic images of melanocytic skin lesions were analyzed. All patients included in the study were examined and treated at the clinic for skin and venereal diseases in the period from 2015 to 2019. The study was carried out using a HEINE DELTA 20 Plus dermatoscope in immersion mode and in cross-polarization.

RESULTS: The following dermatoscopic features had the highest diagnostic efficiency for the diagnosis of skin melanoma: blue-white veil (86.8%), asymmetry of pigmentation and structure (82.6%), and white shiny stripes (72.8%). The diagnostic efficiency of the “3 signs” algorithm was 93.0%, the “7 signs” algorithm – 90.5%.

CONCLUSION: Diagnostic algorithms for confirming melanoma can be successfully used by both general practitioners and medical specialists (dermatologists, oncologists). In this case, it is preferable to use the three signs algorithm at the initial admission of patients as a screening option, and the seven-signs algorithm by experienced specialists in the field of dermatoscopy to confirm the diagnosis (4 figures, 3 tables, bibliography: 11 refs).

Keywords: algorithms; dermatoscopy; diagnostic early diagnosis; efficiency; melanoma; nevus; 3 signs; 7 signs.

To cite this article:

Mamunov MV, Patrushev AV. Diagnostic efficiency of the main dermatoscopic symptoms and algorithms for detecting skin melanoma. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):45–52. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64477>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

В XXI в. меланома кожи остается потенциально смертельным злокачественным заболеванием. Заболеваемость многими типами опухолей снижается, однако заболеваемость меланомой продолжает расти. Меланома кожи в настоящее время считается пятым по распространенности злокачественным новообразованием у мужчин и шестым по распространенности раком у женщин в США, где заболеваемость злокачественной меланомой с 1973 по 2002 г. увеличилась на 270 %. В среднем меланома кожи в течение жизни развивается у каждого 50-го представителя популяции развитых стран [1, 2]. В Великобритании заболеваемость меланомой кожи, по прогнозам, вырастет еще на 7 % в период с 2014 по 2035 г., что отражает растущее воздействие основного фактора риска — ультрафиолетового излучения [3]. В России за период с 2008 по 2018 г. численность больных меланомой кожи изменилась с 42,7 до 64,1 на 100 тыс. населения [4]. Несмотря на то что меланома в структуре злокачественных опухолей кожи составляет всего 10 %, она служит причиной 80 % смертей, вызванных данными новообразованиями [5]. Помимо местных рецидивов заболевания основной причиной высокой смертности служит развитие отдаленных метастазов в различных тканях и внутренних органах, распространяющихся преимущественно лимфо- и гематогенно.

Совершенствование методов диагностики новообразований кожи позволит выявлять пациентов на начальных стадиях заболевания [6]. Среди методов ранней неинвазивной диагностики меланомы кожи, используемых в настоящее время в дерматологии, дерматоскопия является главным и достаточно информативным скрининговым методом исследования [7]. Метод дерматоскопии, позволяя визуализировать структуры кожи, которые не видны невооруженным глазом, значительно повышает чувствительность и специфичность диагностики меланомы кожи. Преимущество дерматоскопии заключается в ее потенциале, позволяющем выявлять клинически незаметные меланомы, в то же время давая возможность распознавать доброкачественные новообразования, клиническая картина которых без проведения дерматоскопии может напоминать меланому кожи, уменьшая, таким образом, количество ненужных иссечений подозрительных на меланому новообразований [8, 9].

Для проведения дерматоскопии используется портативный прибор под названием дерматоскоп, представляющий собой устройство, оснащенное увеличительной линзой и источником света. Он позволяет визуализировать морфологию кожных поражений под роговым слоем вплоть до глубины поверхностной дермы. Дерматоскопия выявляет цвета и структуры, которые обычно не видны невооруженным глазом,

а также повышает диагностическую точность в обнаружении меланоцитарных и немеланоцитарных новообразований кожи.

Дерматоскопы, работающие в иммерсионном режиме (ИР), оснащены увеличительной линзой и светодиодами для обеспечения освещения. Они требуют непосредственного контакта линзы с поверхностью кожи и наличия жидкой иммерсионной среды с показателем преломления, равным или близким к показателю преломления кожи. В качестве иммерсионной жидкости могут использоваться 70 % спиртовой раствор, гель (например, ультразвуковой гель, антибактериальный гель), вода или минеральное масло. Иммерсионные жидкости увеличивают плотность контакта линзы с поверхностью кожи и являются средой, которая выравнивает коэффициент преломления стекла и рогового слоя эпидермиса, что позволяет световому потоку проникать глубоко в кожу. Данный метод дает возможность визуализировать микроскопические структуры, расположенные в эпидермисе и дермо-эпидермальном соединении, но не более глубоко расположенные структуры.

Дерматоскопы, работающие с использованием поляризованного света (режим кросс-поляризации, РКП), также состоят из светодиодов для обеспечения освещения и увеличительной линзы. Однако в их конструкции используются два специальных фильтра с целью достижения перекрестной поляризации, следовательно, они не требуют прямого контакта с кожей и использования иммерсионных жидкостей.

РКП позволяет визуализировать структуры, расположенные как в дермо-эпидермальном соединении, так и в поверхностной дерме, но при этом они почти «слепы» к структурам в поверхностном эпидермисе (например, к комедоподобным структурам).

Основное различие между ИР и РКП заключается в глубине визуализируемых структур. В то время как ИР лучше подходит для изучения структур в поверхностных слоях кожи (например, поверхностного эпидермиса вплоть до дермо-эпидермального соединения), РКП лучше подходит для оценки более глубоких слоев кожи (например, дермо-эпидермального соединения и поверхностной дермы). Такие дерматоскопические признаки, как милиум-подобные кисты и сине-белая вуаль вызваны поверхностными изменениями эпидермиса и поэтому лучше визуализируются при ИР. С другой стороны, блестящие белые структуры лучше визуализируются при РКП, так как они связаны с повышенным содержанием коллагена в поверхностной дерме [10].

Учитывая актуальность ранней диагностики меланомы кожи, на кафедре кожных и венерических болезней было инициировано соответствующее исследование.

Цель — оценка диагностической точности (эффективности) основных дерматоскопических признаков и алгоритмов, используемых для диагностики меланомы кожи.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оценки эффективности дерматоскопии были выбраны следующие дерматоскопические признаки, характерные для меланомы кожи (табл. 1).

В качестве материала для исследования использовали 34 изображения новообразований кожи пациентов из дерматоскопического архива клиники с морфологической верификацией диагноза (11 меланом и 23 меланоцитарных невуса).

Среди основных дерматоскопических алгоритмов для исследования были выбраны следующие варианты: алгоритм «по 3 признакам» и алгоритм «по 7 признакам».

Алгоритм «по 3 признакам» был первым алгоритмом дерматоскопии, созданным для того, чтобы помочь дифференцировать доброкачественные и злокачественные меланоцитарные опухоли. Этот алгоритм был разработан для решения важнейшего в дерматоскопии вопроса о том, является ли исследуемое меланоцитарное поражение кожи доброкачественным, подозрительным (пограничным) или злокачественным. Исследование дерматоскопического изображения при помощи алгоритма «по 3 признакам» может проводиться на 1-м и 2-м этапах анализа дерматоскопического изображения (до и после дифференцировки образований на меланоцитарные

и немеланоцитарные) и включает в себя оценку трех основных признаков, которые отличают меланому от других пигментных новообразований кожи: асимметрия пигментации и строения, атипичная пигментная сеть, бело-голубые структуры. За каждый имеющийся признак начисляется 1 балл, при наличии 2 или 3 баллов образование расценивается как злокачественное.

Исследование дерматоскопического изображения при помощи алгоритма «по 7 признакам» проводится только на 2-м этапе анализа дерматоскопического изображения (при анализе меланоцитарных образований) и включает в себя оценку дерматоскопических структур, характерных для меланомы кожи. При этом часть структур, наиболее часто встречающихся именно в меланоме, оценивается в 2 балла (большие признаки), а другая часть, часто встречающаяся в других пигментных образованиях, — в 1 балл (малые признаки). К большим признакам относятся: атипичная пигментная сеть, бело-голубая вуаль, атипичный сосудистый рисунок. К малым признакам относятся: неравномерные полосы, неравномерная пигментация (пятна в виде бесструктурных областей черного, коричневого и/или серого цвета), неравномерные точки/глобулы, признаки спонтанной регрессии. При наличии 3 и более баллов образование считается злокачественным. В качестве

Таблица 1. Основные дерматоскопические признаки

| Признак | Описание |
|---|--|
| Асимметрия пигментации и строения | Оценивается по 2 осям (вертикальной, горизонтальной), сравниваются дерматоскопическая структура и однородность окраски. При отсутствии симметрии по любой из осей признак считался положительным |
| Атипичные глобулы | Глобулы разного размера, цвета, которые неравномерно распределены по площади образования |
| Асимметричные полосы | Представляют собой ассиметричное расположение участков с линейными структурами |
| Атипичная пигментная сеть | Представлена разными по толщине и цвету перегородками, разными по размеру ячейками. При наличии сочетания данных показателей признак считался положительным |
| Бело-голубая (сине-белая) вуаль | Оценивалось наличие белесовато-голубой мутной студенистой пленки, через которую просвечивают подлежащие структуры. При присутствии данного показателя признак считался положительным |
| Асимметричные зоны гиперпигментации (пятна) | Представляют собой бесструктурные области темно-коричневого или черного цвета, различные по форме и не симметрично распределенные по площади образования |
| Зернистость | Признак регресса опухоли, представлен сине-серыми точками, напоминающими картину «рассыпанного молотого перца» |
| Рубцовоподобные очаги депигментации | Признак регресса опухоли, представлены бесструктурными зонами белого цвета |
| Белые блестящие полосы | Признак фиброза кожи, определяются только с использованием режима и представляет собой короткие взаимно перпендикулярные, не пересекающиеся линии. |
| Негативная пигментная сеть | Представляет собой негативное изображение типичной пигментной сети (светлые перегородки и темные ячейки). При присутствии данного показателя признак считался положительным |

материала для исследования было взято 186 дерматоскопических изображений меланокитарных новообразований кожи пациентов из дерматоскопического архива клиники.

Все пациенты, включенные в исследование, проходили обследование и лечение в клинике кожных и венерических болезней в период с 2015 по 2019 г., исследование проводилось дерматоскопом HEINE DELTA 20 Plus в РКП и с использованием иммерсии.

Полученные результаты регистрировали в электронной базе данных с помощью табличного редактора Excel (в составе пакета программ Microsoft Office, 2010), где записывали выявленные признаки по каждому образованию или фиксировали итоговую сумму баллов в зависимости от алгоритма. Затем составляли четырехпольные таблицы, для расчета диагностической эффективности признака (алгоритма).

Рассчитывали следующие показатели: диагностическая чувствительность (ДЧ) — $(a/(a + c)) \cdot 100\%$; диагностическая специфичность (ДС) — $(d/(d + b)) \cdot 100\%$; диагностическая эффективность (ДЭ) — $(ДЧ + ДС)/2$; прогностическая ценность положительного результата (ПЦПР) — $(a/(a + b)) \cdot 100\%$; прогностическая ценность отрицательного результата (ПЦОР) — $(d/(c + d)) \cdot 100\%$, где a — совпадение заключений о наличии болезни (истинноположительный результат); b — гипердиагностика (ложноположительный результат, ошибка первого рода, α -ошибка); c — гиподиагностика (ложноотрицательный результат, ошибка второго рода, β -ошибка);

d — совпадение заключений об отсутствии болезни (истинноотрицательный результат).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ частоты встречаемости десяти признаков меланокитарных новообразований при проведении дерматоскопии 34 гистологически верифицированных новообразований кожи (11 меланом и 23 меланокитарных невуса) показал, что признак «асимметрия пигментации и строения» (рис. 1) присутствовал в меланомах в 11 случаях, в невусах — в 8 случаях. Признак «атипичные глобулы» присутствовал в меланомах в 7 случаях, в невусах — в 9 случаях. Признак «асимметричные полосы» присутствовал в меланомах в 6 случаях, в невусах — в 8 случаях. Признак «атипичная пигментная сеть» (рис. 2) присутствовал в меланомах в 8 случаях, в невусах — в 17 случаях. Признак «бело-голубая вуаль» присутствовал в меланомах в 10 случаях, в невусах — в 4 случаях. Признак «асимметричные зоны гиперпигментации» (рис. 3) присутствовал в меланомах в 11 случаях, в невусах — в 18 случаях. Признак «зернистость» присутствовал в меланомах в 4 случаях, в невусах — в 1 случае. Признак «рубцовоподобные очаги гипопигментации» (рис. 4) присутствовал в меланомах в 4 случаях, в невусах — в 2 случаях. Признак «белые блестящие полосы» присутствовал в меланомах в 5 случаях, в невусах не встречался. Признак «негативная пигментная сеть» присутствовал в меланомах в 1 случае, в невусах — в 2 случаях.

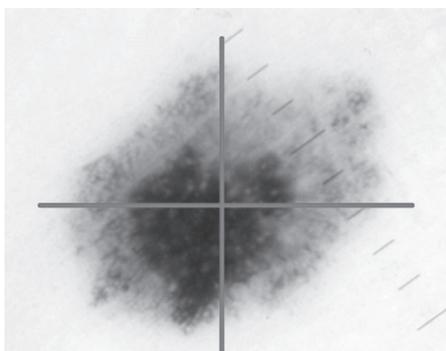


Рис. 1. Асимметрия пигментации и строения

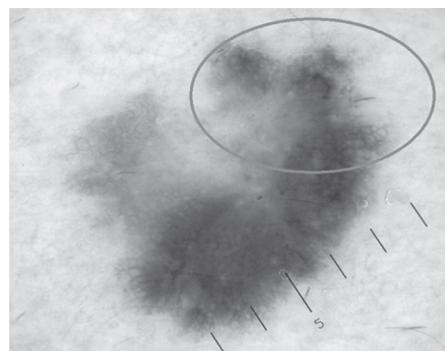


Рис. 2. Атипичная пигментная сеть

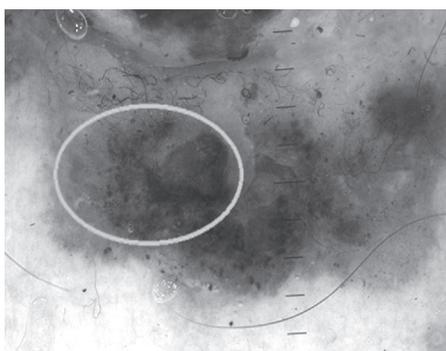


Рис. 3. Асимметричные зоны гиперпигментации



Рис. 4. Рубцовоподобная депигментация

Таблица 2. Показатели диагностической чувствительности, специфичности и эффективности дерматоскопических симптомов, %

| Признак | ДЧ | ДС | ДЭ |
|-------------------------------------|------|------|------|
| Асимметричные зоны гиперпигментации | 100 | 21,7 | 61,9 |
| Асимметричные полосы | 54,5 | 65,2 | 59,9 |
| Асимметрия пигментации и строения | 100 | 65,2 | 82,6 |
| Атипичная пигментная сеть | 72,7 | 26,0 | 49,4 |
| Атипичные глобулы | 63,6 | 60,9 | 62,3 |
| Бело-голубая вуаль | 90,9 | 81,6 | 86,8 |
| Белые блестящие полосы | 45,4 | 100 | 72,8 |
| Зернистость | 36,3 | 95,6 | 66,0 |
| Негативная пигментная сеть | 9,0 | 91,0 | 50,0 |
| Рубцовоподобные очаги депигментации | 36,3 | 91,3 | 63,8 |

Таблица 3. Результаты исследования с применением алгоритмов «по 3 признакам» и «по 7 признакам»

| Признак | Гистологическое исследование | |
|---------------------------|---|----------------|
| | болен | здоров |
| Алгоритм «по 3 признакам» | Болен (положительный результат теста) | <i>a</i> (11) |
| | Здоров (отрицательный результат теста) | <i>b</i> (10) |
| | | <i>c</i> (1) |
| | | <i>d</i> (164) |
| Алгоритм «по 7 признакам» | Болен (положительный результат теста) | <i>a</i> (10) |
| | Здоров (отрицательный результат теста) | <i>b</i> (4) |
| | | <i>c</i> (2) |
| | | <i>d</i> (170) |

Рассчитанные показатели диагностической чувствительности, специфичности и эффективности (точности) по всем признакам представлены в табл. 2.

Полученные данные по алгоритму «по 3 признакам» и «по 7 признакам» представлены в табл. 3.

Расчетные показатели для алгоритма «по 3 признакам» составили:

- ДЧ = $(a/(a + c)) \cdot 100\% = 92\%$;
- ДС = $(d/(d + b)) \cdot 100\% = 94\%$;
- ДЭ = $(ДЧ + ДС)/2 = 93\%$;
- ПЦПР = $(a/(a + b)) \cdot 100\% = 52\%$;
- ПЦОР = $(d/(c + d)) \cdot 100\% = 99\%$.

Расчетные показатели для алгоритма «по 7 признакам» составили:

- ДЧ = $(a/(a + c)) \cdot 100\% = 83\%$;
- ДС = $(d/(d + b)) \cdot 100\% = 98\%$;
- ДЭ = $(ДЧ + ДС)/2 = 90,5\%$;
- ПЦПР = $(a/(a + b)) \cdot 100\% = 71\%$;
- ПЦОР = $(d/(c + d)) \cdot 100\% = 99\%$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Оценивая полученные результаты можно констатировать, что наибольшую ДЧ имели следующие признаки: асимметрия пигментации и строения (100 %),

асимметричные зоны гиперпигментации (100 %) и бело-голубая вуаль (90,9 %). Наибольшую ДС имели следующие признаки: белые блестящие полосы (100 %), зернистость (95,6 %) и рубцовоподобные очаги депигментации (91,3 %). Наибольшую ДЭ имели следующие признаки: бело-голубая вуаль (86,8 %), асимметрия пигментации и строения (82,6 %) и белые блестящие полосы (72,8 %).

Результаты использования для диагностики меланомы кожи свидетельствуют о сопоставимых показателях между алгоритмом «по 3 признакам» и алгоритмом «по 7 признакам». В частности, ПЦПР оказалась одинаковой и составила около 99 %. Это означает практически полное совпадение с диагнозом в случае определения доброкачественности образования по заключению использованных алгоритмов. При этом можно констатировать, что более чувствительным оказался алгоритм «по 3 признакам» (92 %), а более специфичным — алгоритм «по 7 признакам» (98 %). В связи с этим первый алгоритм, с учетом простоты его проведения, целесообразно использовать начинающим специалистам в области дерматоскопии и врачам общей практики на первичном приеме для того, чтобы не пропустить меланому и своевременно направить пациента к онкологу. Второй алгоритм больше подходит

для экспертной оценки в специализированном дерматологическом стационаре.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее часто встречающимися дерматоскопическими признаками при меланоме кожи являются: асимметрия пигментации и строения меланоцитарного образования, белые блестящие полосы и бело-голубая вуаль. Диагностические алгоритмы для подтверждения меланомы могут с успехом применяться как врачами общей практики, так и врачами-специалистами (дерматологами, онкологами). При этом алгоритм «по 3 признакам» предпочтительно использовать на первичном приеме пациентов в качестве скринингового варианта, а алгоритм «по 7 признакам» более опытным специалистам в области дерматоскопии для подтверждения диагноза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. MacKie R.M., Hauschild A., Eggermont A.M. Epidemiology of invasive cutaneous melanoma // *Ann. Oncol.* 2009. Vol. 20, Suppl. 6. P. 1–7. DOI: 10.1093/annonc/mdp252
2. Meyle K.D., Guldberg P. Genetic risk factors for melanoma // *Hum. Genet.* 2009. Vol. 126, No. 4. P. 499–510. DOI: 10.1007/s00439-009-0715-9
3. Mistry M., Parkin D.M., Ahmad A.S., Sasieni P. Cancer incidence in the United Kingdom: projections to the year 2030 // *Br. J. Cancer.* 2011. Vol. 105, No. 11. P. 1795–1803. DOI: 10.1038/bjc.2011.430
4. Состояние онкологической помощи населению России в 2018 году / под ред. А.Д. Каприна, В.В. Старинского, Г.В. Петровой. М.: МНИОИ им. П.А. Герцена — филиал ФГБУ «НМИЦ радиологии» Минздрава России, 2019. 236 с.
5. Демидов Л.В., Синельников И.Е., Назарова В.В. и др. Ранняя диагностика меланомы кожи: значение и возможности применения дерматоскопии в клинической практике онколога // *Российский онкологический журнал.* 2013. № 5. С. 4–11.
6. Панкратов В.Г., Ревотюк А.А. Дерматоскопия пигментных образований кожи — неинвазивный тест для дифференциальной диагностики меланомы кожи с другими пигментированными новообразованиями // *Медицинские новости.* 2011. № 4. С. 6–12.

REFERENCES

1. MacKie RM, Hauschild A, Eggermont AM. Epidemiology of invasive cutaneous melanoma. *Ann Oncol.* 2009;20(S6):1–7. DOI: 10.1093/annonc/mdp252
2. Meyle KD, Guldberg P. Genetic risk factors for melanoma. *Hum. Genet.* 2009;126(4):499–510. DOI: 10.1007/s00439-009-0715-9
3. Mistry M, Parkin DM, Ahmad AS, Sasieni P. Cancer incidence in the United Kingdom: projections to the year 2030. *Br J Cancer.* 2011;105(11):1795–1803. DOI: 10.1038/bjc.2011.430

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации (протокол № 158 от 12.03.2021).

Вклад авторов. М.В. Мамунов — анализ данных, написание текста статьи. А.В. Патрушев — литературный поиск, написание текста статьи, редактирование текста статьи. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

7. Самцов А.В., Белоусова И.Э., Хайрутдинов В.Р., Жуков А.С. Совершенствование диагностики онкологических заболеваний с применением телемедицинских технологий в ВС РФ // 3-й Азиатско-тихоокеанский конгресс по военной медицине: материалы конгресса. 2016. С. 150–151.
8. Vestergaard M.E., Macaskill P., Holt P.E., Menzies S.W. Dermoscopy compared with naked eye examination for the diagnosis of primary melanoma: a meta-analysis of studies performed in a clinical setting // *Br. J. Dermatol.* 2008. Vol. 159, No. 3. P. 669–676. DOI: 10.1111/j.1365-2133.2008.08713.x
9. Argenziano G., Ferrara G., Francione S., et al. Dermoscopy – the ultimate tool for melanoma diagnosis // *Semin. Cutan. Med. Surg.* 2009. Vol. 28, No. 3. P. 142–148. DOI: 10.1016/j.sder.2009.06.001
10. Benvenuto-Andrade C., Dusza S.W., Agero A.L., et al. Differences between polarized light dermoscopy and immersion contact dermoscopy for the evaluation of skin lesions // *Arch. Dermatol.* 2007. Vol. 143, No. 3. P. 329–338. DOI: 10.1001/archderm.143.3.329
11. Хижа В.В., Мовчан К.Н., Кузин А.А., и др. Основные медико-статистические данные о случаях злокачественных новообразований в Санкт-Петербурге в 2015–2016 гг. // *Вестник Российской военно-медицинской академии.* 2017. Т. 4, № 60. С. 120–122.

4. Kaprin AD, Starinskiy VV, Petrova GV, ed. *The state of cancer care for the population of Russia in 2018.* Moscow: MNIОI im. P.A. Gercena – filial FGBU “NMIC radiologii” Minzdrava Rossii Publishing House; 2019. 236 p. (In Russ.)
5. Demidov LV, Sinel’nikov IE, Nazarova VV, et al. Early diagnosis of cutaneous melanoma: implication and application of dermoscopy in clinical practice. *Rossiiskij onkologicheskij zhurnal.* 2013;(5):4–11. (In Russ.)

6. Pankratov VG, Revotyuk AA. Dermoscopy of pigmented skin formations – a non-invasive test for the differential diagnosis of skin melanoma with other pigmented neoplasms. *Meditsinskiye novosti*. 2011;(4):6–12. (In Russ.)
7. Samtsov AV, Belousova IE, Khayrutdinov VR, Zhukov AS. The improvement diagnosis of oncological diseases with application of telemedical technologies in the russian armed forces. *3-y aziatsko-tikhookeanskiy kongress po voennoy meditsine* (3rd Asia-Pacific Congress on Military Medicine). Materials of the Congress. 2016: 150–151. (In Russ.)
8. Vestergaard ME, Macaskill P, Holt PE, Menzies SW. Dermoscopy compared with naked eye examination for the diagnosis of primary melanoma: a meta-analysis of studies performed in a clinical setting. *Br J Dermatol*. 2008;159(3):669–676. DOI: 10.1111/j.1365-2133.2008.08713.x
9. Argenziano G, Ferrara G, Francione S, et al. Dermoscopy – the ultimate tool for melanoma diagnosis. *Semin Cutan Med Surg*. 2009;28(3):142–148. DOI: 10.1016/j.sder.2009.06.001
10. Benvenuto-Andrade C, Dusza SW, Agero AL, et al. Differences between polarized light dermoscopy and immersion contact dermoscopy for the evaluation of skin lesions. *Arch Dermatol*. 2007;143(3):329–338. DOI: 10.1001/archderm.143.3.329
11. Khizha VV, Movchan KN, Kuzin AA, et al. Statistical data of cancer cases in saint-petersburg within 2015–2016. *Vestnik Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akadtmii*. 2017;4(60):120–122. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Максим Валерьевич Мамунов**, курсант 6-го курса;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; eLibrary SPIN: 8555-7954;
e-mail: mamunov_maksim@mail.ru

Александр Владимирович Патрушев, канд. мед. наук;
eLibrary SPIN: 1367-5580; e-mail: alexpat2@yandex.ru

AUTHORS INFO

***Maksim V. Mamunov**, 6th year cadet;
address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
eLibrary SPIN: 8555-7954; e-mail: mamunov_maksim@mail.ru

Aleksandr V. Patrushev, MD, PhD (Medicine);
eLibrary SPIN: 1367-5580; e-mail: alexpat2@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64480>

Экзорееабилитация пациентов со спастическим гемипарезом: высокие технологии

© А.С. Родионов*, А.П. Коваленко, Д.И. Кремлёв, Д.В. Аверкиев

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Цель: Оценить эффективность использования медицинских экзоскелетов «ExoAtlet» в нейрореабилитации пациентов с нарушениями ходьбы вследствие повреждений головного мозга.

Материалы и методы. Обследовано 42 пациента с последствиями инсульта сроком от 1,5 до 4 лет со спастичностью и нарушениями ходьбы. Использовались: шкалы Тардье, модифицированная Эшворта, Рэнкина, визуально-аналоговая; тесты комфортной ходьбы на 10 м и баланса Берга, индекс мобильности Ривермид. Пациенты были разделены на 2 репрезентативные группы (22 и 20 человек). 1-я 10 дней занималась в экзоскелетах «ExoAtlet» (применялись оригинальные методики и методика дифференцировки усилия); 2-я столько же — лечебной физкультурой. Обследование проводилось по 2 контрольным точкам — 1 день (1-я), 12 день (2-я).

Результаты. Сравнение обеих групп на 2-й контрольной точке показало достоверно ($p < 0,05$) лучшие результаты в 1-й группе. Скорость ходьбы, очевидно, увеличилась из-за тренировки баланса, коррекции постурально-фобических расстройств, растяжения спастических мышц и угнетения стретч-рефлекса.

Заключение. Использование экзоскелетов «ExoAtlet» является перспективной методикой для восстановления ходьбы (2 табл., библи.: 13 ист.).

Ключевые слова: нарушение ходьбы; постинсультная реабилитация; спастичность; экзорееабилитация; экзоскелет «ExoAtlet».

Как цитировать:

Родионов А.С., Коваленко А.П., Кремлёв Д.И., Аверкиев Д.В. Экзорееабилитация пациентов со спастическим гемипарезом: высокие технологии // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 53–58. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64480>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64480>

Exo-rehabilitation of patients with spastic hemiparesis: high technology

© Aleksandr S. Rodionov*, Aleksandr P. Kovalenko, Dmitriy I. Kremlyov, Dmitriy V. Averkiyev

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

AIM: Walking disorders are a frequent consequence of stroke. New technologies, such as the use of robotic exoskeletons, can help with recovery, but their effectiveness has not yet been sufficiently proven.

MATERIALS AND METHODS: Forty-two patients with spasticity and walking disorders (stroke duration from 1.5 to 4 years) were included in the study. The Tardieu Scale, Modified Ashworth scale, Medical Research Council Scale, 10 Meter Walk Test, Rivermead Mobility Index, Berg Balance Test, Rankin scale, and a Visual Analog Scale (to assess patient satisfaction with treatment) were used in assessments. The patients were randomized into 2 groups ($n = 22$ & 20): the first group received exoskeleton walk training with the powered exoskeleton, ExoAtlet, and the second group received physical therapy sessions, each for 1 hour daily over 10 days. Clinical evaluations of patients were performed at 3 timepoints: baseline (Day 1), and 12.

RESULTS: Comparison of both groups at the second timepoint showed significantly better results ($p < 0.05$) in the first group vs the second group. Walking speed increased due to balance training, correction of postural disorders, spastic muscle stretching, and stretch reflex suppression.

CONCLUSION: The wearable powered ExoAtlet exoskeleton is a promising technology for improving walking (2 tables, bibliography: 13 refs).

Keywords: Exorehabilitation; Exoskeleton ExoAtlet; Post-stroke rehabilitation; Spasticity; Walking disorder.

To cite this article:

Rodionov AS, Kovalenko AP, Kremlyov DI, Averkiyev DV. Exo-rehabilitation of patients with spastic hemiparesis: high technology. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):53–58. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64480>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Тяжелыми расстройствами ходьбы вследствие повреждений нервной системы страдают, по различным данным, от 460 тыс. до 1,5 млн человек.

Длительность адаптации, физические затраты персонала и сокращение длительности пребывания пациентов в реабилитационном учреждении предъявляют повышенные требования к рациональному выбору и сочетанию адекватных методов и средств реабилитации. Одним из способов, позволяющих улучшить двигательную функцию, являются разработка и создание роботизированных систем. В последнее десятилетие для восстановления ходьбы широко применяются локомоторные ассистирующие роботы, в основу работы которых положен метод внешней реконструкции ходьбы с широкими возможностями моделирования движений больного в реальном масштабе времени.

Основная масса работ посвящена изучению эффективности роботизированных систем в реабилитации пациентов с парапарезами вследствие повреждений спинного мозга различной этиологии (аутоиммунной, травматической, сосудистой) [1–7]. При этом работы, посвященные восстановлению передвижения пациентов, перенесших повреждение головного мозга, не столь однозначны по результатам. Они, как правило, имеют недостаточное количество наблюдений и далеко не бесспорный выбор методов оценки [8, 9].

Цель — оценка эффективности применения медицинских экзоскелетов у пациентов с последствиями острого нарушения мозгового кровообращения (ОНМК).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проводилось открытое контролируемое исследование с выделением основной и контрольной групп пациентов с рандомизацией методом свободной выборки и прямым анализом исходных и конечных значений.

В исследование были включены 42 пациента с последствиями ОНМК давностью от 1,5 до 7 лет ($4,6 \pm 2,2$) в возрасте от 47 до 75 лет ($61,2 \pm 8,6$) с формированием спастического гемипареза и нарушением ходьбы, разделенные на 2 репрезентативные группы: исследуемую (22) и контрольную (20).

Пациентам выполнялись: неврологический осмотр, выявление спастичности мануальным мышечным тестированием, оценка по модифицированным шкалам Эшворта (MAS), Тардье (MTS), комитета медицинских исследований (MRCS), Рэнкина, индексу мобильности Ривермид (RMI), тесту баланса Берга (ТББ), и комфортной ходьбы (КХ) на 10 м и визуальной аналоговой шкалы (ВАШ) для определения степени удовлетворенности лечением [10–13]. К критериям исключения относились: наличие суставных контрактур; краткая шкала оценки психического статуса (MMSE) <24 баллов, парез в ноге MRCS <2; парез в руке MAS <3, спастичность в руке MAS >2.

Пациенты обеих групп в течение 10 дней получали базовое лечение и реабилитацию по стандартным методикам. С пациентами исследуемой группы проводили занятия по 1 ч в день с использованием экзоскелета «ЭкзоАтлет». Обследование и оценка результатов были проведены при скрининговом обследовании и по 2-м контрольным точкам — перед и после (10 ± 3 дня) цикла занятий. Полученные результаты заносились в индивидуальную карту обследуемого. Формирование электронной базы данных, статистический анализ и построение диаграмм проводили с использованием пакетов прикладных программ MS Office 2010 и Statistica for Windows 8.0 (StatSoft, Inc, 2001). Использовались: определение числовых характеристик переменных и показателей динамики изменений значений переменных, оценка нормального распределения по критерию Шапиро–Уилка, *T*-критерий Вилкоксона, *U*-критерий Манна–Уитни, коэффициент корреляции *r*-Спирмена. Протокол исследования был одобрен локальным этическим комитетом Военно-медицинской академии. Обследованные были проинформированы о целях исследования и подписали информированное согласие.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходные и результирующие значения показателей оценочных шкал в группах, значения статистических критериев и уровни значимости различий представлены в табл. 1.

При анализе данных табл. 1 можно выделить несколько блоков оценки жизнедеятельности, на которые оказывают влияние примененные методики реабилитации: 1. Ходьба и баланс (ТББ, КХ). 2. Спастичность и мышечные контрактуры (MAS, Тардье). 3. Оценка пациентом проводимых мероприятий (ВАШ). 4. Общая реабилитационная оценка (RMI). 5. Показатели мышечной силы (MRCS). Основными направлениями, по которым происходят достоверные улучшения, являются показатели баланса, ходьбы и спастичности. При этом если баланс и ходьба имеют положительные тенденции в обеих группах ($+0,65$) и при этом даже подтверждаются более широкой оценкой по RMI ($+0,77$), то показатели спастичности имеют большую вариабельность в ответ на применение экзоскелета. Особенно это заметно по MAS, показатели которой имеют минимальные изменения в контрольной группе. Это объясняется особенностями патогенеза спастичности, который является сочетанием двух процессов: повышенной мышечной реактивности и укорочения мышцы (контрактура). Выраженность спастичности при этом является основным фактором, влияющим на баланс и ходьбу, что подтверждается значениями коэффициента корреляции $-0,82$ и $-0,51$ соответственно. Аппаратная реабилитация безусловно положительно влияет на растяжение мышц, что и демонстрирует положительная динамика по MAS в ответ

Таблица 1. Результаты сравнения показателей оценочных шкал до и после курса реабилитации в исследуемой и контрольной группах; Ме [Q25; Q75 %] (*n* — количество пациентов)

| Оценочные шкалы | Контрольная группа | | Исследуемая группа | |
|---------------------|--|---|--|---|
| | до курса реабилитации (<i>n</i> = 20) | после курса реабилитации (<i>n</i> = 20) | до курса реабилитации (<i>n</i> = 22) | после курса реабилитации (<i>n</i> = 22) |
| ВАШ, балл | 1,0* [1,0; 1,0] | 3,0* [2,0; 3,5] | 1,0# [1,0; 1,0] | 4,0# [4,0; 6,0] |
| MAS, балл | 2,5* [2,0; 3,0] | 2,0* [2,0; 3,0] | 2,0# [2,0; 3,0] | 2,0# [1,5; 2,0] |
| MTS, градус | 129,0* [124,5; 133,0] | 132,0* [130,0; 139,5] | 130,5# [125,0; 133,0] | 137,5# [134,0; 141,0] |
| KX 10м, м/с | 0,39* [0,34; 0,46] | 0,43* [0,40; 0,50] | 0,41# [0,35; 0,48] | 0,47# [0,43; 0,53] |
| ТББ, балл | 40,0* [32,5; 46,0] | 42,0* [34,5; 48,5] | 41,0# [37,0; 46,0] | 44,5# [39,0; 50,0] |
| IMR, балл | 11,0* [9,0; 13,0] | 11,5* [10,0; 13,0] | 11,0# [9,0; 12,0] | 12,0# [10,0; 12,0] |
| Шкала Рэнкина, балл | 3,0* [2,0; 3,0] | 3,0* [2,0; 3,0] | 3,0* [2,0; 4,0] | 3,0* [2,0; 3,0] |
| MRCS, балл | 3,5 [3,0; 4,0] | 4,0 [3,0; 4,0] | 3,5 [3,0; 4,0] | 4,0 [3,0; 4,0] |

Примечание. Парное сравнение до и после реабилитации в контрольной и исследуемой группах; * $p < 0,05$, # $p < 0,001$; *T*-критерий Вилкоксона равен 0,00 во всех парных измерениях.

Таблица 2. Результаты сравнения абсолютных приростов показателей оценочных шкал после курса реабилитации в исследуемой и контрольной группах; Ме[Q25; Q75 %] (*n* — количество пациентов)

| Оценочные шкалы | Группы сравнения | | <i>U</i> -критерий Манна–Уитни | Уровень значимости |
|---------------------|------------------------|---------------------------|--------------------------------|--------------------|
| | основная <i>n</i> = 20 | контрольная <i>n</i> = 19 | | |
| ВАШ, балл | 3,0 [3,0; 5,0] | 2,0 [1,0; 2,5] | 83,5 | $p < 0,001^*$ |
| MAS, балл | 0,5 [0,0; 1,0] | 0,0 [0,0; 0,5] | 130,0 | $p < 0,05^*$ |
| MTS, градус | 7,0 [6,0; 8,0] | 4,0 [3,0; 5,0] | 58,0 | $p < 0,001^*$ |
| KX 10м, м/с | 0,06 [0,05; 0,07] | 0,04 [0,03; 0,05] | 56,0 | $p < 0,001^*$ |
| ТББ, балл | 3,0 [3,0; 3,0] | 2,0 [2,0; 3,] | 137,0 | $p < 0,05^*$ |
| RMI, балл | 1,0 [1,0; 2,0] | 1,0 [0,0; 1,0] | 135,0 | $p < 0,05^*$ |
| Шкала Рэнкина, балл | 0,0 [0,0; 0,0] | 0,0 [0,0; 1,0] | 216,0 | $p = 0,91$ |
| MRCS, балл | 0,0 [0,0; 0,0] | 0,0 [0,0; 1,0] | 201,0 | $p = 0,98$ |

* различие значимо.

на применение экзоскелета ($p < 0,001$). Отсутствие изменений по MAS в контрольной группе свидетельствует о недостаточности возможностей обычного курса реабилитации в воздействии на мышечные контрактуры. Динамика по MTS, очевидно, связана с возвратным торможением стретч-рефлекса и повышением порога раздражения на фоне длительной его провокации при занятиях в аппарате.

Улучшение баланса и равновесия имеют более устойчивые и выраженные тенденции в исследуемой группе (Ме = 44,5, $p < 0,001$) по сравнению с контрольной (Ме = 42, $p < 0,05$), очевидно, вследствие компенсации сразу нескольких звеньев патогенеза нарушения ходьбы: тренировка баланса; активизация интеро- и проприорецепторного аппарата суставов и сухожилий; активизация локомоторного центра; психоэмоциональная тренировка на преодоление пострурально-фобического расстройства; тренировка статического и статокинетического рефлексов.

KX и RMI по сути являются интегральными показателями, демонстрирующими увеличение мобильности. В основе положительной динамики KX лежит как увеличение длины шага, достигнутое за счет уменьшения спастичности и контрактуры, так и улучшение баланса. Это отражается на показателях ВАШ, демонстрирующих оценку применяемых методов пациентом (Ме 4 и 3 соответственно, $p < 0,001$). Относительно низкая динамика RMI и показателей шкалы Рэнкина связана с тем, что в их расчет входят показатели, не связанные с ходьбой. Восстановление силы мышц достижимо только через самостоятельные занятия и не может быть достигнуто аппаратными методиками, что объясняет отсутствие динамики по MRCS.

Особенность исследования заключалась в экспресс-оценке нового метода реабилитации. Это предопределило статистическую оценку, одним из направлений которой стала оценка динамики изменений показателей в основной и контрольной группах (табл. 2).

Анализ степени положительной динамики показателей оценочных шкал подтверждает тенденции, отмеченные в межгрупповом анализе показателей (табл. 1). Основные направления, на которые может влиять ходьба в аппарате, а именно уменьшение степени выраженности мышечных контрактур (на 5 vs 0, $p < 0,05$), снижение рефлекторной мышечной реактивности (на 7 vs 4, $p < 0,001$) и тренировка баланса в процессе движения (на 3 vs 2, $p < 0,05$), реализуют себя через выраженное увеличение скорости комфортной ходьбы (на 0,06 vs 0,04, $p < 0,001$) и отражаются на приросте RMI (на 1 vs 0, $p < 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При проведении исследования была разработана оригинальная методика занятий на экзоскелете «ЕхоAtlet» для пациентов с последствиями ОНМК. Анализ результатов позволяет сделать выводы:

1. Использование экзоскелета в комплексной реабилитации пациентов с повреждениями головного мозга является перспективной методикой с высокой степенью достоверной эффективности.

2. Занятия в экзоскелете позволяют ускорить восстановление динамики и уверенности ходьбы у пациентов с последствиями ОНМК, сопровождаемыми спастическими гемипарезами.

3. Основными звеньями патогенеза, на которых положительно отражается использование экзоскелета, являются восстановление баланса и снижение выраженности мышечных контрактур в условиях реализации модели реального передвижения.

4. Изучение механизмов положительного влияния применения экзоскелета на восстановление ходьбы

у пациентов с повреждениями головного мозга требует дальнейших детальных исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Работа выполнена в рамках исполнения кафедрой нервных болезней ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» МО РФ темы НИР 2-й категории (Тема № VMA 02.01.04.0608/0201, шифр «Экзоскелет»). Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» (протокол № 160 от 26.03.2021).

Вклад авторов.

А.С. Родионов — обследование пациентов, проведение реабилитационных занятий в экзоскелете, написание текста статьи.

А.П. Коваленко — руководство исследованием, составление методики реабилитационного процесса, обследование пациентов, написание текста статьи, осуществление научного редактирования.

Д.И. Кремлев — обработка данных, проведение реабилитационных занятий в экзоскелете, литературный поиск.

Д.В. Аверкиев — консультирование, редактирование текста, исследование эффективности экзоскелета. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бушков Ф.А., Клещунов С.С., Косяева С.В., и др. Клиническое исследование применения экзоскелета «Ехоatlet» у спинальных пациентов // Вестник восстановительной медицины. 2017. № 2 (78). С. 54–59.
2. Ткаченко П.В., Даминов В.Д., Карпов О.Э. Использование экзоскелета в комплексной реабилитации пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой // Вестник восстановительной медицины. 2017. № 2 (78). С. 126–132.
3. Клочков А.С. Роботизированные системы в восстановлении навыка ходьбы у пациентов, перенесших инсульт. Автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2012. 26 с.
4. Котов С.В., Лиждвой В.Ю., Секирин А.Б. Эффективность применения экзоскелета ехоatlet для восстановления функции ходьбы у больных рассеянным склерозом // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2017. Т. 117, № 10–2. С. 41–47.
5. Макарова М.Р., Лядов К.В., Турова Е.А., Кочетков А.В. Возможности современной механотерапии в коррекции двигательных нарушений неврологических больных // Вестник восстановительной медицины. 2014. № 1 (59). С. 54–62.
6. Cruciger O., Schildhauer T.A., Meindl R.C., et al. Impact of locomotion training with a neurologic controlled hybrid assistive limb (HAL) exoskeleton on neuropathic pain and health related quality of life (HRQoL) in chronic SCI: a case study // Disabil. Rehabil. Assist. Technol. 2016. Vol. 11, No. 6. P. 529–534. DOI: 10.3109/17483107.2014.981875
7. Hartigan C., Kandilakis C., Dalley S., et al. Mobility Outcomes Following Five Training Sessions with a Powered Exoskeleton // Spring. 2015. Vol. 21, No. 2. P. 93–99. DOI: 10.1310/sci2102-93
8. Kasai R., Takeda S. The effect of a hybrid assistive limb on sit-to-stand and standing patterns of stroke patients // J. Phys. Ther. Sci. 2016. Vol. 28, No. 6. P. 1786–1790. DOI: 10.1589/jpts.2016.1786
9. Mehrholz J., Thomas S., Werner C., et al. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. Cochrane Database Syst. Rev. 2017. Vol. 5, No. 5. CD006185. DOI: 10.1002/14651858.CD006185.pub4
10. Коваленко А.П., Камаева О.В., Мисиков В.К., и др. Шкалы и тесты для оценки эффективности лечебно-реабилитационных мероприятий у пациентов со спастичностью нижней конечности

сти // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2018. Т. 118, № 5. С. 120–128. DOI: 10.17116/jneuro201811851120

11. Коваленко А.П., Мисиков В.К., Искра Д.А., и др. Шкала Тардье в диагностике спастичности // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2019. Т. 119, № 9. С. 70–77. DOI: 10.17116/jneuro201911909183

12. Искра Д.А., Коваленко А.П., Кошкарёв М.А., Дыскин Д.Е. Спастичность: от патофизиологии к лечению // Журнал неврологии

и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2018. Т. 118, № 10. С. 108–114. DOI:10.17116/jneuro2018118101108

13. Коваленко А.П., Мисиков В.К. Ботулинический токсин в лечении спастичности нижней конечности при повреждениях головного мозга // Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2018. Т. 118, № 9. С. 113–119. DOI: 10.17116/jneuro201811809128

REFERENCES

1. Bushkov FA, Kleshchunov SS, Kosiaeva SV, et al. Clinical trial applications of the locomotion exoskeleton "exoatlet" in spinal patients. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2017;2(78):54–59. (In Russ.)
2. Tkachenko PV, Daminov VD, Karpov OE. Application of exoskeleton exoatlet in complex rehabilitation of the spinal cord injury patients. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2017;2(78):126–132. (In Russ.)
3. Klochkov AS. Robotic systems in the restoration of walking skills in patients who have suffered a stroke [dissertation]. Moscow; 2012. (In Russ.)
4. Kotov SV, Ljdvoy VY, Sekirin AB, et al. The efficacy of the exoskeleton exoatlet to restore walking in patients with multiple sclerosis. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2017;117(10–2):41–47. (In Russ.)
5. Makarova MR, Liadov KV, Turova EA, Kochetkov AV. Possibilities of modern mechanical therapy in the correction of motor disorders of neurological patients. *Bulletin of Rehabilitation Medicine*. 2014;1(59):54–62. (In Russ.)
6. Cruciger O, Schildhauer TA, Meindl RC, et al. Impact of locomotion training with a neurologic controlled hybrid assistive limb (HAL) exoskeleton on neuropathic pain and health related quality of life (HRQoL) in chronic SCI: a case study. *Disabil Rehabil Assist Technol*. 2016;11(6):529–534. DOI: 10.3109/17483107.2014.981875

7. Hartigan C, Kandilakis C, Dalley S, et al. Mobility Outcomes Following Five Training Sessions with a Powered Exoskeleton. *Spring*. 2015;21(2):93–99. DOI: 10.1310/sci2102-93

8. Kasai R, Takeda S. The effect of a hybrid assistive limb on sit-to-stand and standing patterns of stroke patients. *J Phys Ther Sci*. 2016;28(6):1786–1790. DOI: 10.1589/jpts.2016.1786

9. Mehrholz J, Thomas S, Werner C, et al. Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev*. 2017;5(5):CD006185. DOI: 10.1002/14651858.CD006185.pub4

10. Kovalenko AP, Kamaeva OV, Misikov VK, et al. Scales and tests in the rehabilitation and treatment of patients with spasticity of the lower limbs. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2018;118(5):120–128. (In Russ.) DOI: 10.17116/jneuro201811851120

11. Kovalenko AP, Misikov VK, Iskra DA. Tardue scales in the diagnostic of spasticity. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2019;119(9):70–77. (In Russ.) DOI: 10.17116/jneuro201911909183

12. Iskra DA, Kovalenko AP, Koshkarev MA, Dyskin DE. Spasticity: from pathophysiology to treatment. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2018;118(10):108–114. (In Russ.) DOI:10.17116/jneuro2018118101108

13. Kovalenko AP, Misikov VK. Botulinum toxin in treatment of lower limb spasticity in patients with brain damage. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2018;118(9):113–119. (In Russ.) DOI: 10.17116/jneuro201811809128

ОБ АВТОРАХ

***Александр Сергеевич Родионов**, курсант;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7455-8600>;
eLibrary SPIN: 4458-9650; e-mail: rodionovcsm@gmail.com

Александр Павлович Коваленко, канд. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5762-5632>;
eLibrary SPIN: 5324-0355; e-mail: kvlnko73@gmail.com

Дмитрий Ильич Кремлёв, студент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7919-3383>;
eLibrary SPIN: 4569-1035; kremlevdm27@gmail.com

Дмитрий Вячеславович Аверкиев, канд. мед. наук, доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4377-0115>;
eLibrary SPIN: 8042-1569; averdm@mail.ru

AUTHORS INFO

***Aleksandr S. Rodionov**, cadet;
address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7455-8600>;
eLibrary SPIN:4458-9650; e-mail: rodionovcsm@gmail.com

Aleksandr P. Kovalenko, MD, PhD (Medicine);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5762-5632>;
eLibrary SPIN: 5324-0355; e-mail: kvlnko73@gmail.com

Dmitriy I. Kremlyov, student;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7919-3383>;
eLibrary SPIN: 4569-1035; e-mail: kremlevdm27@gmail.com

Dmitriy V. Averkiyev, MD, PhD (Medicine), Associate Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4377-0115>;
eLibrary SPIN: 8042-1569; e-mail: averdm@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64484>

Моделирование деятельности медицинских организаций на эвакуационном направлении

© Д.В. Болгарев*, Д.Н. Борисов

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Все чаще в различных сферах деятельности специалисты органов управления используют средства имитационного моделирования для оптимизации работы медицинских организаций разных уровней и направленности. Стоит отметить, что в доступной литературе не было найдено информации о применении описанного метода для моделирования процесса оказания медицинской помощи одновременно в нескольких объектах медицинской службы с описанием их взаимодействия. Имитационное моделирование позволяет оценить нагрузку как на отдельные этапы, так и на все эвакуационное направление до непосредственного задействования сил и средств медицинской службы. Целью исследования являлось создание системы анализа и визуализации данных, используемых для оптимизации принятия решения о распределении сил и средств медицинской службы на эвакуационном направлении с применением имитационного моделирования. Использовались данные литературы, схемы развертывания этапов медицинской эвакуации, хронометраж лечебно-эвакуационных мероприятий, мощность и структура потоков раненых и больных. Имитационное моделирование осуществлялось в программе Anylogic. Дискретно-событийная модель построена на базе математического аппарата и расчетных задач, которые используются для оценки временных показателей выполнения лечебно-эвакуационных мероприятий. К ним относятся такие параметры, как время начала оказания медицинской помощи, средняя длительность ожидания оказания медицинской помощи раненым и больным, находящимся в очереди, и другие параметры. Имитационная модель дает возможность выводить информацию о нагрузке на отдельные подразделения или этапы, что позволяет оперативно оценить общую нагрузку на направление и принять решение о переброске сил и средств медицинской службы в более загруженный участок эвакуационного направления. Внедрение имитационного моделирования в деятельность медицинской службы Вооруженных сил Российской Федерации позволяет оперативно управлять качеством проведения лечебно-эвакуационных мероприятий на всем эвакуационном направлении (4 рис., 1 табл., библиограф.: 15 ист.).

Ключевые слова: дискретно-событийное моделирование; медицинская служба; медицинские организации; пациент; потоки раненых и больных; прогнозирование; эвакуационное направление.

Как цитировать:

Болгарев Д.В., Борисов Д.Н. Моделирование деятельности медицинских организаций на эвакуационном направлении // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 59–64. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64484>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64484>

Modeling the activities of medical organizations in the evacuation direction

© Dmitriy V. Bolgarev*, Dmitriy N. Borisov

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

Increasingly, in various spheres of activity, specialists of management bodies use simulation tools to optimize the work of medical organizations of different levels and directions. It should be noted that in the available literature no information was found on the use of the described method for modeling the process of providing medical care simultaneously in several objects of the medical service with a description of their interaction. Simulation modeling makes it possible to assess the load both on individual stages and on the entire evacuation direction before the direct involvement of the forces and means of the medical service. The aim of the study was to create a system for analyzing and visualizing data used to optimize decision-making on the distribution of forces and means of the medical service in the evacuation direction using simulation modeling. We used literature data, schemes for deploying the stages of medical evacuation, timing of treatment and evacuation measures, the power and structure of the flows of the wounded and sick. Simulation modeling was carried out in the Anylogic software. The discrete-event model is built on the basis of the mathematical apparatus and calculation tasks that are used to assess the time indicators of the implementation of medical and evacuation measures. These include such parameters as the start time of medical care, the average waiting time for the provision of medical care to the wounded and sick in the queue, and other parameters. The simulation model makes it possible to display information about the load on individual units or stages, which makes it possible to quickly assess the total load on the direction and make a decision on the transfer of forces and means of the medical service to a more loaded section of the evacuation direction. The introduction of simulation modeling into the activities of the medical service of the Armed Forces of the Russian Federation will make it possible to efficiently control the quality of medical and evacuation measures in the entire evacuation direction (4 figures, 1 table, bibliography: 15 refs).

Keywords: discrete-event modeling; evacuation direction; flows of the wounded and sick; forecasting; medical organizations; medical service; patient.

To cite this article:

Bolgarev DV, Borisov DN. Modeling the activities of medical organizations in the evacuation direction. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):59–64. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64484>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

При функционировании медицинских организаций создание достоверной и подробной модели с распределением ресурсов и кадров делает возможным заранее подготовиться к предстоящим нагрузкам. И поэтому основной целью моделирования является создание такой модели, результаты работы которой будут максимально приближены к реальным данным, получаемым при проведении практических мероприятий — различных видов медицинских манипуляций, учений и т. д. [1]. После этого, создавая модель потока пациентов различных категорий, целесообразно определить наиболее узкие места в работе военно-медицинских организаций, оптимальную загруженность специалистов и оптимизировать потоки пациентов с учетом сбалансированного распределения сил и средств медицинской службы.

Цель — создание системы анализа и визуализации данных, используемых для оптимизации принятия решения о распределении сил и средств медицинской службы на эвакуационном направлении с использованием имитационного моделирования.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Использовались данные литературы, схемы развертывания этапов медицинской эвакуации, хронометраж лечебно-эвакуационных мероприятий, мощность и структура потоков раненых и больных. Имитационное моделирование осуществлялось в программе Anylogic.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Для формализации потоков раненых, больных и пораженных изучены структура и функциональное предназначение медицинских организаций, что позволило разделить эти потоки как в пределах одного этапа, так и на эвакуационном направлении в целом [2, 3].

Дискретно-событийная модель построена на базе математического аппарата и расчетных задач, которые используются для оценки временных показателей выполнения лечебно-эвакуационных мероприятий [4–6]. К ним относятся время начала оказания медицинской помощи, средняя длительность ожидания оказания помощи раненым и больным, находящимся в очереди, и другие показатели.

Временные параметры в модели задавались в виде треугольного распределения между минимальными, максимальным и наиболее часто встречающимся значениями. Данные были получены в результате анализа справочных материалов и в ходе проведения тактико-специальных учений в учебном центре Военно-медицинской академии.

При создании структурно-логической схемы (рис. 1) движения раненых по эвакуационному направлению потребовалось разделить на блоки, представляющие собой отдельные медицинские организации [7–9]. Агентами служили конкретные пациенты или медицинские работники. Для работы модели требуется выход агента из одного блока и его вход в следующий. Каждый агент движется по собственному пути, который может завершаться выходом из конкретного блока или прохождением всех этапов медицинской эвакуации и достижением конечной точки последнего блока [3, 10].

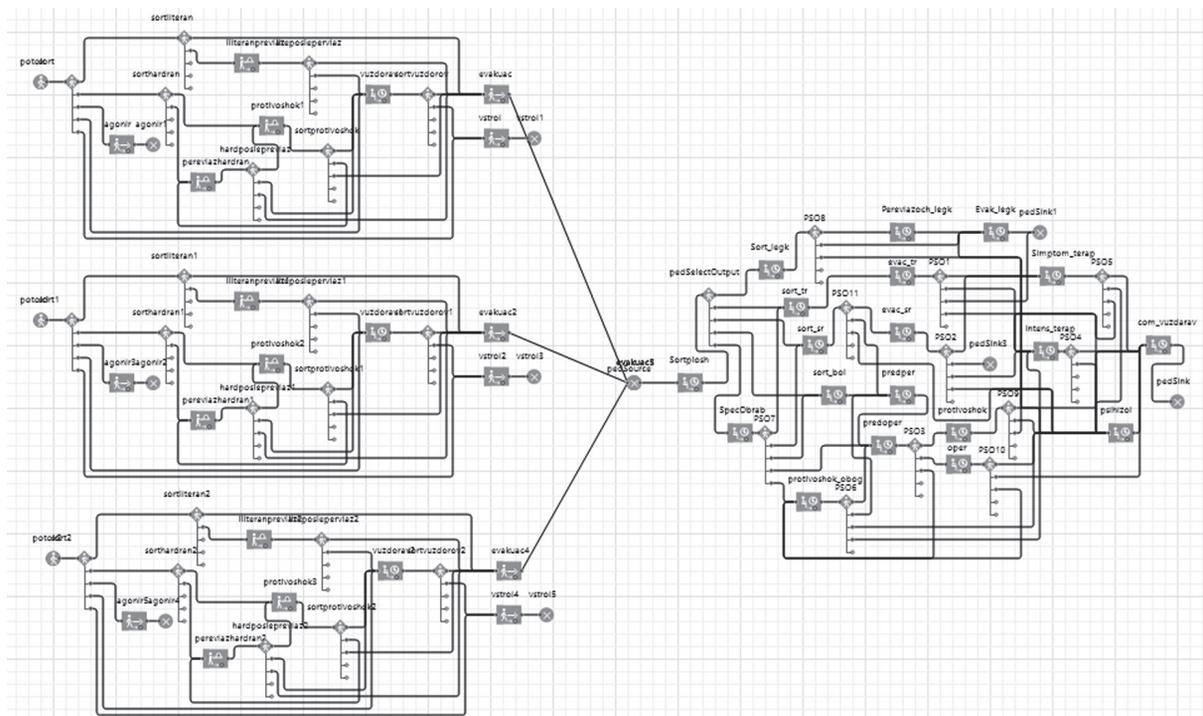


Рис. 1. Структурно-логическая схема имитационной модели

Таблица 1. Вводные данные

| Степень тяжести ранения | Медицинская рота бригады (поток 1) | Медицинская рота бригады (поток 2) | Медицинская рота бригады (поток 3) |
|---------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| Легкораненые | 40 | 50 | 45 |
| Раненые средней степени тяжести | 35 | 40 | 40 |
| Тяжелораненые | 20 | 25 | 30 |

Входные потоки пациентов характеризовались мощностью и структурой, которые задавались при моделировании старшим медицинским командиром (начальником) в виде числовых значений (табл. 1).

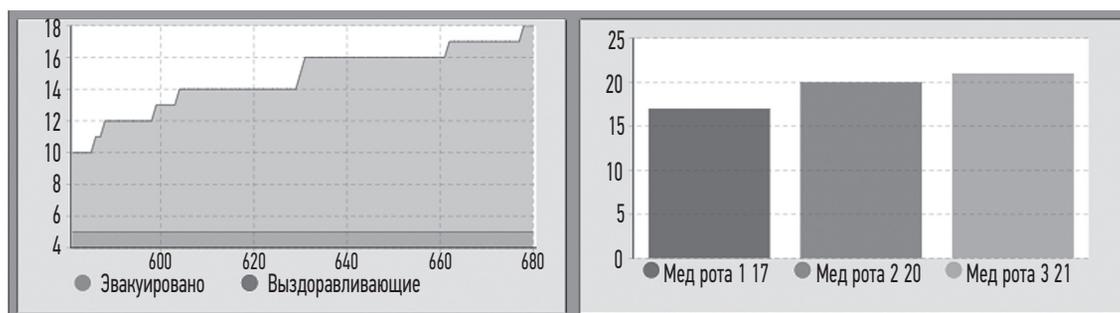
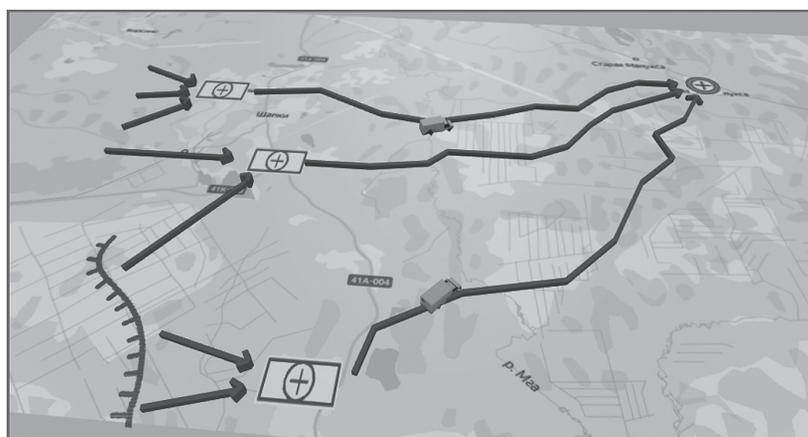
Характеристики потоков определялись видом планируемых боевых действий или рассмотрением вариантов их течения, возможностью корректирования вводных данных в ходе выполнения модели для достижения большей сходимости [1, 7]. Представленная модель может принимать различные вводные данные, определяющие интенсивность потоков раненых, а также распределение сил и средств медицинской службы, которые необходимы для обеспечения эффективного и сбалансированного проведения лечебно-диагностических мероприятий на различных этапах эвакуации.

Представленная имитационная модель дает возможность выводить информацию о нагрузке на отдельные этапы эвакуации (рис. 2), что позволяет оперативно оценить общую нагрузку на направление и принять высокоэффективное решение о переброске сил и средств

медицинской службы в более нагруженный участок эвакуационного направления [11–13].

Представленные выше диаграммы позволяют оценить статистические данные, получаемые в ходе выполнения модели, путем математического анализа нагрузки на подразделение этапов эвакуации. Полученные данные дают возможность медицинскому специалисту органа управления выбрать такой вариант распределения сил и средств медицинской службы, при котором показатели будут находиться в пределах так называемых «нормальных» значений [3, 13].

Дискретно событийное моделирование позволяет создать алгоритм, связывающий этапы эвакуации, и прогнозировать нагрузку и интенсивность потока через их взаимодействие. Появляется возможность оценить эффективность медицинского транспорта для перемещения раненых в развернутый отдельный медицинский отряд для дальнейшего оказания помощи (рис. 3). При построении маршрутов перемещения транспорта модель может учитывать особенности местности благодаря привязыванию моделируемых объектов к топографическим данным.

**Рис. 2.** Примеры выводимой статистической информации**Рис. 3.** Движение транспорта между этапами на карте местности

Происходит расчет оптимального пути движения от одного этапа к другому с учетом сведений о существующих маршрутах на данной местности и характеристиках транспорта, вводимых при старте модели [9, 11].

Программа позволяет создать удобный интерфейс взаимодействия с моделью (рис. 4), на котором в реальном времени ее выполнения есть возможность менять исходные данные и корректировать тем самым работу всего эвакуационного направления, исключая «узкие места» при их выявлении.

Созданный интерфейс одновременно представляет визуальные данные о деятельности этапов эвакуации в режиме реального времени и дает возможность наблюдать порядок взаимодействия между ними. Информация о выбранных параметрах выводится в виде различных графиков и диаграмм. Стоит отметить, что тут же присутствует блок взаимодействия с моделируемой средой, с помощью которого можно изменять входные данные непосредственно в ходе выполнения модели. Способность менять интенсивность играет важную роль в обеспечении «сходимости» моделируемой среды, так как в реалиях боевых действий нагрузка на этапы эвакуации и оказания помощи не будет равномерной. Начальник медицинской службы может динамически изменять количество транспорта, используемого для перемещения раненых с одного этапа на другой, тем самым определяя оптимальное количество техники для удовлетворения потребностей этапов [12, 14, 15].

Решающую роль в организации работы подразделений эвакуационного направления играют оперативность принятия решений и его эффективность. Используемое программное обеспечение оптимизирует процесс распределения сил и средств медицинской службы для исключения узких мест на этапах медицинской эвакуации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построена динамически изменяемая модель, созданная на базе средств дискретно-событийного

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Имитационное моделирование на языке GPSS / сост. А.А. Алтаев. Улан-Удэ: Изд-во ВСГТУ, 2016. 122 с.
2. Маторин С.И. Имитационное моделирование с использованием системно-объектного подхода. М.: Синергия, 2015. 36 с.
3. Боев В.Д. Имитационное моделирование систем: учеб. пособие для прикладного бакалавриата. М.: Юрайт, 2017. 253 с.
4. Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем / под ред. и с послесл. Н.П. Бусленко. М.: Наука, 1977. 238 с.
5. Булыгина О.В., Емельянов А.А., Емельянова Н.З. Имитационное моделирование в экономике и управлении: Учебник. М.: Инфра-М, 2017. 447 с.
6. Девятков В.В., Власов С.А., Девятков Т.В. Универсальная моделирующая среда для разработки имитационных приложе-



Рис. 4. Интерфейс взаимодействия с моделью

моделирования программы AnyLogic, которая позволяет спрогнозировать деятельность плеча эвакуации в условиях динамически изменяемого потока пациентов для повышения качества принимаемых решений путем расчета и прогнозирования вероятных нагрузок на различные этапы эвакуации раненых.

Внедрение имитационного моделирования в деятельность медицинской службы ВС РФ даст возможность оперативно управлять качеством проведения лечебно-эвакуационных мероприятий на всем эвакуационном направлении.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» (протокол № 39 от 19 марта 2021 г.).

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

ний // Информационные технологии и вычислительные системы. 2009. № 2. С. 5–12.

7. Белевитин А.Б., Шелепов А.М., Савченко И.Ф. Моделирование организации медицинского обеспечения // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2013. № 1. С. 172–177.

8. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2016. 363 с.

9. Болгарев Д.В. Возможности применения моделирования процессов в организации лечебно-эвакуационного обеспечения // Известия Российской военно-медицинской академии. 2019. № 1 (S1). С. 56–58.

10. Павловский Ю.Н., Белотелов Н.В., Бродский Ю.И. Имитационное моделирование: Учебное пособие для студентов высших

учебных заведений, обучающихся по специальностям направления подготовки «Прикладная математика и информатика». М.: Академия, 2008. 234 с.

11. Бахвалов Л.А. Компьютерное моделирование: долгий путь к сияющим вершинам // *Компьютерра*. 1997. Т. 217, № 40. С. 26–36.

12. Фисун А.Я., Лемешкин Р.Н., Борисов Д.Н., и др. Информационно-аналитическая поддержка лечебно-эвакуационного обеспечения с помощью средств информатизации медицинской службы Вооруженных сил Российской Федерации // *Приоритетные направления развития Всероссийской службы медицины катастроф в современных условиях. Материалы Всероссийской научно-практической конференции*. 2019. С. 72–73.

REFERENCES

1. Altayev AA, comp. *Simulation modeling in the GPSS language*. Ulan-Ude: VSGTU Publishing House; 2016. (In Russ.)
2. Matorin SI. *Simulation modeling using a system-object approach*. Moscow: Synergiya Publisher; 2015. (In Russ.)
3. Boyev VD. *Simulation of systems: textbook manual for applied bachelor's degree*. Moscow: Yurayt Publisher; 2017. (In Russ.)
4. Buslenko VN. *Automation of simulation modeling of complex systems*. Buslenko NP, ed. Moscow: Nauka Publisher; 1977. (In Russ.)
5. Bulygina OV, Emelyanov AA, Emelyanova NZ. *Imitational modeling in economics and management: Textbook*. Moscow: Infra-M Publisher; 2017. (In Russ.)
6. Devyatkov VV, Vlasov SA, Devyatkov TV. Universal modeling environment for the development of simulation applications. *Information technologies and computing systems*. 2009;(2):5–12. (In Russ.)
7. Belevitin AB, Shelepov AM, Savchenko IF. Modeling of the organization of medical support. *Vestnik Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akadtmii*. 2013;(1):172–177. (In Russ.)
8. Aliev TI. *Fundamentals of modeling discrete systems*. Saint Petersburg: Saint Petersburg State University ITMO Publishing House; 2016. (In Russ.)
9. Bolgarev DV. Possibilities of application of modeling of processes in the organization of medical and evacuation support. *Izvestia of the Russian Military Medical Academy*. 2019;1(S1):56–58. (In Russ.)
10. Pavlovsky YN, Belotelov NV, Brodsky YI. *Simulation modeling: Textbook for students of higher educational institutions studying*

13. Андреев В.В., Виттих В.А., Батищев С.В. Методы и средства создания открытых мультиагентных систем для поддержки процессов принятия решений // *Известия РАН. Теория и системы управления*. 2013. № 1. С. 126–137.

14. Болгарев Д.В., Сивашченко П.П., Волкова Я.Я., Бабин Ю.М. Возможности имитационного моделирования полевой медицинской организации // *Известия Российской военно-медицинской академии*. 2020. № 2 (S1). С. 31–32.

15. Кушнирчук И.И., Болгарев Д.В., Нореика Д.В. Современные информационные технологии как инструмент моделирования организации массового оказания медицинской помощи // *Кооперация науки и общества: проблемы и перспективы. Сборник статей по итогам международной научно-практической конференции*. 2020. С. 11–3.

in the specialties of the direction of training "Applied Mathematics and Informatics". Moscow: Akademiya Publisher; 2008. (In Russ.)

11. Bakhvalov LA. Computer modeling: A long way to shining peaks. *Computerra*. 1997;217(40):26–36. (In Russ.)

12. Fisun AY, Lemeshkin RN, Borisov DN, et al. Information and analytical support of medical evacuation support with the help of informatization tools of the medical service of the armed forces of the Russian Federation. *Prioritetnyye napravleniya razvitiya vserossiyskoy sluzhby meditsiny katastrof v sovremennykh usloviyakh* (Priority directions of development of the All-Russian service of disaster medicine in modern conditions). Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference. 2019. P: 72–73. (In Russ.)

13. Andreev VV, Vittikh VA, Batishchev SV. Methods and means of creating open multi-agent systems to support decision-making processes. *Izvestiya RAS. Theory and control systems*. 2013;(1): 126–137. (In Russ.)

14. Bolgarev DV, Sivashchenko PP, Volkova YY, Babin YM. Possibilities of simulation modeling of a field medical organization. *Izvestia of the Russian Military Medical Academy*. 2020;2(S1):31–32. (In Russ.)

15. Kushnirchuk II, Bolgarev DV, Noreyka DV. Modern information technologies as a tool for modeling the organization of mass medical care provision. *Kooperatsiya nauki i obshchestva: problemy i perspektivy* (Cooperation of science and society: problems and prospects). Collection of articles on the results of the international scientific and practical conference. 2020. P: 11–13. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Дмитрий Вадимович Болгарев**, курсант;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6;
eLibrary SPIN: 6743-8475; e-mail: dima.bolgarev.99@mail.ru

Дмитрий Николаевич Борисов, канд. мед. наук, доцент;
eLibrary SPIN: 3100-5127; e-mail: vmeda@yandex.ru

AUTHORS INFO

***Dmitriy V. Bolgarev**, cadet;
address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
eLibrary SPIN: 6743-8475; e-mail: dima.bolgarev.99@mail.ru

Dmitriy N. Borisov, MD, PhD (Medicine), Associate Professor;
eLibrary SPIN: 3100-5127; e-mail: vmeda@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64485>

Об особенностях мультифасциального строения предбрюшинного пространства в клиническом и анатомическом аспектах

© Ю.А. Бойцова*, Н.Ф. Фомин, В.В. Шведюк

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Цель: изучить особенности фасциального строения брюшной стенки применительно к топографо-анатомическому обоснованию приемов превентивного эндопротезирования в комплексе хирургических мероприятий, направленных на профилактику развития послеоперационных вентральных грыж у пациентов, входящих в группу риска.

Материалы и методы. Мета-анализ данных литературы выполнен для определения эффективности превентивного эндопротезирования для профилактики образования вентральных грыж. На препаратах брюшной стенки проведено прикладное топографо-анатомическое исследование для обоснования наиболее перспективных уровней расположения сетчатого эндопротеза.

Результаты. Мета-анализ научной литературы за последние 10 лет показал, что выполнение превентивного эндопротезирования передней брюшной стенки с установкой сетчатого имплантата в предбрюшинное пространство при плановых лапаротомиях приводит к достоверному снижению частоты формирования послеоперационных грыж. По результатам исследования определено, что превентивная установка имплантата не влияет на количество случаев инфекционных осложнений и послеоперационных сером. Прецизионными топографо-анатомическими исследованиями установлено, что предбрюшинная фасция представлена двумя тонкими листками. Ниже *linea arcuata* предбрюшинная фасция выражена отчетливо, однако ближе к срединной линии оба ее листка истончаются. Выше *linea arcuata* дифференцировать ее от поперечной фасции и от брюшины весьма затруднительно. В латеральных отделах передней брюшной стенки межфасциальные клетчаточные пространства хорошо выражены. Установлено, что предбрюшинная фасция является непосредственным продолжением забрюшинной фасции в передних отделах брюшной стенки, где она тесно связана с брюшиной.

Заключение. Превентивное эндопротезирование передней брюшной стенки с установкой сетчатого имплантата в предбрюшинном пространстве является эффективным и безопасным методом хирургической профилактики образования послеоперационных грыж. Передняя брюшная стенка характеризуется сложным мультифасциальным строением. Между поперечной фасцией и брюшиной расположена предбрюшинная фасция, представленная двумя листками и наиболее выраженная в латеральных отделах брюшной стенки. Ее продолжением, вероятно, является забрюшинная фасция (5 рис., 2 табл., библи.: 8 ист.).

Ключевые слова: мета-анализ; послеоперационные грыжи; превентивное эндопротезирование; предбрюшинная фасция; фасция Герота.

Как цитировать:

Бойцова Ю.А., Фомин Н.Ф., Шведюк В.В. Об особенностях мультифасциального строения предбрюшинного пространства в клиническом и анатомическом аспектах // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 65–70. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64485>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64485>

On the features of the preperitoneal space multifascial structure in clinical and anatomical issues

© Yuliya A. Boytsova*, Nikolay F. Fomin, Viktor V. Shvedyuk

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

AIM: to determine the prospects for the preventive endoprosthetics of the abdominal wall at preventing the development of postoperative ventral hernias.

MATERIALS AND METHODS: A meta-analysis of the literature data performed to determine the effectiveness of preventive endoprosthetics for the prevention of ventral hernia formation. Topographical study has been conducted to explore the most promising levels of the mesh location.

RESULTS: During the meta-analysis it has been found that performing preventive endoprosthesis of the anterior abdominal wall in the preperitoneal space reduces the frequency of ventral hernias. There were no significant differences in the frequency of infectious complications and serom in the experimental and control groups according to studied publications. During the preparation it has been distinguished that between the transverse fascia and the peritoneum there is a preperitoneal fascia consisting of two leaves, which is most manifest in the lateral parts. In the umbilical region above *linea arcuata* the preperitoneal fascia is thinned and represented by separate fibers that are difficult to differentiate as a structure between the transverse fascia and the peritoneum. In the lateral parts of the abdominal wall, the preperitoneal fascia is well expressed. It has been distinguished that the retroperitoneal fascia, formed by the junction of two sheets of the Gerot fascia continues into the fascia between the transverse fascia and the peritoneum.

CONCLUSION: Preventive endoprosthesis of the anterior abdominal wall is an effective and safe method of preventing the formation of postoperative ventral hernias. The anterior abdominal wall is characterized by a complex multifascial structure, which is of fundamental importance for various types of surgery. Between the transverse fascia and the peritoneum there is preperitoneal fascia which is represented by two leaflets. It's continuation is the retroperitoneal fascia (5 figures, 2 tables, bibliography: 8 refs).

Keywords: Gerota fascia; meta-analysis; postoperative hernias; preperitoneal fascia; preventive endoprosthesis.

To cite this article:

Boytsova YuA, Fomin NF, Shvedyuk VV. On the features of the preperitoneal space multifascial structure in clinical and anatomical issues. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):65–70. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64485>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Профилактика и лечение послеоперационных грыж являются актуальными проблемами современной хирургии. После лапаротомии частота послеоперационных грыж составляет от 5 до 20 %, а у пациентов высокой категории риска — свыше 30 %. Превентивное эндопротезирование является перспективной методикой профилактики возникновения послеоперационных грыж [1]. Первое сообщение о применении превентивного эндопротезирования передней брюшной стенки появилось в 1979 г. [2]. В настоящее время данная методика приобретает распространение по всему миру. В отношении нее существует ряд нерешенных проблем, таких как определение четких показаний и противопоказаний, безопасность методики в аспекте частоты развития инфекционных осложнений, выбор материала сетчатого экспланта, выбор слоя в передней брюшной стенке для установки сетки. Любое оперативное вмешательство должно быть подкреплено четким топографо-анатомическим обоснованием. Мультифасциальное строение передней брюшной стенки на разных уровнях является одним из наименее изученных вопросов прикладной анатомии и герниологии. Исследование строения фасциального аппарата и межфасциальных клетчаточных пространств играет важную роль в топографо-анатомическом обосновании возможных уровней размещения сетчатого эндопротеза и техники выполнения данных оперативных вмешательств. В настоящее время востребованным направлением прикладных анатомических исследований является изучение особенностей строения предбрюшинного клетчаточного пространства для описания строения и топографии предбрюшинной фасции. Изучением данной проблемы занимались классики топографической анатомии: D. Gerota, J. Malgaine, A. Таренецкий [3]. Японскими герниологами M. Ohuchi и Y. Nagahisa при лапароскопических диссекциях

тканей установлено, что предбрюшинная фасция состоит из двух листов [4, 5].

Анализ результатов эндовидеохирургического лечения паховых грыж показывает, что сетчатый имплантат для снижения травматизации брюшины целесообразно устанавливать между дополнительным фасциальным листком предбрюшинной фасции и поперечной фасцией [3]. Вместе с тем отсутствие единых представлений об архитектонике фасциального аппарата предбрюшинного слоя препятствует топографо-анатомическим и экспериментальным обоснованиям методов установки сетчатого эндопротеза и внедрению данного вида малоинвазивных хирургических технологий в ежедневную клиническую практику.

В связи с изложенным побудительным мотивом нашего исследования явилась оценка возможностей превентивного эндопротезирования с учетом особенностей фасциального аппарата брюшной стенки.

Цель — изучить особенности фасциального строения брюшной стенки применительно к топографо-анатомическому обоснованию приемов превентивного эндопротезирования в комплексе хирургических мероприятий, направленных на профилактику развития послеоперационных вентральных грыж у пациентов, входящих в группу риска.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Мета-анализ данных литературы выполнен для определения эффективности превентивного эндопротезирования для профилактики образования вентральных грыж. Прикладное топографо-анатомическое исследование проведено для обоснования наиболее перспективных уровней расположения сетчатого эндопротеза.

На первом этапе исследования проведен мета-анализ литературных данных. В табл. 1 представлена характеристика исследований, включенных в мета-анализ [6–8].

Таблица 1. Характеристика исследований, включенных в мета-анализ

| Автор, год, страна | Область хирургии | Число пациентов | | Доступ | Уровень установки сетки | Материал сетки | Грыжеобразование | | Время наблюдения (мес.) | Метод диагностики грыжи |
|--------------------------|------------------|-----------------|-----------|-----------------------|-------------------------|----------------|------------------|-----------|-------------------------|------------------------------|
| | | с сеткой | без сетки | | | | с сеткой | без сетки | | |
| El-Khadawy, 2009, Египет | Бариатрия | 20 | 20 | Срединная лапаротомия | Предбрюшинно | Полипропилен | 1 | 3 | 36 | УЗИ |
| Bevis, 2010, Англия | Ангиохирургия | 37 | 43 | Срединная лапаротомия | Предбрюшинно | Полипропилен | 5 | 16 | 36 | Физикальное обследование/УЗИ |
| Abo-Ryia, 2013, Египет | Бариатрия | 32 | 32 | Срединная лапаротомия | Предбрюшинно | Полипропилен | 1 | 9 | 24 | Физикальное обследование/УЗИ |

Таблица 2. Осложнения хирургических вмешательств

| Исследование | Инфекционные осложнения | | Серомы | | Хронический болевой синдром | |
|---------------------------|-------------------------|-----------|----------|-----------|-----------------------------|-----------|
| | с сеткой | без сетки | с сеткой | без сетки | с сеткой | без сетки |
| El-Khardawy, 2009, Египет | 2 | 4 | 4 | 3 | 3 | 0 |
| Bevis, 2010, Англия | 2 | 2 | 2 | 0 | – | – |
| Abo-Ryia, 2013, Египет | 5 | 5 | 6 | 5 | – | – |

В анализ включены сведения о результатах лечения 184 больных. Из них 89 пациентам выполнено превентивное эндопротезирование полипропиленовым эксплантом по срединной линии в предбрюшинном слое передней брюшной стенки, 95 пациентам — классическое ушивание лапаротомной раны. Основными факторами риска развития послеоперационных вентральных грыж являлись наличие ожирения и аневризмы брюшного отдела аорты. Диагностика послеоперационных грыж осуществлялась при помощи физикального обследования и ультразвукового сканирования мягких тканей. В двух исследованиях пациентов наблюдали в течение 3 лет, в одном исследовании — на протяжении 2 лет. Осложнения хирургических вмешательств представлены в табл. 2. Наиболее часто в послеоперационном периоде определялись воспалительные явления в области послеоперационной раны. Данные о частоте развития хронического болевого синдрома представлены только в исследовании, выполненном El-Khardawy (2009), который зарегистрировал 3 случая с болевым синдромом у пациентов после превентивной установки сетчатого имплантата. В контрольной группе (без превентивной установки сетчатого имплантата) ни у одного пациента хронического болевого синдрома не выявлено. Мета-анализ нами выполнялся в программе ReviewManager 5.4.

На топографо-анатомическом этапе выполнено прикладное исследование на трупном материале для изучения особенностей фасциального строения передней брюшной стенки. Выполнена прецизионная препаровка переднего и латерального отделов брюшной стенки с целью идентификации фасциальных листов и клетчаточных пространств между париетальной брюшиной и поперечной фасцией на трупе мужского пола нормо-

стенического телосложения с поэтапной фотофиксацией. Детали строения и топографии предбрюшинного фасциального аппарата изучены на пластированных гистотопограммах поперечных срезов тела человека, выполненных на разных уровнях области живота.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Мета-анализ данных научной литературы свидетельствует об эффективности превентивного эндопротезирования передней брюшной стенки для профилактики послеоперационных вентральных грыж (рис. 1).

При сравнении частоты возникновения инфекционных осложнений в сравниваемых группах достоверных различий не выявлено. Итоговый ответ мета-анализа совпадал с референсным значением (рис. 2).

Достоверных различий в частоте возникновения сером в сравниваемых группах также не отмечалось (рис. 3).

По результатам топографо-анатомического исследования установлено, что предбрюшинная фасция, расположенная между париетальной брюшиной и *fascia endoabdominalis*, представлена двумя тонкими листками (рис. 4). Внутренний листок плотно сращен с брюшиной во всех отделах брюшной стенки, особенно ближе к срединной линии. Ниже *linea arcuata* предбрюшинная фасция выражена отчетливо, однако ближе к срединной линии она истончена. Выше *linea arcuata* дифференцировать ее от поперечной фасции и от брюшины затруднительно. В латеральных отделах передней брюшной стенки межфасциальные клетчаточные пространства дифференцируются отчетливо.

В дальнейшем в ходе препаровки установлено, что забрюшинная фасция образована соединением двух листков

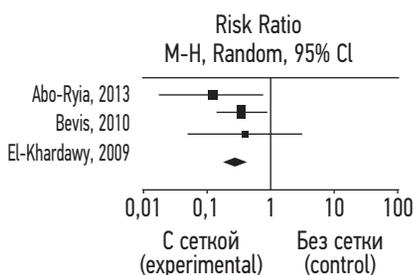


Рис. 1. Результаты мета-анализа эффективности превентивного эндопротезирования передней брюшной стенки

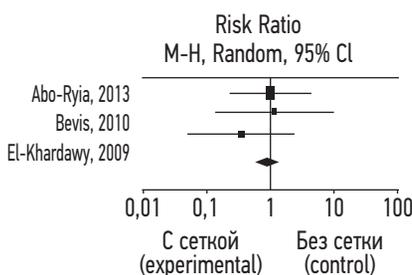


Рис. 2. Результаты мета-анализа частоты возникновения инфекционных осложнений

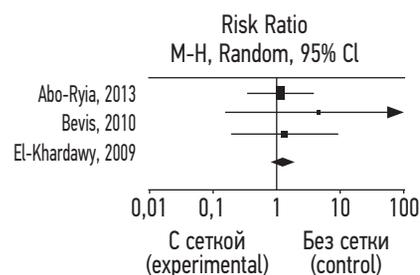


Рис. 3. Результаты мета-анализа частоты возникновения сером

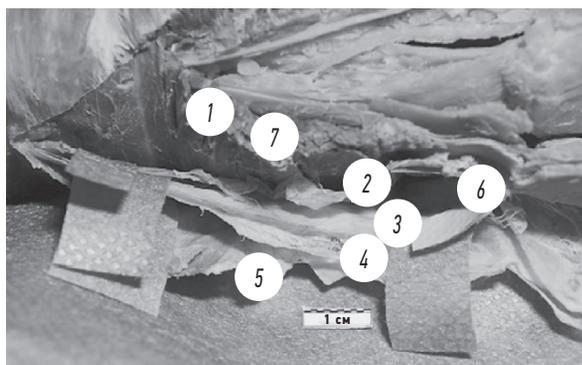


Рис. 4. Фотография анатомического препарата передней брюшной стенки на 1,5 см ниже *linea arcuata* (вид со стороны брюшной полости): 1 — прямая мышца живота; 2 — поперечная фасция; 3 — наружный листок предбрюшинной фасции; 4 — внутренний листок предбрюшинной фасции; 5 — брюшина; 6 — Спигелиева линия; 7 — нижние эпигастральные сосуды

фасции Герота, а по направлению кпереди она располагается в слое между поперечной фасцией и брюшиной, т. е. ее непосредственным продолжением в передних отделах брюшной стенки является предбрюшинная фасция. Данное предположение подтверждено в ходе прицельного изучения особенностей топографической анатомии на прозрачных пластированных срезах человеческого тела (рис. 5). Исследованы ход листков фасции Герота и их взаимоотношение со слоями передней брюшной стенки. Установлено, что забрюшинная фасция начинается не от брюшины, а тесно прилежит к ней и является при этом самостоятельным фасциальным листком, направляющимся к передней брюшной стенке. На препаратах, выполненных путем сложной технологии пластикации среза эпоксидной смолой, некоторые «тонкие» анатомические структуры не могут быть визуализированы. При изучении данных гистотопограмм не удалось достоверно проследить продолжение забрюшинной фасции в предбрюшинную фасцию и далее в фасциально-апоневротический аппарат передней брюшной стенки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Превентивное эндопротезирование передней брюшной стенки является эффективным и безопасным

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Muysoms F.E., Detry O., Vierendeels T., et al. Prevention of Incisional Hernias by Prophylactic Mesh-augmented Reinforcement of Midline Laparotomies for Abdominal Aortic Aneurysm Treatment: A Randomized Controlled Trial // *Ann. Surg.* 2016. Vol. 263, No. 4. P. 638–645. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001369
2. Godquin B. Une technique sûre de réparation des éventrations abdominales post-opératoires: plastie aponevrotique associée à une prothèse. A propos de 38 observations // *Chirurgie.* 1979. Vol. 105, No. 9. P. 721–724.

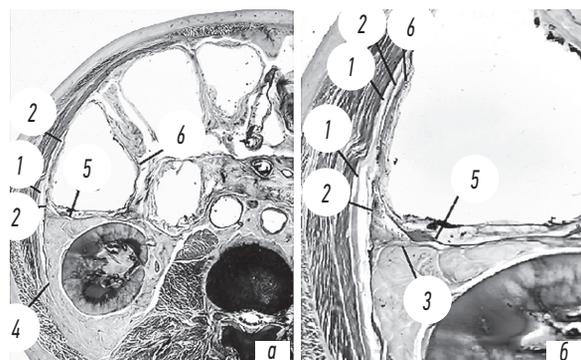


Рис. 5. Фасциальные структуры забрюшинного пространства: а — общий вид поперечного распила брюшной стенки; б — прицельное увеличение. 1 — поперечная фасция; 2 — забрюшинная фасция; 3 — предпочечная фасция; 4 — позадипочечная фасция; 5 — позадибодочная фасция; 6 — брюшина

методом профилактики образования послеоперационных вентральных грыж. Передняя брюшная стенка отличается сложным мультифасциальным строением, что имеет принципиальное значение для различных видов пластик. Между поперечной фасцией и брюшиной расположена предбрюшинная фасция, представленная двумя листками. Наиболее хорошо предбрюшинная фасция выражена в латеральных отделах брюшной стенки. Возможно, она является продолжением забрюшинной фасции.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова».

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

3. Ромащенко П.Н., Фомин Н.Ф., Майстренко Н.А., и др. Топографо-анатомическое и клиническое обоснование тотальной экстраперитонеальной паховой герниопластики // *Эндоскопическая хирургия.* 2020. Т. 26, № 5. С. 16–23. DOI: 10.17116/endoskop20202605116
4. Nagahisa Y., Homma S., Chen K., et al. Feasibility of a new approach for creating a preperitoneal space in transabdominal preperitoneal repair inguinal hernia repair: using a sandwich approach // *Surg Today.* 2017. Vol. 47, No. 5. P. 595–600. DOI: 10.1007/s00595-016-1435-0

5. Ohuchi M., Fukunaga M., Nagakari K., et al. Surgical technique and outcomes of transabdominal preperitoneal inguinal hernia repair after radical prostatectomy: dissection between the transversalis fascia and superficial layers of preperitoneal fascia // *Hernia*. 2019. Vol. 23, No. 1. P. 167–174. DOI: 10.1007/s10029-018-1800-6
6. Abo-Ryia M.H., El-Khadrawy O.H., Abd-Allah H.S. Prophylactic preperitoneal mesh placement in open bariatric surgery: a guard against incisional hernia development // *Obes. Surg.* 2013. Vol. 23, No. 10. P. 1571–1574. DOI: 10.1007/s1169501309151

7. Bevis P.M., Windhaber R.A.J., Lear P.A., et al. Randomized clinical trial of mesh versus sutures wound closure after open abdominal aortic aneurism surgery // *Br. J. Surg.* 2010. Vol. 97, No. 10. P. 1497–1502. DOI: 10.1002/bjs.7137
8. El-Khadrawy O.H., Moussa G., Mansour O., Hashish M.S. Prophylactic prosthetic reinforcement of midline abdominal incisions in high-risk patients // *Hernia*. 2009. Vol. 13, No. 3. P. 267–274. DOI: 10.1007/s10029-009-0484-3

REFERENCES

1. Muysoms FE, Detry O, Vierendeels T, et al. Prevention of Incisional Hernias by Prophylactic Mesh-augmented Reinforcement of Midline Laparotomies for Abdominal Aortic Aneurysm Treatment: A Randomized Controlled Trial. *Ann Surg.* 2016;263(4):638–645. DOI: 10.1097/SLA.0000000000001369
2. Godquin B. Une technique sure de reparation des eventrations abdominales post-operatoires: plastie aponevrotique associee a une prothese. A propos de 38 observations. *Chirurgie.* 1979;105(9):721–724.
3. Romashchenko PN, Fomin NF, Maistrenko NA, et al. The topographical, anatomical and clinical substantiation of total extraperitoneal inguinal hernioplasty. *Endoscopic Surgery.* 2020;26(5):16–23. (In Russ.) DOI: 10.17116/endoskop20202605116
4. Nagahisa Y, Homma S, Chen K, et al. Feasibility of a new approach for creating a preperitoneal space in transabdominal preperitoneal repair inguinal hernia repair: using a sandwich approach. *Surg Today.* 2017;47(5):595–600. DOI: 10.1007/s00595-016-1435-0
5. Ohuchi M, Fukunaga M, Nagakari K, et al. Surgical technique and outcomes of transabdominal preperitoneal inguinal hernia repair after radical prostatectomy: dissection between the transversalis fascia and superficial layers of preperitoneal fascia. *Hernia.* 2019;23(1):167–174. DOI: 10.1007/s10029-018-1800-6
6. Abo-Ryia MH, El-Khadrawy OH, Abd-Allah HS. Prophylactic preperitoneal mesh placement in open bariatric surgery: a guard against incisional hernia development. *Obes Surg.* 2013;23(10):1571–1574. DOI: 10.1007/s11695-013-0915-1
7. Bevis PM, Windhaber RAJ, Lear PA, et al. Randomized clinical trial of mesh versus sutures wound closure after open abdominal aortic aneurism surgery. *Br J Surg.* 2010;97(10):1497–1502. DOI: 10.1002/bjs.7137
8. El-Khadrawy OH, Moussa G, Mansour O, Hashish MS. Prophylactic prosthetic reinforcement of midline abdominal incisions in high-risk patients. *Hernia.* 2009;13(3):267–274. DOI: 10.1007/s10029-009-0484-3

ОБ АВТОРАХ

***Бойцова Юлия Александровна**, курсант 6-го курса;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; eLibrary SPIN: 2869-2940;
e-mail: julikapril@gmail.com

Фомин Николай Федорович, докт. мед. наук, профессор;
eLibrary SPIN: 7713-2412

Шведюк Виктор Владимирович, канд. мед. наук;
eLibrary SPIN: 3645-7526

AUTHORS INFO

***Yuliya A. Boytsova**, 6th year cadet; address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
eLibrary SPIN: eLibrary SPIN: 2869-2940;
e-mail: julikapril@gmail.com

Nikolay F. Fomin, MD, DSc (Medicine), Professor;
eLibrary SPIN: 7713-2412

Viktor V. Shvedyuk, MD, DSc (Medicine);
eLibrary SPIN: 3645-7526

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64488>

Совершенствование хирургического лечения пациентов с посттравматической заднелатеральной нестабильностью коленного сустава

© М.С. Тюрюпов*, И.В. Гайворонский, А.Л. Кудяшев, И.С. Базаров

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Одной из наиболее актуальных и сложных проблем современной ортопедии является лечение пострадавших с мультилигаментарной травмой коленного сустава. Наиболее сложной является категория пациентов, у которых наряду с разрывом одной или обеих крестообразных связок имеет место повреждение связочно-сухожильного комплекса, обеспечивающего заднелатеральную стабильность коленного сустава. В состав этих структур, получивших в специализированной научной литературе название заднелатеральный угол коленного сустава, принято включать малоберцовую коллатеральную связку, сухожилие подколенной мышцы и малоберцово-подколенную связку. Объективные трудности в реконструкции этих элементов объясняются сложностью их анатомии и биомеханики, полиморфизмом повреждений, близостью общего малоберцового нерва, а также недостатками имеющихся способов пластики и отсутствием общепринятой хирургической тактики. Отсутствие прикладных прецизионных сведений о строении малоберцовой коллатеральной связки и рассматриваемом связочно-сухожильном комплексе, которые позволили бы обосновать рациональную хирургическую тактику лечения пациентов с варусной нестабильностью коленного сустава, а также большое количество неудовлетворительных результатов их хирургического лечения, обусловили актуальность тематики выбранной работы (2 рис., библи.: 17 ист.).

Ключевые слова: заднелатеральный угол коленного сустава; малоберцовая коллатеральная связка; мультилигаментарная травма коленного сустава; топографо-анатомические исследования.

Как цитировать:

Тюрюпов М.С., Гайворонский И.В., Кудяшев А.Л., Базаров И.С. Совершенствование хирургического лечения пациентов с посттравматической заднелатеральной нестабильностью коленного сустава // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 71–78. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64488>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64488>

Improvement of surgical treatment of patients with posttraumatic posterior-lateral instability of the knee joint

© Mark S. Tyuryupov*, Ivan V. Gaivoronsky, Aleksey L. Kudyashev, Ivan S. Bazarov

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

One of the most pressing and complex problems of modern orthopedics is the treatment of patients with multiligamentary knee injury. The most difficult category of patients is considered, in whom, along with rupture of one or both cruciate ligaments, damage to the ligamentous-tendon complex, which provides posterolateral stability of the knee joint, occurs. These structures, which have received the name posterolateral angle of the knee joint in the specialized scientific literature, usually include the peroneal collateral ligament, the hamstring of the popliteal muscle and the peroneal-popliteal ligament. Objective difficulties in the reconstruction of these elements are explained by the complexity of the anatomy and biomechanics of these anatomical structures, the polymorphism of their injuries, the proximity of the common peroneal nerve, as well as the shortcomings of the available plastic methods and the lack of generally accepted surgical tactics. Lack of applied precision data on the structure of the peroneal collateral ligament and the ligamentous-tendinous complex, called the postero-lateral angle of the knee joint in the specialized literature, analyzed from the standpoint of substantiating rational surgical tactics for treating patients with varus instability in combination with a large number of unsatisfactory results of their surgical treatment, determined the relevance of the topic of the chosen work (2 figures, bibliography: 17 refs).

Keywords: multiligamentary injury of the knee joint; peroneal collateral ligament; postero-lateral angle of the knee joint; topographic anatomical studies.

To cite this article:

Tyuryupov MS, Gaivoronsky IV, Kudyashev AL, Bazarov IS. Improvement of surgical treatment of patients with posttraumatic posterior-lateral instability of the knee joint. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):71–78. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64488>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Основными структурами заднелатерального угла (ЗЛУ) коленного сустава, обеспечивающими его варусную стабильность, являются малоберцовая коллатеральная связка (МБКС), сухожилие подколенной мышцы (СПкМ) и подколенно-малоберцовая связка (ПкМС) [1]. Считается, что МБКС является основным стабилизатором наружного раскрытия сустава [2, 3]. В исследовании S. Nielsen сообщалось об умеренной передне-латеральной нестабильности согнутого коленного сустава при пересечении МБКС и тотальной варусной нестабильности при разогнутом коленном суставе [4]. Также S. Nielsen и R. LaPrade в своих работах указывали о взаимном дополнении МБКС и СПкМ в препятствии внешней ротации, особенно при разогнутом коленном суставе [4, 5]. СПкМ в сочетании с другими структурами ЗЛУ играет важную роль в обеспечении заднелатеральной стабильности [2, 3, 6–8]. После секционирования СПкМ наблюдалось дополнительное увеличение наружной ротации, увеличение варусного отклонения и передней трансляции [7]. ПкМС отходит от мышечной части подколенной мышцы и состоит из меньшего переднего и большего заднего пучков. Передний пучок прикрепляется к медиальной поверхности шиловидного отростка малоберцовой кости, а задний пучок — к заднемедиальной поверхности шиловидного отростка малоберцовой кости. [5]. Многие авторы подвергают сомнению важность ПкМС в обеспечении стабильности коленного сустава. Однако есть исследования, убедительно доказывающие ее важную роль в обеспечении варусной устойчивости коленного сустава и препятствии наружной ротации голени [8, 9].

Современные подходы к реконструкции связок коленного сустава при его мультилигаментарной травме, сопровождающейся повреждением структур ЗЛУ, предполагают анатомичное восстановление всех его поврежденных элементов [2, 10–14]. При лечении повреждений коленного сустава используется большой арсенал современных методик [15–17]. В настоящее время наиболее популярна методика анатомической двухпучковой реконструкции МБКС, СПкМ и ПкМС, предложенная в 2004 г. R. LaPrade [3]. Однако на практике при хирургическом лечении пострадавших с травмами рассматриваемого типа зачастую ограничиваются лишь пластикой МБКС [3, 11, 13]. Так, по данным клиники Mayo, в 2004–2014 гг. при лечении пациентов с мультисвязочными повреждениями коленного сустава, сопровождающимися тотальными разрывами структур его ЗЛУ, реконструкцию всех поврежденных анатомических образований выполнили лишь в 17,1 % случаев, а у 75,5 % пострадавших

ограничились только пластикой МБКС [2]. Причиной выбора такой хирургической тактики являются технические сложности выполнения реконструкции всех поврежденных структур, обусловленные в том числе и особенностями их анатомического строения.

Цель — на основании изученных особенностей анатомического строения основных наружных стабилизаторов коленного сустава (МБКС, СПкМ и ПкМС) разработать способ их реконструкции и оценить его клиническую эффективность. Провести оценку результатов лечения пациентов с повреждением задненаружного связочно-сухожильного комплекса коленного сустава, прооперированных с применением двух различных методов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работу выполняли в 2 этапа. В ходе первого этапа (анатомического) изучили варианты строения, определили места прикрепления основных структур ЗЛУ, оценили роль исследуемых структур в обеспечении варусной стабильности коленного сустава. Исследовали безопасность, техническую возможность и эффективность предложенного метода хирургического восстановления ЗЛУ коленного сустава. В ходе клинического этапа исследования провели сравнительный анализ результатов лечения пациентов с мультилигаментарной травмой коленного сустава, которым выполнили полноценную анатомическую реконструкцию всех основных структур ЗЛУ коленного сустава и пострадавших, хирургическое лечение которых ограничивалось лишь пластикой МБКС.

Анатомическое исследование выполняли на кафедре нормальной анатомии Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова (ВМедА) на 68 нижних конечностях трупов людей (53 нефиксированных и 15 фиксированных). Все препараты были без признаков патологических изменений суставных поверхностей дегенеративного или диспластического характера, а также без повреждений основных и вспомогательных элементов коленного сустава. Первым этапом на 54 препаратах нижних конечностей (39 свежих и 15 фиксированных) исследовали анатомические характеристики МБКС, СПкМ и ПкМС коленного сустава.

На фиксированных и нефиксированных конечностях путем прецизионного препарирования определяли и протоколировали области прикрепления изучаемых структур к наружному мыщелку бедренной кости, к головке малоберцовой кости и к наружному мыщелку большеберцовой кости.

Второй этап топографо-анатомического исследования на 14 нижних конечностях 7 нефиксированных трупов разделили на три серии исследований.

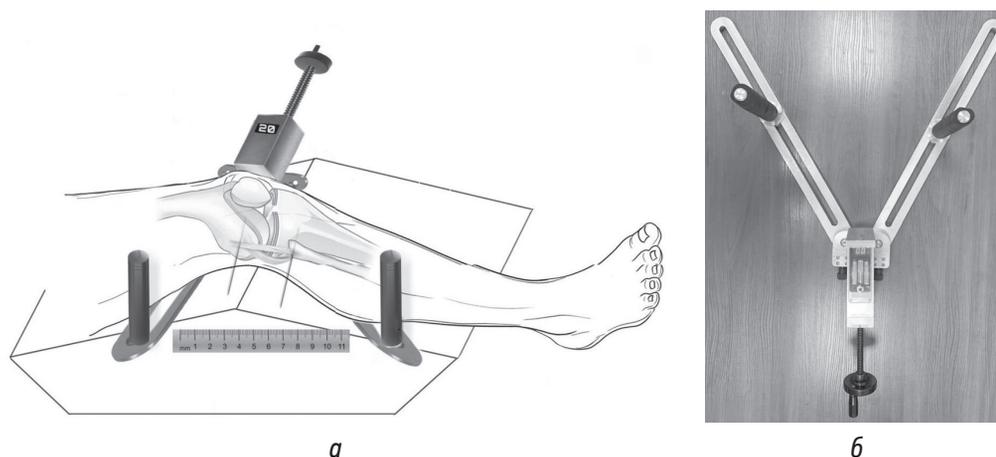


Рис. 1. Схема эксперимента (а) и внешний вид аппарата для исследования нестабильности коленного сустава (б)

В первой серии путем последовательного пересечения задней крестообразной связки, МбКС, СПкМ и ПкМС моделировали варусную нестабильность коленного сустава, используя для ее подтверждения оригинальное устройство (патент РФ на полезную модель № 197909 от 10.01.2020 г.) (рис. 1, а, б).

Во второй серии исследования на этих же конечностях выполняли анатомическую реконструкцию основных стабилизирующих структур ЗЛУ коленного сустава по разработанной в клинике военной травматологии и ортопедии методике (патент РФ на изобретение № 2735997 от 25.03.2020 г.). После окончания экспериментальной операции при помощи устройства для диагностики нестабильности коленного сустава выполняли функциональную рентгенографию, которая позволяла убедиться в достижении стабильности.

В третьей серии исследования измеряли кратчайшие расстояния от реконструированных МбКС и СПкМ до перечисленных анатомических образований в положении сгибания в коленном суставе до 90° (положение конечности на операционном столе).

Результаты топографо-анатомической части исследования вносили в разработанный протокол, а основные разделы — фотографировали

Устранение варусной нестабильности коленного сустава было подтверждено во всех восьми анатомических экспериментах путем выполнения функционального рентгенологического исследования, проводимого по разработанной методике.

В клиническую часть исследования включили 58 пациентов, находящихся на лечении в клинике военной травматологии и ортопедии ВМедА в период с 2007 по 2019 г., с повреждением ЗЛУ коленного сустава в сочетании с повреждением передней, задней или обеих крестообразных связок.

Критериями включения были повреждение структур ЗЛУ коленного сустава в сочетании с повреждением одной или обеих крестообразных связок, наличие варусной нестабильности коленного сустава II–III степени.

Критериями исключения являлись сопутствующие выраженные явления остеоартроза коленного сустава, наличие сочетанной травмы.

Из исследования было исключено 7 пострадавших: у 4 — не удалось отследить отдаленный результат, у одного пациента диагностировано наличие внутрисуставного перелома большеберцовой кости, у двоих пациентов интраоперационно диагностирована выраженная травматическая хондромалиция суставного хряща.

Возраст пациентов варьировал от 19 до 57 лет (в среднем $32,1 \pm 9,2$ года), все пострадавшие были мужчинами. 4 пациента из 51 (8 %) поступили в клинику военной травматологии и ортопедии с невправленным вывихом голени, потребовавшим неотложного оперативного пособия — закрытого ручного вправления вывиха с последующей иммобилизацией коленного сустава; у 20 пострадавших (39 %), поступивших в клинику по неотложным показаниям, имелся самостоятельно устраненный вывих голени; оставшиеся 27 пациентов (53 %) обращались в клинику для оперативного лечения в плановом порядке с застарелой травмой связок коленного сустава (давность травмы от 1 мес. до 3 лет, в среднем $14 \pm 8,2$ мес.).

У большинства больных травма была высокоэнергетической: 23 пациента (44 %) травму получили при боевой подготовке, 17 (34 %) — при физической подготовке, 4 (8 %) — в быту, 1 пострадавший получил травму в результате подрыва в бронетехнике. У 6 пациентов (12 %) повреждение было низкоэнергетическим — травма получена при подворачивании нижней конечности. У этих пострадавших индекс массы тела превышал 32 кг/м^2 .

В зависимости от избранного способа пластики МбКС пациенты были распределены на две группы. В основную группу включено 24 пострадавших (47 %). Им выполнена пластика основных структур ЗЛУ (МбКС, СПкМ и ПкМС) по разработанной в клинике военной травматологии и ортопедии ВМедА методике (патент РФ на изобретение № 2735997 от 25.03.2020 г.). В группу сравнения вошли 27 больных, которым была выполнена изолированная пластика МбКС.

Хирургическая техника. Предложенный способ реконструкции связочно-сухожильных структур ЗЛУ коленного сустава предусматривает применение ауто-трансплантата из сухожилия полусухожильной мышцы с фиксацией его на наружном надмыщелке бедренной кости, наружном мыщелке большеберцовой кости и головке малоберцовой кости.

Эту операцию дополняли пластикой передней (7 пациента), задней (3 больных), или обеих (14 пострадавших) крестообразных связок. При этом 12 пациентам (50 %) пластику этих связок выполнили симультантно с пластикой МБКС, а в 2 клинических случаях (8 %) первым этапом с реконструкцией МБКС выполнили пластику только задней крестообразной связки, а пластику передней осуществили отсрочено (от 3 до 9 мес. после первого этапа).

В группу наблюдения вошли 27 больных (53 %), которым при повреждении ЗЛУ выполнили пластику только МБКС ауто-трансплантатом из центральной трети связки надколенника.

Эту операцию дополняли пластикой передней (7 больных), задней (4 пациента) или обеих крестообразных связок (16 пострадавших). У 9 больных (33 %) пластику этих связок осуществили одновременно с реконструкцией МБКС. У 7 пациентов (26 %) реконструкцию МБКС выполнили одновременно с пластикой задней крестообразной связки, а пластику передней выполняли вторым этапом (в сроки от 3 до 9 мес. после первого этапа).

У 12 пациентов из 51 (7 — в основной и 5 — в контрольной группе) диагностирована невропатия общего малоберцового нерва, при этом у троих больных неврологический дефицит купировался самостоятельно в течение 6–8 нед после травмы, а у остальных потребовал хирургического лечения.

Всем пострадавшим с повреждением ЗЛУ клиническое обследование дополняли рентгенографией

коленного сустава в стандартных проекциях, прямой рентгенографией с опорной нагрузкой, функциональной рентгенографией при сгибании под углом 150°, а также магнитно-резонансной томографией коленного сустава. Пациентам основной выборки функциональную рентгенологическую оценку вида и степени выраженности его варусной нестабильности выполняли по предложенной методике с применением разработанного на кафедре устройства (рис. 2, а–в).

По нашему опыту при функциональном тестировании разница между здоровым и пострадавшим суставами в раскрытии суставной щели ≥ 3 мм свидетельствовала о полном разрыве только МБКС, ≥ 4 мм — о разрыве МБКС и ЗЛУ, ≥ 8 мм — о тотальном разрыве ЗЛУ и повреждении крестообразных связок.

Пациентам с сопутствующей невропатией общего малоберцового нерва выполняли электрофизиологическое исследование проведения импульса по сенсорным и моторным волокнам, а также его ультразвуковое исследование. С целью исключения тромбоза вен нижних конечностей всем больным осуществляли сонографическое исследование сосудов нижних конечностей.

Контрольное обследование пострадавших проводили в сроки от 9 до 42 мес. после пластики связок коленного сустава (в среднем через 16 мес.). Пациентам этой группы проводили традиционное клиническое обследование локального статуса, тестирование по шкале Lysholm, МРТ и функциональную рентгенографию коленного сустава.

Результаты анатомического исследования. Длина МБКС варьировала в достаточно большом диапазоне — от 51 до 69 мм и составляла в среднем $62,4 \pm 3,6$ мм. Во всех случаях место прикрепления МБКС к латеральному надмыщелку бедренной кости имело овальную форму с достаточно четко ограниченными границами.

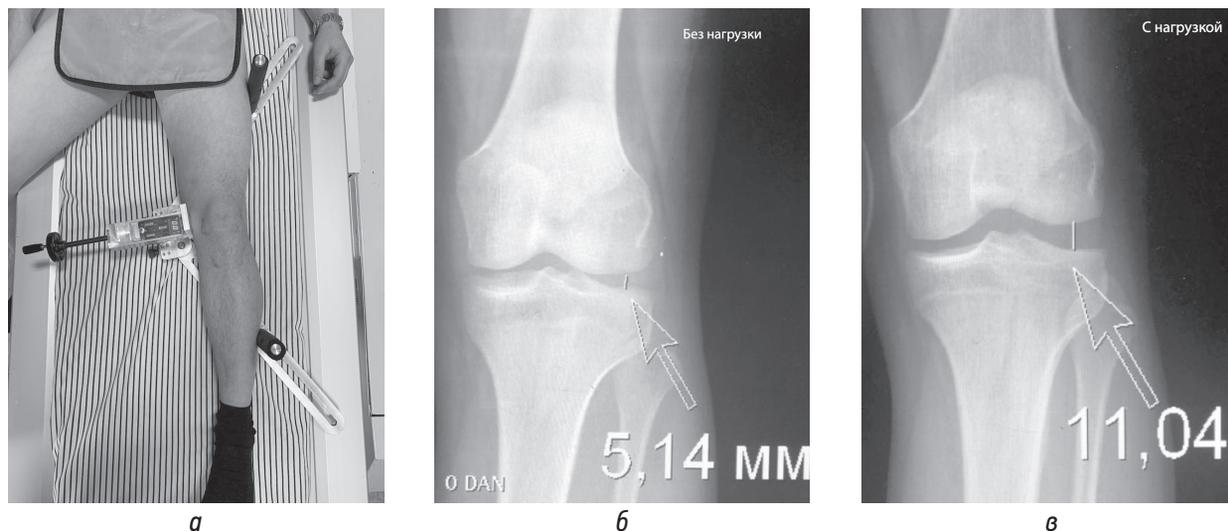


Рис. 2. Функциональная рентгенография коленного сустава с аппаратно задаваемой варусной нагрузкой: а) внешний вид конечности с устройством для функциональной рентгенографии; б) рентгенограмма коленного сустава в прямой проекции без нагрузки; в) рентгенограмма коленного сустава в прямой проекции с нагрузкой при повреждении ЗЛУ

Среднее расстояние от ее центра до нижнего края латерального мыщелка бедренной кости составило $27,8 \pm 4,1$ мм, среднее расстояние до заднего края латерального мыщелка бедренной кости — $25,4 \pm 5,7$ мм. Место прикрепления проксимальной части МБКС имело продолговатую форму, вытянутую по вертикали. Его вертикальный размер в среднем был равен $9,1 \pm 1,8$ мм, а горизонтальный — $7,2 \pm 1,8$ мм. Центр места прикрепления, как правило, располагался на $0,5-1,0$ мм кзади и проксимальнее верхушки латерального надмыщелка бедренной кости.

Центр места прикрепления СПкМ располагался на расстоянии $19,1 \pm 5,66$ мм от нижней поверхности латерального мыщелка бедренной кости и в $36,2 \pm 4,95$ мм от его задней поверхности. Место прикрепления данного сухожилия на всех изученных анатомических препаратах локализовался в среднем на $14,2 \pm 3,1$ мм кпереди и книзу от места прикрепления МБКС, что делает возможным выполнение их симультанной анатомической реконструкции.

Важнейшей в функциональном отношении особенностью СПкМ является анатомически постоянный пучок сухожильных волокон, соединяющий его с головкой малоберцовой кости, описываемый в литературных источниках как ПкМС. Центр места прикрепления ПкМС в большинстве случаев (22 препарата) располагался на верхушке головки малоберцовой кости, проксимальнее на $9,8$ мм и на $6,4$ мм кзади от ее латерального выступа и имел овальную форму: горизонтальный размер составил $8,6$ мм, а вертикальный — $8,0$ мм. На 8 анатомических препаратах место прикрепления ПкМС было смещено кпереди и дистальнее, фактически совпадало с местом прикрепления МБКС, а волокна ПкМС вплетались в волокна дистальной части МБКС. Среднее расстояние от общего малоберцового нерва до реконструированной МБКС составило $46,3 \pm 4,3$ мм; от подколенной артерии до реконструированной МБКС — $57,6 \pm 4,2$; от общего малоберцового нерва до реконструированного ПкМС — $13,1 \pm 3,1$; от подколенной артерии до реконструированного ПкМС — $24 \pm 5,6$; от общего малоберцового нерва до реконструированного СПкМ — $14,8 \pm 3,1$; от подколенной артерии до реконструированного СПкМ составило $24,7 \pm 4,6$ мм.

Результаты клинического исследования. В контрольной группе значимую остаточную латеральную нестабильность II степени наблюдали у 7 пациентов, у 4 из них была выполнена ревизионная аллопластика МБКС, СПкМ и ПкМС. У всех 9 пострадавших с выявленной клинически латеральной нестабильностью провели контрольное функциональное рентгенологическое обследование по предложенной методике (патент РФ на полезную модель № 197909 от 10.01.2020 г.), которое позволило определить степень ее выраженности.

В основной группе пострадавших ограничение сгибания до угла 135° диагностировали у одного

пострадавшего. В контрольной группе ограничение сгибания наблюдали у двоих больных (140 и 130° соответственно), при этом указанные лица не имели признаков нестабильности сустава.

Среди пострадавших с посттравматической невропатией общего малоберцового нерва признаки неврологического дефицита в той или иной степени сохранились у всех 9 больных, которым выполняли нейрохирургические оперативные вмешательства. Для них были характерны отсутствие тыльной флексии, а также чувствительные нарушения.

Оценка функциональных результатов по шкале Lysholm после проведенного лечения составила 73 [65; 82] балла, размах вариации — 41 балл (минимальное значение 48, максимальное — 89 баллов). У пациентов с повреждениями KD II типа оценка по шкале Lysholm составила 78 [74; 86] баллов, что статистически значимо ($p < 0,01$) выше, чем у пациентов с повреждениями KD III типа — 68 [64; 82] баллов (колеблемость — от 56 до 88 баллов). С повреждениями KD IV типа было три пациента, у которых оценки составили 64, 72 и 73 балла.

Самая низкая оценка по шкале Lysholm отмечена среди пациентов с невосстановленной функцией общего малоберцового нерва — 62 [60; 68] балла, что статистически значимо ($p < 0,001$) отличается от пациентов с отсутствием невропатии, у которых данная оценка составила 78 [68; 86] баллов.

У пациентов, перенесших операцию в относительно ранние сроки после получения травмы (до 5 нед), оценка по шкале Lysholm составила 72 [65; 81] балла (колеблемость — от 48 до 88 баллов), а в выборке пациентов с застарелым повреждением связочного аппарата коленного сустава — 74 [68; 86] балла (колеблемость от 48 до 89 баллов), статистически значимого различия оценки в группах не выявлено ($p > 0,05$).

Сравнение достигнутых результатов в исследуемых группах с использованием шкалы Lysholm свидетельствует о преимуществах хирургических подходов, примененных у пострадавших основной группы, в которой оценка по шкале Lysholm статистически значимо ($p = 0,003$) выше и составила 82 [70; 86] балла против оценки в контрольной группе 68 [64; 76] баллов.

ВЫВОДЫ

1. Предложенный способ хирургического лечения позволяет безопасно выполнить анатомическую реконструкцию ЗЛУ коленного сустава с достижением стабильности сустава.

2. Предложенный и запатентованный способ пластики ЗЛУ является анатомически обоснованным, безопасным с точки зрения вероятного ятрогенного повреждения общего малоберцового нерва и подколенной артерии и в должной мере обеспечивает восстановление стабильности коленного сустава.

3. Применение в клинической практике одномоментной анатомической реконструкции МБКС в сочетании с пластикой СПкМ и ПкМС как одного из компонентов реконструкции связочного аппарата коленного сустава позволяет улучшить ($p = 0,003$) функциональные результаты лечения пациентов с его мультилигаментарной травмой.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным независимым этическим комитетом при Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (протокол № 225 от 24.09.2019).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гайворонский И.В. Нормальная анатомия человека. Т. 1. СПб.: СпецЛит, 2013. 568 с.
2. Gollehon D.L., Torzilli P.A., Warren R.F. The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study // *J. Bone. Joint. Surg. Am.* 1987. Vol. 69, No. 2. P. 233–242.
3. Grood E.S., Noyes, F.R., Butler, D.L., Suntay, W.J. Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees // *J. Bone. Joint. Surg. Am.* 1981. Vol. 63, No. 8. P. 1257–1269.
4. Nielsen S., Rasmussen O., Ovesen J., Andersen K. Rotatory instability of cadaver knees after transection of collateral ligaments and capsule // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 1984. Vol. 103, No. 3. P. 165–169. DOI: 10.1007/BF00435548
5. LaPrade R.F., Tso A., Wentorf F.A. Force measurements on the fibular collateral ligament, popliteofibular ligament, and popliteus tendon to applied loads // *Am. J. Sports Med.* 2004. Vol. 32, No. 7. P. 1695–1701. DOI: 10.1177/0363546503262694
6. Ferrari D.A., Wilson D.R., Hayes W.C. The effect of release of the popliteus and quadriceps force on rotation of the knee // *Clin. Orthop. Relat. Res.* 2003. No. 412. P. 225–233. DOI: 10.1097/01.blo.0000071752.41516.6e
7. LaPrade R.F., Wozniczka J.K., Stellmaker M.P., Wijdicks C.A. Analysis of the static function of the popliteus tendon and evaluation of an anatomic reconstruction: the «fifth ligament» of the knee // *Am. J. Sports Med.* 2010. Vol. 38, No. 3. P. 543–549. DOI: 10.1177/0363546509349493
8. Maynard M.J., Deng X., Wickiewicz T.L., Warren R.F. The popliteofibular ligament. Rediscovery of a key element in posterolateral stability // *Am. J. Sports Med.* 1996. Vol. 24, No. 3. P. 311–316. DOI: 10.1177/036354659602400311
9. van der Wal W.A., Heesterbeek P.J.C., van Tienen T.G., et al. Anatomical reconstruction of posterolateral corner and combined injuries of the knee // *Knee. Surg. Sports Traumatol. Arthrosc.* 2016. Vol. 24, No. 1. P. 221–228. DOI: 10.1007/s00167-014-3369-7
10. Хоминец В.В., Шаповалов В.М., Капилевич Б.Я., и др. Объемная рентгенологическая диагностика повреждений передней крестообразной связки коленного сустава у военнослужащих // *Военно-медицинский журнал.* 2016. Т. 337, № 2. С. 28–30.
11. Delee J.C., Riley M.B., Rockwood C.A.Jr. Acute posterolateral rotatory instability of the knee // *Am. J. Sports Med.* 1983. Vol. 11, No. 4. P. 199–207.
12. Fanelli G.C., Monahan T.J. Complications and pitfalls in posterior cruciate ligament reconstruction. In: *Knee Surgery.* Berlin, Heidelberg: Springer, 2001. P. 121–128. DOI: 10.1007/978-3-642-87202-0_12
13. Feng H., Hong L., Geng X.S., et al. Posterolateral sling reconstruction of the popliteus tendon: an all-arthroscopic technique // *Arthroscopy.* 2009. Vol. 25, No. 7. P. 800–805. DOI: 10.1016/j.arthro.2008.12.019
14. Covey D.C. Injuries of the posterolateral corner of the knee // *J. Bone Joint Surg. Am.* 2001. Vol. 83, No. 1. P. 106–118. DOI: 10.2106/00004623-200101000-00015
15. Крюков Е.В., Брижань Л.К., Хоминец В.В., и др. Опыт клинического применения тканеинженерных конструкций в лечении протяженных дефектов костной ткани // *Гений ортопедии.* 2019. Т. 25, № 1. С. 49–57.
16. Тришкин Д.В., Крюков Е.В., Чуприна А.П., и др. Эволюция концепции оказания медицинской помощи раненым и пострадавшим с повреждениями опорно-двигательного аппарата // *Военно-медицинский журнал.* 2020. Т. 341, № 2. С. 4–11.
17. Брижань Л.К., Давыдов Д.В., Буряченко Б.П., и др. Эффективность применения современных технологий в послеоперационном лечении у пациентов после тотального эндопротезирования коленного сустава // *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2018. Т. 13, № 2. С. 74–77.

REFERENCES

1. Gaivoronsky IV. *Normal human anatomy*. T. 1. Saint Petersburg: SpetsLit Publisher; 2013. (In Russ.)
2. Gollehon DL, Torzilli PA, Warren RF. The role of the posterolateral and cruciate ligaments in the stability of the human knee. A biomechanical study. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69(2):233–242.
3. Good ES, Noyes FR, Butler DL, Suntay WJ. Ligamentous and capsular restraints preventing straight medial and lateral laxity in intact human cadaver knees. *J Bone Joint Surg Am*. 1981;63(8):1257–1269.
4. Nielsen S, Rasmussen O, Ovesen J, Andersen K. Rotatory instability of cadaver knees after transection of collateral ligaments and capsule. *Arch Orthop Trauma Surg*. 1984;103(3):165–169. DOI: 10.1007/BF00435548
5. LaPrade RF, Tso A, Wentorf FA. Force measurements on the fibular collateral ligament, popliteofibular ligament, and popliteus tendon to applied loads. *Am J Sports Med*. 2004;32(7):1695–1701. DOI: 10.1177/0363546503262694
6. Ferrari DA, Wilson DR, Hayes WC. The effect of release of the popliteus and quadriceps force on rotation of the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 2003;412:225–233. DOI: 10.1097/01.blo.0000071752.41516.6e
7. LaPrade RF, Wozniczka JK, Stellmaker MP, Wijdicks CA. Analysis of the static function of the popliteus tendon and evaluation of an anatomic reconstruction: the “fifth ligament” of the knee. *Am J Sports Med*. 2010;38(3):543–549. DOI: 10.1177/0363546509349493
8. Maynard MJ, Deng X, Wickiewicz TL, Warren RF. The popliteofibular ligament: rediscovery of a key element in posterolateral stability. *Am J Sports Med*. 1996;24(3): 311–316. DOI: 10.1177/036354659602400311
9. van der Wal WA, Heesterbeek PJ, van Tienen TG, et al. Anatomical reconstruction of posterolateral corner and combined injuries of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2016;24(1): 221–228. DOI: 10.1007/s00167-014-3369-7
10. Khominets VV, Shapovalov VM, Kapilevich BY, et al. Objective X-ray diagnostics of injuries of the anterior cruciate ligament of the knee joint in military personnel. *Military Medical Journal*. 2016;337(2):28–30. (In Russ.)
11. Delee JC, Riley MB, Rockwood CAJr. Acute posterolateral rotatory instability of the knee. *Am J Sports Med*. 1983;11(4):199–207.
12. Fanelli GC, Monahan TJ. Complications and pitfalls in posterior cruciate ligament reconstruction. In: *Knee Surgery*. Berlin, Heidelberg: Springer; 2001. P: 121–128. DOI: 10.1007/978-3-642-87202-0_12
13. Feng H, Hong L, Geng XS, et al. Posterolateral sling reconstruction of the popliteus tendon: an all-arthroscopic technique. *Arthroscopy*. 2009;25(7):800–805. DOI: 10.1016/j.arthro.2008.12.019
14. Covey DC. Injuries of the posterolateral corner of the knee. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83(1):106–118. DOI: 10.2106/00004623-200101000-00015
15. Kryukov EV, Brizhan LK, Khominets VV, et al. Experience in the clinical use of tissue-engineered structures in the treatment of extended bone tissue defects. *Genius of Orthopedics*. 2019;25(1): 49–57. (In Russ.)
16. Trishkin DV, Kryukov EV, Chuprina AP, et al. Evolution of the concept of medical care to the wounded and injured with injuries of the musculoskeletal system. *Military Medical Journal*. 2020;341(2): 4–11. (In Russ.)
17. Brizhan LK, Davydov DV, Buryachenko BP, et al. The effectiveness of the use of modern technologies in postoperative treatment in patients after total knee arthroplasty. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo tsentra im. N. I. Pirogova*. 2018;13(2):74–77. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Марк Сергеевич Тюрюпов**, курсант; адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8366-0594>;
eLibrary SPIN: 2886-7181; e-mail: mark.tfyuryupov@icloud.com

Иван Васильевич Гайворонский, докт. мед. наук, профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6836-5650>;
eLibrary SPIN: 1898-3355; e-mail: i.v.gaivoronsky@mail.ru

Алексей Леонидович Кудяшев, докт. мед. наук, доцент;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8561-2289>;
eLibrary SPIN: 6138-0950; e-mail: a.kudyashev@gmail.com

Иван Сергеевич Базаров, старший ординатор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4708-493X>;
eLibrary SPIN: 4745-2901; e-mail: dok055@yandex.ru

AUTHORS INFO

***Mark S. Tyuryupov**, cadet; address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8366-0594>;
eLibrary SPIN: 2886-7181; e-mail: mark.tfyuryupov@icloud.com

Ivan V. Gaivoronsky, MD, DSc (Medicine), Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6836-5650>;
eLibrary SPIN: 1898-3355; e-mail: i.v.gaivoronsky@mail.ru

Aleksey L. Kudyashev, MD, DSc (Medicine), Associate Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8561-2289>;
eLibrary SPIN: 6138-0950; e-mail: a.kudyashev@gmail.com

Ivan S. Bazarov, Senior Resident;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4708-493X>;
eLibrary SPIN: 4745-2901; e-mail: dok055@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64489>

Особенности восприятия цифровой информации операторами при различии цветовых схем стимульного материала

© О.С. Агаджанян*, И.О. Натуральников

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Высокий темп развития и усложнения авиационной техники влечет за собой потребность в росте качества эргономического сопровождения. Обуславливается это тем фактом, что для безопасного осуществления деятельности летчику приходится использовать весь объем внимания, нередко на пределе возможностей. Цвет приборных шкал, контрастность подачи информации и другие условия ее восприятия могут значительно усложнить оценку показаний пилотажных приборов. Особенно это актуально с переходом большинства современных летательных аппаратов с аналогового отображения показаний приборов к цифровому. В исследовании рассмотрены особенности восприятия цифровой информации операторами авиационного профиля при разном цветовом фоне стимульного материала. Проведен анализ результатов решения операторами 3 таблиц Шульте и 3 таблиц Шульте–Горбова на объединенном аппаратном комплексе «НС–Психотест» с системой фиксации координат взгляда — стационарный айтрекинг «RED250mobile eye tracking device». При выполнении поисковой функции глаз высчитывалось количество зрительных фиксаций и время выполнения задания. Установлено, что при поиске цифровых значений на таблицах Шульте с белым фоном количество фиксаций взгляда выполнено меньше, чем при выполнении аналогичной задачи на черно-красных таблицах Шульте–Горбова. Соответственно времени на решение черно-белых таблиц тоже уходило меньше. Обнаружена тенденция, показывающая, что поиск цифровых значений, представленных в таблицах Шульте–Горбова на красном фоне, осуществлялся операторами быстрее, чем на черном фоне. Дальнейшее изучение данной темы может способствовать разработке предложений по эргономическому сопровождению летательных аппаратов, что, в свою очередь, поможет сохранить резервы внимания операторов в непрерывном потоке входящих данных (2 рис., 1 табл., библи.: 13 ист.).

Ключевые слова: айтрекинг; восприятие информации; летчики; окулография; операторы авиационного профиля; таблица Шульте; таблица Шульте–Горбова; фиксация взгляда.

Как цитировать:

Агаджанян О.С., Натуральников И.О. Особенности восприятия цифровой информации операторами при различии цветовых схем стимульного материала // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 79–83. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64489>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64489>

Features of digital information perception by operators with different color schemes of the stimulus material

© Oganés S. Agadzhanian*, Il'ya O. Natural'nikov

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

The rapid development of aviation technology entails the need to increase the quality of ergonomic support. This is due to the fact that for the safe implementation of activities, the pilot has to use the entire amount of attention, not rarely, at the limit of his capabilities. The color of the instrument scales, the contrast of the information feed, and other information perception conditions can significantly complicate the evaluation of the flight instrument readings. This is especially true with the transition of most modern aircraft from analog display of instrument readings to digital. The study examines the features of perception of digital information by operators of aviation profile with different color background of the stimulus material. The analysis of the results of the solution by operators of 3 Schulte tables and 3 Schulte–Platonov tables on the combined hardware complex “NS–Psychotest” with the system of fixing the coordinates of the eye-stationary eye tracking “RED250mobile eye tracking device”. When performing the eye search function, the number of visual fixations and the task completion time were calculated. It was found that when searching for digital values on Schulte tables with a white background, the number of eye fixations was less than when performing a similar task on black-and-red Schulte–Platonov tables. Accordingly, it also took less time to solve black-and-white tables. A trend was found showing that the search for digital values represented in the Schulte–Platonov tables on a red background was carried out by operators faster than on a black background. Further study of this topic can contribute to the development of proposals for ergonomic support of aircraft, which in turn will help to maintain the reserves of attention of operators in a continuous stream of incoming data (2 figures, 1 table, bibliography: 13 refs).

Keywords: aviation profile operators; eye fixation; eye tracking; information perception; oculography; pilots; Schulte–Platonov table; Schulte table.

To cite this article:

Agadzhanian OS, Natural'nikov IO. Features of digital information perception by operators with different color schemes of the stimulus material. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):79–83. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64489>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Высокий темп развития и усложнения авиационной техники влечет за собой потребность в росте качества эргономического сопровождения. Обуславливается это тем фактом, что для безопасного осуществления деятельности летчику приходится использовать весь объем внимания, нередко на пределе физиологических возможностей [1]. Для правильной оценки режима полета и пространственного положения летательного аппарата летчик вынужден постоянно считывать цифровую информацию с показаний приборов, что при ошибках эргономики приборной панели может приводить к утомлению зрительного анализатора и сопутствующему снижению резервов других функциональных систем организма [2]. Особенно сказывается на функциональном состоянии операторов сложных эргатических комплексов пренебрежение рамками физиологических возможностей человека, которое может привести к критическим ошибкам во время полета [3]. Статистические данные показывают, что человеческий фактор как причина тяжелых авиационных происшествий является решающим примерно в 80 % случаев [4]. В связи с вышеперечисленным получение новых данных о механизмах восприятия информации остается актуальным направлением для повышения уровня безопасности полетов и продуктивности операторской деятельности других профессий.

Цель — выявить особенности восприятия цифровой информации операторами при различии цветовых схем стимульного материала.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 10 добровольцев в возрасте от 20 до 26 лет (10 мужчин, средний возраст $22 \pm 0,9$ года), с заключением военно-врачебной комиссии «Годен к военной службе».

Исследование проходило в 2 этапа. На первом этапе добровольцам необходимо было решить 3 различные

таблицы Шульте в кратчайшие сроки с наименьшим количеством ошибок (рис. 1). Задача состояла в последовательном поиске цифр от 1 до 25 с отметкой компьютерной мышью в одноименном квадрате. Второй этап требовал выполнения аналогичной задачи, за исключением изменения стимульного материала, которой был представлен 3 черно-красными таблицами Шульте–Горбова (рис. 2). Решение задач производилось с использованием объединенного аппаратного комплекса «НС–Психотест» и системы фиксации координат взгляда — стационарного айтрекинга «RED250mobile eye tracking device» [5]. Параметры трека глаз обработаны с помощью программного обеспечения SMI BeGaze версии 3.0.

Исследование пропускной способности зрительного анализатора сводится к измерению скорости восприятия, которую, в свою очередь, можно отождествить с количеством саккадических движений глаз и временем, затраченным на выполнение поисковой зрительной задачи [6–8]. Каждое саккадическое движение заканчивается фиксацией взгляда — именно во время нее происходит восприятие информации [9, 10]. Цветность, контрастность и другие условия могут значительно усложнить оценку показаний пилотажных приборов, что и повлияло на выбор стимульного материала для проведения исследования [11].

Сбор полученных данных и статистическая обработка выполнены в программах Microsoft Excel 2010 и IBM SPSS Statistics 26.0. с использованием непараметрического *U*-критерия Манна–Уитни для несвязанных выборок.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Выявлено, что при решении таблиц Шульте операторы выполняли на 21,7 % меньше фиксаций взгляда, чем при решении таблиц Шульте–Горбова (табл. 1). Среднее время, затраченное на выполнение таблиц, также имеет статистически значимые различия. На решение таблиц Шульте уходило в среднем на 20,3 % меньше времени. При этом, если по формуле скорости посчитать среднее количество зрительных фиксаций за 1 с, интересно

| | | | | |
|----|----|----|----|----|
| 14 | 18 | 7 | 24 | 21 |
| 22 | 1 | 10 | 9 | 6 |
| 16 | 5 | 8 | 20 | 11 |
| 23 | 2 | 25 | 3 | 15 |
| 19 | 13 | 17 | 12 | 4 |

Рис. 1. Вариант таблицы Шульте

| | | | | |
|----|----|----|----|----|
| 8 | 20 | 16 | 10 | 3 |
| 2 | 13 | 22 | 5 | 14 |
| 15 | 6 | 24 | 17 | 11 |
| 9 | 21 | 18 | 1 | 7 |
| 19 | 4 | 25 | 23 | 12 |

Рис. 2. Вариант таблицы Шульте–Горбова

Таблица. Средние значения показателей при решении таблиц Шульте и Шульте–Горбова

| Стимульный материал | Количество зрительных фиксаций | U-критерий | Время, с | U-критерий |
|------------------------|--------------------------------|----------------------|-------------|----------------------|
| Таблицы Шульте | 132,1 ± 26,9 | 240,0 ($p < 0,01$) | 35,0 ± 7,4 | 238,0 ($p < 0,01$) |
| Таблицы Шульте–Горбова | 168,7 ± 46,9 | | 43,9 ± 12,3 | |

отметить, что при решении черно-красных таблиц она будет составлять 3,84 з.ф./с, а при решении таблиц Шульте — 3,77 з.ф./с. В итоге хаотичность распределения внимания при смене цветовой схемы стимульного материала выше, а результативность существенно ниже. Полученные данные подтверждают современные представления о влиянии условий восприятия информации на его качество. Так, в литературе существует понятие о RGB-модели: чем выше контраст, тем хуже восприятие. Характеристика передачи полутонов должна быть линейна, и перепады насыщенности цвета не должны быть резкими для лучшей фиксации зрительного анализатора. В случае, когда этот параметр гамма-коррекции меньше единицы, улучшается распознавание деталей [12]. Данный феномен также можно связать с привычностью восприятия информации, отображаемой «черным по белому» [13].

Обнаружена тенденция, показывающая, что поиск цифровых значений, представленных в таблицах Шульте–Горбова на красном фоне, осуществлялся операторами быстрее, чем на черном фоне. В среднем желтые цифры на красном фоне находились добровольцами с выполнением $6,3 \pm 2,5$ фиксаций взора за $1,6 \pm 1,5$ с, в то время как на черном фоне с $7,2 \pm 2,7$ фиксациями за $1,8 \pm 1,5$ с. В данном случае, возможно, превалирует влияние именно красного фона стимульного материала. Психологи связывают это с эмоциональной реакцией на цвет, которая зависит не только от физиологических особенностей организма, но и от жизненного опыта. В ряде источников красный цвет активно-наступательного характера, оказывающий стимулирующее воздействие на мозг. Благодаря своему мощному воздействию на нервную систему красный побуждает операторов к быстрым решениям [13].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Военная психофизиология / под ред. В.Н. Сысоева. Учебник в 2 т. Т. 1. СПб.: ВМедА, 2017. 320 с.
2. Пономаренко В.А. Авиация. Человек. Дух. М.: ИП РАН «Универсум», 1998.
3. Благинин А.А. Психофизиологическое обеспечение надежности профессиональной деятельности операторов сложных эргатических систем. Дис. ... докт. психол. наук. СПб., 2006.
4. Жданько И.М., Благинин А.А., Чистов С.Д., Ляшедько С.П. Анализ авиационных происшествий по причине нарушения пространственной ориентировки и иллюзий пространствен-

ВЫВОДЫ

1. При решении черно-красных таблиц Шульте–Горбова в среднем операторы выполняют на 21,7 % больше зрительных фиксаций и затрачивают на 20,3 % больше времени, чем при выполнении таблиц Шульте с белым фоном.

2. В среднем цифры на красном фоне находились операторами быстрее с выполнением $6,3 \pm 2,5$ фиксаций взора за $1,6 \pm 1,5$ с, в то время как на черном фоне с $7,2 \pm 2,7$ фиксациями за $1,8 \pm 1,5$ с.

Полученные данные подчеркивают эргономическую значимость выбора фона для отображения цифровой информации на приборной панели от скорости восприятия которой зависит успешность деятельности, а также жизнь и здоровье летчиков. Дальнейшее изучение данной темы может способствовать разработке предложений по эргономическому сопровождению летательных аппаратов, что в свою очередь поможет сохранить резервы внимания операторов в непрерывном потоке входящих данных.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» (протокол № 40 от 12.03.2021).

Вклад авторов. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

ного положения за период 2009–2013 гг. // Авиакосмическая и экологическая медицина. 2018. Т. 52, № 4. Р. 55–60. DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-55-60

5. Благинин А.А., Синельников С.Н. Объединение аппаратного комплекса «НС–Психотест» и стационарного айттрекинга «RED250Mobile eye tracking device» в единый инструмент изучения распределения внимания операторов: Усовершенствование способов и аппаратуры, применяемых в учебном процессе, медико-биологических исследованиях и клинической практике // Сборник изобретений и рационализаторских предложений. Вып. 51. СПб.: ВМедА, 2020. С. 6–7.

6. Благинин А.А., Синельников С.Н., Натуральников И.О., и др. Методика айтрекинга и перспективы ее использования в подготовке специалистов авиационной медицины // Известия Российской военно-медицинской академии. 2019. Т. 38, № 4. С. 56–58.
7. Глезер В.Д., Цуккерман И.И. Информация и зрение. М.; Л., 1961. 183 с.
8. Синельников С.Н., Натуральников И.О., Благинин А.А., Агаджанян О.С. Различия в восприятии цифровой информации операторов авиационного профиля в зависимости от степени экстраверсии // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2020. Т. 72, № 4. С. 76–81. DOI: 10.17816/brmma62809
9. Баженова О.А., Соболев А.Ф. Исследование саккад — метод экспресс-диагностики полей зрения // Известия Российской военно-медицинской академии. 2019. № 1 (S1). С. 31–34.

10. Барабанчиков В.А. Динамика зрительного процесса и скакадические движения глаз // Психологический журнал. 2018. Т. 39, № 1. С. 46–56. DOI: 10.7868/S0205959218010051
11. Ложкин Л.Д. Цвет, его измерение и восприятие // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2012. Т. 15, № 3. С. 110–122.
12. Хорунжий М.Д. Метод количественной оценки цветов различий при восприятии цифровых изображений // Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Информационные технологии. 2008. Т. 6, № 1. С. 81–89.
13. Сивик Л. Цветовое значение и измерения восприятия цвета. Исследование цветовых образцов. В кн.: Проблема цвета в психологии. М.: Наука, 1993. 95 с.

REFERENCES

1. Sysoev VN. ed. *Military psychophysiology*. Textbook in 2 t. T. 1. Saint Petersburg: VMedA Publisher; 2017. (In Russ.)
2. Ponomarenko VA. *Aviation. Human. Spirit*. Moscow: IP RAN "Universum" Publisher; 1998. (In Russ.)
3. Blagin AA. *Psikhofiziologicheskoye obespecheniye nadezhnosti professional'noy deyatel'nosti operatorov slozhnykh ergaticheskikh sistem* [dissertation]. Saint Petersburg; 2006. (In Russ.)
4. Zhdan'ko IM, Blagin AA, Chistov SD, Lyashed'ko SP. Analysis of aviation accidents in consequence of spatial disorientation and positional illusions over the period of 2009–2013. *Aviakosmicheskaya i ekologicheskaya meditsina*. 2018;52(4):55–60. (In Russ.) DOI: 10.21687/0233-528X-2018-52-4-55-60
5. Blagin AA, Sinelnikov SN. Combining the hardware complex "NS-Psychotest" and stationary eye tracking "RED250Mobile eye tracking device" into a single tool for studying the distribution of operators' attention: Improvement of methods and equipment used in the educational process, biomedical research and clinical practice. *Collection of inventions and rationalization proposals*. Issue 51. Saint Petersburg: VMedA Publisher; 2020. P. 6–7. (In Russ.)
6. Blagin AA, Sinelnikov SN, Naturalnikov IO, et al. Methods of eye tracking and prospects of using it for the training of aviation medicine specialists. *Izvestia of the Russian Military Medical Academy*. 2019;38(4):56–58. (In Russ.)
7. Glezer VD, Zukkerman II. *Information and vision*. Moscow; Leningrad; 1961. (In Russ.)
8. Sinelnikov SN, Naturalnikov IO, Blagin AA, Agadzhanyan OS. Differences in the perception of digital information of aviation operators depending on the degree of extraversion. *Vestnik Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akadtmii*. 2020;72(4):76–81. (In Russ.) DOI: 10.17816/brmma62809
9. Bazhenova OA, Sobolev AF. Research of saccades – a method of express-diagnostics of visual fields. *Izvestia of the Russian Military Medical Academy*. 2019;1(S1):31–34. (In Russ.)
10. Barabanshchikov VA. Dynamics of the visual process and saccadic eye movements. *Psychological Journal*. 2018;39(1):46–56. (In Russ.) DOI: 10.7868/S0205959218010051
11. Lozhkin LD. Color, its measurement and perception. *Physics of Wave Processes and Radio Systems*. 2012;15(3): 110–122. (In Russ.)
12. Khorunzhiy MD. Method of scoring color difference in digital image sensing. *Vestnik Novosibirsk state university*. Series: Information Technologies. 2008;6(1):81–89. (In Russ.)
13. Sivik L. Color Meaning and Measurements of Color Perception. A Study of Color Samples. In: *The Problem of Color in Psychology*. Moscow: Nauka Publisher; 1993. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Оганес Суменович Агаджанян**, курсант;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2836-3466>;
eLibrary SPIN: 1144-8363; e-mail: Ogan.es.vmeda@yandex.ru

Илья Олегович Натуральников, адъюнкт;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5627-7709>;
eLibrary SPIN: 1144-8363; e-mail: ilya.naturalnikov@yandex.ru

AUTHORS INFO

***Oganec S. Agadzhanyan**, cadet;
address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2836-3466>;
eLibrary SPIN: 1144-8363; e-mail: Oganec.vmeda@yandex.ru

Il'ya O. Natural'nikov, adjunct;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5627-7709>;
eLibrary SPIN: 1144-8363; e-mail: ilya.naturalnikov@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64491>

Дифференциация военнослужащих в целях профессионального отбора на основании результатов исследования глазомера

© И.Ф. Серый*, С.Д. Хрущев, С.А. Авдюшенко

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Важнейшим направлением военной доктрины ВС РФ является совершенствование мероприятий комплектования воинских подразделений. Определение степени пригодности военнослужащего в настоящее время осуществляется при проведении мероприятий профессионального отбора. Для оценки профессиональной пригодности определяется уровень развития профессионально важных качеств. К профиограммам таких специальностей, как «наводчик орудия танка» и «наводчик артиллерийского орудия» предъявляются следующие требования: безошибочно определять расстояние до цели, выбирать точку прицеливания, правильно устанавливать исходные данные на шкале прицела. В свою очередь, разведчик обязан уметь ориентироваться на местности и определять координаты цели и объектов противника, вести скрытое наблюдение. При отборе военнослужащих на данные специальности особое внимание необходимо уделить индивидуальным свойствам глазомера кандидатов. Методика «Глазомер» является инструментом для дифференцировки военнослужащих в зависимости от их способности к точному распознаванию пространственных интервалов. Разработанные шкалы дифференцирования кандидатов позволяют определять место обследуемого (номер зоны) среди всей совокупности кандидатов в зависимости от значения первичного показателя с одной из 10 подгрупп при использовании процентильной шкалы и осуществлять оценку выраженности профессионально важной функции с помощью 10-стеновой шкалы (4 рис., 3 табл., библи.: 8 ист.).

Ключевые слова: воинская специальность; Вооруженные силы; глазомер; профессионально важное качество; профессиональный отбор; психофизиология.

Как цитировать:

Серый И.Ф., Хрущев С.Д., Авдюшенко С.А. Дифференциация военнослужащих в целях профессионального отбора на основании результатов исследования глазомера // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 85–90. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64491>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64491>

Differentiation of military personnel for professional selection based on the results of the eye estimation study

© Ivan F. Seryi*, Semyon D. Khrushchev, Sergey A. Avdyushenko

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

The most important direction of the military doctrine of the Armed Forces of the Russian Federation is the improvement of the events of manning military units. The degree of fitness of the soldier is currently being determined during professional selection events. The level of development of professionally important qualities is determined for the assessment of professional fitness. The following requirements are placed on the professions of such specialties as the gunner of the tank gun, and the gunner of the artillery gun: accurately determine the distance to the target, select the aiming point, correctly set the initial data on the sight scale. In turn, the scout must be able to navigate the terrain and determine the coordinates of the enemy's target and objects, be able to conduct hidden observation. When selecting military personnel for these specialties, special attention should be paid to the individual properties of the "eye estimation" of candidates. The Eye estimation technique is a tool for differentiating military personnel depending on their ability to accurately recognize spatial intervals. The developed candidate differentiation scales allow determining the place of the subject (area number) among the entire population of candidates depending on the value of the primary indicator from one of 10 sub-groups using the percentile scale and assessing the severity of a professionally important function using 10 wall scales (4 figures, 3 tables, bibliography: 8 refs).

Keywords: Armed Forces; eye estimation; military specialty; professional selection; professionally important quality; psychophysiology.

To cite this article:

Seryi IF, Khrushchev SD, Avdyushenko SA. Differentiation of military personnel for professional selection based on the results of the eye estimation study. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):85–90. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64491>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Одной из основных задач военной доктрины Вооруженных сил Российской Федерации является совершенствование мероприятий комплектования воинских подразделений [1]. Опыт ведения боевых действий в современных войнах и военных конфликтах показывает, что какой бы технически оснащенной ни была армия, решающей силой в достижении победы остается солдат.

Определение степени пригодности военнослужащего в настоящее время осуществляется при проведении мероприятий профессионального отбора [2–4]. Один из наиболее авторитетных специалистов в области физиологии и психофизиологии трудовой деятельности В.И. Медведев указывал, что выполнение любой профессиональной деятельности, «связано с реализацией целого спектра профессионально важных функций» (ПВФ) [5]. Выраженность ПВФ может быть проанализирована на различных уровнях (физиологическом, психологическом, поведенческом), каждый из которых вносит свой вклад в эффективность системного ответа.

В настоящее время в руководящих документах по профессиональному отбору для оценки пригодности на основе определения уровня развития профессионально важных функций и личных качеств используется термин «профессионально важные качества».

К профессиограммам таких специальностей, как «наводчик орудия танка» и «наводчик артиллерийского орудия» предъявляют следующие требования: безошибочно определять расстояние до цели, выбирать точку прицеливания, правильно устанавливать исходные данные на шкале прицела. В свою очередь, разведчик обязан уметь ориентироваться на местности и определять координаты цели и объектов противника, вести скрытое наблюдение [6]. Направленность на обеспечение заданного состояния боеспособности и боеготовности воинских формирований в повседневных условиях и в боевой обстановке определяется возможностями военнослужащего [7, 8].

Учитывая вышеперечисленные требования, можно сделать вывод, что при отборе военнослужащих на данные специальности особое внимание необходимо уделить индивидуальным свойствам глазомера кандидатов.

Цель — рассмотреть методику «Глазомер» на возможность ее использования для дифференциации военнослужащих — кандидатов на воинские специальности Сухопутных войск в целях профессионального отбора.

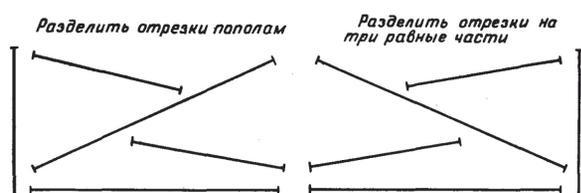


Рис. 1. Тестовый материал субтестов № 1 и 2

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Обследовано 200 человек, из них 50 военнослужащих по призыву возрастом 18–20 лет, 150 представителей допризывной молодежи 16–17 лет. Для исследования была использована методика «Глазомер». Испытуемому был выдан бланк с 5 последовательными заданиями.

Задание № 1 «Методика установки середины отрезков». Испытуемому необходимо определить середину у 5 отрезков разной длины и поставить точку в предполагаемой середине. Оценивалась величина расхождения точек, указанных испытуемыми, с эталонными, показатель «Ошибка точности» в миллиметрах. Тестовый материал представлен на рис. 1.

Задание № 2 «Методика разделения отрезков на три равные части». Испытуемому необходимо разделить 5 отрезков на три равные части и поставить точки в предполагаемых местах разделения. Оценивалась величина расхождения точек, указанных испытуемыми, с эталонными, показатель «Ошибка точности» в миллиметрах. Тестовый материал представлен на рис. 1.

Задание № 3 «Методика определения пересечения лучей из общего центра со сторонами прямоугольника». Испытуемому необходимо определить точки пересечения сторон прямоугольника с 18 стрелками, выходящими из его центра под разными углами, и поставить точки в предполагаемых местах пересечения. Оценивалась величина расхождения точек, указанных испытуемыми, с эталонными, показатель «Ошибка точности» в миллиметрах. Тестовый материал представлен на рис. 2.

Задание № 4 «Методика определения предполагаемого пересечения двух прямых, образующих треугольник с третьей». Испытуемому необходимо определить место пересечения двух прямых, образующих треугольник с третьей, и поставить точку в местах предполагаемых пересечений. Оценивалась величина расхождения точек, указанных испытуемыми, с эталонными, показатель «Ошибка точности» в миллиметрах. Тестовый материал представлен на рис. 3.

Задание № 5 «Методика определения центров и мест пересечения 10 окружностей друг с другом». Испытуемому необходимо определить центры и места пересечения 10 окружностей, в каждой из которых отсутствует по одной дуге, и поставить точки в предполагаемых центрах и местах пересечения окружностей друг с другом. Оценивалась величина расхождения точек, указанных испытуемыми, с эталонными, показатель

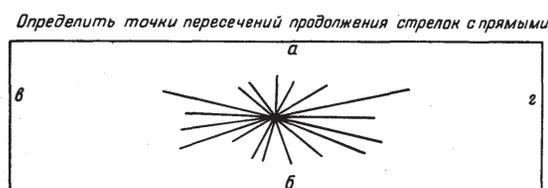


Рис. 2. Тестовый материал субтеста № 3



Рис. 3. Тестовый материал субтеста № 4

«Ошибка глазомерного решения» в миллиметрах. Тестовый материал представлен на рис. 4.

На выполнение каждого задания испытуемым отводилось в среднем 6 мин.

С помощью трафарета оценивалась величина расхождения указанных испытуемыми с эталонными, показатель «Ошибка точности» в миллиметрах.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

По описательным статистикам распределение данных показателей было близко к нормальному.

В результате анализа полученных данных установлено:

Среднее арифметическое значение показателя «Ошибка точности» для методики «Установка середины отрезков» составляет 0,9. Минимальное значение ошибки глазомерного решения — 0. Максимальное значение ошибки глазомерного решения — 6,2.

Среднее арифметическое значение показателя «Ошибка точности» для методики «Разделение отрезков на три равные части» составляет 2,1. Минимальное значение ошибки глазомерного решения — 0. Максимальное значение ошибки глазомерного решения — 16.

Среднее арифметическое значение показателя «Ошибка точности» для методики «Определение пересечения лучей из общего центра со сторонами прямоугольника» составляет 2,2. Минимальное значение ошибки глазомерного решения — 0. Максимальное значение ошибки глазомерного решения — 10,1.

Среднее арифметическое значение показателя «Ошибка точности» для методики «Определение предполагаемого пересечения двух прямых, образующих треугольник с третьей» составляет 4,2. Минимальное значение ошибки глазомерного решения — 0. Максимальное значение ошибки глазомерного решения — 11,2.

Среднее арифметическое значение показателя «Ошибка точности» для методики «Определение центров и мест пересечения 10 окружностей друг с другом»

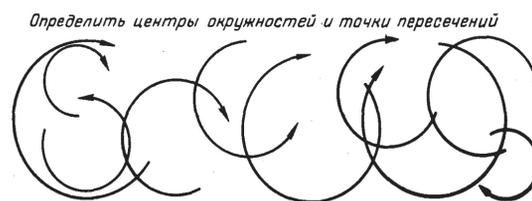


Рис. 4. Тестовый материал субтеста № 5

составляет 1,7. Минимальное значение ошибки глазомерного решения — 0. Максимальное значение ошибки глазомерного решения — 10,2. Описательная статистика показателей субтестов представлена в табл. 1.

В целях дифференцирования военнослужащих в зависимости от способности глазомера к точному восприятию пространственных интервалов по результатам исследования были разработаны разграничительные таблицы.

Для определения положения испытуемых в выборке разработаны шкалы процентильных диапазонов данного показателя по каждому из субтестов.

Процентильные величины показателя «Ошибка точности» для методики «Установка середины отрезков» следующие: 5 процентиль — 0 мм; 10 — 0,2; 20 — 0,3; 30 — 0,4; 40 — 0,6; 50 — 0,8; 60 — 1; 70 — 1,1; 80 — 1,2; 90 — 1,6; 95 процентиль — 2 мм.

Процентильные величины показателя «Ошибка точности» для методики «Разделение отрезков на три равные части» следующие: 5 процентиль — 0,2 мм; 10 — 0,3; 20 — 0,64; 30 — 0,9; 40 — 1,2; 50 — 1,4; 60 — 1,72; 70 — 2; 80 — 3; 90 — 5,2; 95 процентиль — 6,1 мм.

Процентильные величины показателя «Ошибка точности» для методики «Определение пересечения лучей из общего центра со сторонами прямоугольника» следующие: 5 процентиль — 0,6 мм; 10 — 0,87; 20 — 1,04; 30 — 1,2; 40 — 1,5; 50 — 1,7; 60 — 2; 70 — 2,2; 80 — 3; 90 — 4; 95 процентиль — 6,2 мм.

Процентильные величины показателя «Ошибка точности» для методики «Определение предполагаемого пересечения двух прямых, образующих треугольник с третьей» следующие: 5 процентиль — 0,8 мм; 10 — 1,17; 20 — 2; 30 — 2,7; 40 — 3,58; 50 — 4; 60 — 4,4; 70 — 5,3; 80 — 6,3; 90 — 8,3; 95 процентиль — 8,8 мм.

Процентильные величины показателя «Ошибка точности» для методики «Определение центров и мест пересечения 10 окружностей друг с другом» следующие: 5 процентиль — 0 мм; 10 — 0,2; 20 — 0,4; 30 — 0,8; 40 — 1; 50 — 1,1; 60 — 1,2; 70 — 1,4; 80 — 2,02; 90 — 4,8; 95 процентиль — 7,8 мм.

Таблица 1. Описательная статистика показателей субтестов

| Показатель | Субтест 1 | Субтест 2 | Субтест 3 | Субтест 4 | Субтест 5 |
|--------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Среднее | 0,91 | 2,13 | 2,20 | 4,28 | 1,78 |
| Стандартная ошибка | 0,06 | 0,16 | 0,12 | 0,17 | 0,16 |
| Медиана | 0,8 | 1,4 | 1,7 | 4 | 1,2 |
| Мода | 1 | 1 | 1,2 | 4 | 1,2 |

Процентильные значения показателей субтестов представлены в табл. 2.

Дополнительно для оценки уровня развития способности глазомера к точному воспроизведению пространственных интервалов были разработаны стеновые варианты по каждому из 5 субтестов как инструмент для дифференцирования военнослужащих по значению показателя «Ошибка точности», регистрируемого при выполнении методики «Глазомер».

Стеновые величины показателя «Ошибка точности» для методики «Установка середины отрезков» следующие: 1-й стен — <0,2 мм; 2-й — 0,2–0,4; 3-й — 0,4–0,7; 4-й — 0,7–1,2; 5-й — 1,2–1,4; 6-й — 1,4–1,7; 7-й — 1,7–2,2; 8-й — 2,2–3,8; 9-й — 3,8–6,3; 10-й стен — 9,5 мм.

Стеновые величины показателя «Ошибка точности» для методики «Разделение отрезков на три равные части» следующие: 1-й стен — <1 мм; 2-й — 0,1–0,2; 3-й — 0,2–0,3; 4-й — 0,3–0,4; 5-й — 0,4–0,7; 6-й — 0,7–1,33; 7-й — 1,33–1,94; 8-й — 1,94–2; 9-й — 2–2,2; 10-й стен — 2,7 мм.

Стеновые величины показателя «Ошибка точности» для методики «Определение пересечения лучей из общего центра со сторонами прямоугольника» следующие: 1-й стен — <1,77 мм; 2-й — 1,77–1,98; 3-й — 1,98–2,11; 4-й — 2,11–2,25; 5-й — 2,25–2,34; 6-й — 2,34–2,94; 7-й — 2,94–3,34; 8-й — 3,34–4,91; 9-й — 4,91–6; 10-й стен — 6,9 мм.

Стеновые величины показателя «Ошибка точности» для методики «Определение предполагаемого

пересечения двух прямых, образующих треугольник, с третьей» следующие: 1-й стен — <3,29 мм; 2-й — 3,29–4,92; 3-й — 4,92–5; 4-й — 5–6; 5-й — 6–6,7; 6-й — 6,7–7,23; 7-й — 7,24–8; 8-й — 8–9,3; 9-й — 9,3–10; 10-й стен — 12 мм.

Стеновые величины показателя «Ошибка точности» для методики «Определение центров и мест пересечения 10 окружностей друг с другом» следующие: 1-й стен — <0,3 мм; 2-й — 0,3–0,5; 3-й — 0,5–0,9; 4-й — 0,9–0,015; 5-й — 0,015–0,021; 6-й — 0,021–0,026; 7-й — 0,026–0,033; 8-й — 0,033–0,037; 9-й — 0,037–0,042; 10-й стен — 0,045 мм.

Стеновые значения показателей субтестов представлены в табл. 3.

С помощью разработанных таблиц можно оценить обследуемого в зависимости от способности глазомера к точному определению пространственных интервалов.

ВЫВОДЫ

Таким образом, методика «Глазомер» является инструментом для дифференцировки военнослужащих в зависимости от их способности к точному распознаванию пространственных интервалов. Разработанные шкалы дифференцирования кандидатов позволяют определять место обследуемого (номер зоны) среди всей совокупности кандидатов в зависимости от значения первичного показателя с одной из 10 подгрупп при использовании процентильной шкалы и осуществлять оценку выраженности профессионально важной функции с помощью 10-стеновой шкалы.

Таблица 2. Процентильные значения показателей субтестов

| | | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------|-----|------|------|-----|------|-----|------|-----|------|-----|-----|
| 1-й субтест | Процентиль | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 95 |
| | Значение, мм | 0 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,6 | 0,8 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,6 | 2 |
| 2-й субтест | Процентиль | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 95 |
| | Значение, мм | 0,2 | 0,3 | 0,64 | 0,9 | 1,2 | 1,4 | 1,72 | 2 | 3 | 5,2 | 6,1 |
| 3-й субтест | Процентиль | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 95 |
| | Значение, мм | 0,6 | 0,87 | 1,04 | 1,2 | 1,5 | 1,7 | 2 | 2,2 | 3 | 4 | 6,2 |
| 4-й субтест | Процентиль | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 95 |
| | Значение, мм | 0,8 | 1,17 | 2 | 2,7 | 3,58 | 4 | 4,4 | 5,3 | 6,3 | 8,3 | 8,8 |
| 5-й субтест | Процентиль | 5 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 95 |
| | Значение, мм | 0 | 0,2 | 0,4 | 0,8 | 1 | 1,1 | 1,2 | 1,4 | 2,02 | 4,8 | 7,8 |

Таблица 3. Стеновые значения показателей субтестов

| | | | | | | | | | | | |
|-------------|--------------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|-----|
| 1-й субтест | Стены | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Значение, мм | 0,2 | 0,4 | 0,7 | 1,2 | 1,4 | 1,7 | 2,2 | 3,8 | 6,3 | 9,5 |
| 2-й субтест | Стены | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Значение, мм | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,7 | 1,33 | 1,94 | 2 | 2,2 | 2,7 |
| 3-й субтест | Стены | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Значение, мм | 1,77 | 1,98 | 2,11 | 2,25 | 2,34 | 2,94 | 3,34 | 4,91 | 6 | 6,9 |
| 4-й субтест | Стены | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Значение, мм | 3,29 | 4,92 | 5 | 6 | 6,7 | 7,24 | 8 | 9,3 | 10 | 12 |
| 5-й субтест | Стены | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| | Значение, мм | 0,3 | 0,5 | 0,9 | 1,5 | 2,1 | 2,6 | 3,3 | 3,7 | 4,2 | 4,5 |

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» (протокол № 50 от 26.03.2021).

Вклад авторов. С.А. Авдюшенко — анализ данных, литературный поиск, редактирование текста статьи. И.Ф. Серый — написание текста статьи, анализ данных, полученных при исследовании, редактирование текста статьи. С.Д. Хрущев — организация проведения исследования, анализ данных. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Военная доктрина Российской Федерации № 2976. Утверждена Президентом РФ 25.12.2014 г. М., 2014. Режим доступа: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/2940> (дата обращения 27.01.2021).
2. Об утверждении Руководства по профессиональному психологическому отбору в ВС РФ: приказ МО РФ от 26 января 2000 г. № 50. М., 2000. 41 с. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=84278> (дата обращения: 27.01.2021).
3. Об утверждении Положения о психологической службе ВС РФ: приказ МО РФ от 28 сентября 2015 г. № 576. М., 2015. 20 с. Режим доступа: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=370517> (дата обращения: 27.01.2021).
4. Об утверждении Инструкции об организации и проведении профессионального психологического отбора в ВС РФ: приказ

министра обороны РФ от 31 октября 2019 г. № 640. М., 2012. 20 с. Режим доступа: <https://minjust.consultant.ru/documents/44802> (дата обращения: 27.01.2021).

5. Медведев В.И., Аверьянов В.С., Айдаралиев А.А., и др. Физиология трудовой деятельности. СПб.: Наука, 1993. 522 с.
6. Справочник должностей солдат, матросов, сержантов и старшин, проходящих службу по контракту. М., 2008. 440 с.
7. Новиков В.С., Андрианов В.П., Бортновский В.Н., и др. Методы исследования в физиологии военного труда. Руководство / под ред. В.С. Новикова. М.: Воениздат, 1993. 240 с.
8. Сысоев В.Н., Ганопольский В.П., Мясников А.А., и др. Физиология военного труда. СПб.: Любавич, 2011. 455 с.

REFERENCES

1. Military Doctrine of the Russian Federation No. 2976. Approved by the President of the Russian Federation on December 25, 2014. Moscow; 2014. Available from: <https://www.mchs.gov.ru/dokumenty/2940> (accessed: Jan 01, 2021). (In Russ.)
2. Manual for Professional Psychological Selection in the Armed Forces of the Russian Federation approval: Order of the Ministry of Defense of the Russian Federation dated January 26, 2000 No. 50. Moscow; 2000. P. 41. Available from: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=84278> (accessed: Jan 01, 2021). (In Russ.)
3. Regulation on the Psychological Service of the Armed Forces of the Russian Federation approval: Order of the Ministry of Defense of the Russian Federation of September 28, 2015 No. 576. Moscow; 2015. P. 20. Available from: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=370517> (accessed: Jan 01, 2021). (In Russ.)

4. Instruction on the organization and conduct of professional psychological selection in the Armed Forces of the Russian Federation approval: Order of the Minister of Defense of the Russian Federation of October 31, 2019 No. 640. Moscow; 2012. P. 20. Available from: <https://minjust.consultant.ru/documents/44802> (accessed: Jan 01, 2021). (In Russ.)
5. Medvedev VI, Averyanov VS, Aidaraliev AA, et al. *Physiology of labor activity*. Saint Petersburg: Nauka Publisher; 1993. 522 p. (In Russ.)
6. *Directory of positions of soldiers, sailors, sergeants and foremen serving under the contract*. Moscow; 2008. 440 p. (In Russ.)
7. Novikov VS, Andrianov VP, Bortnovsky VN, et al. *Researching methods in the physiology of military labor*. Manual. V.S. Novikov, ed. Moscow: Voenizdat Publisher; 1993. 240 p. (In Russ.)
8. Sysoev VN, Ganapolsky VP, Myasnikov AA, et al. *Physiology of military labor*. Saint Petersburg: Lyubavich Publisher; 2011. 455 p. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

*Иван Федорович Серый, курсант;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; eLibrary SPIN: 3083-2038; e-mail: serii.iv@gmail.com

Семен Дмитриевич Хрущев, курсант; eLibrary SPIN: 8993-7963;
e-mail: Sem.Khrushev@gmail.com

Сергей Александрович Авдюшенко, канд. мед. наук;
eLibrary SPIN: 3727-4063; e-mail: sa.avduchenko@mail.ru

AUTHORS INFO

*Ivan F. Seryi, cadet;
address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
eLibrary SPIN: 3083-2038; e-mail: serii.iv@gmail.com

Semyon D. Khrushchev, cadet; eLibrary SPIN: 8993-7963;
e-mail: Sem.Khrushev@gmail.com

Sergey A. Avdyushenko, MD, PhD (Medicine);
eLibrary SPIN: 3727-4063; e-mail: sa.avduchenko@mail.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64493>

Моделирование механической травмы глаза. Актуальность. История вопроса

© Д.Р. Здоровцов*, С.В. Чурашов, А.Н. Куликов, А.А. Кольбин

Федеральное государственное бюджетное военное образовательное учреждение высшего образования «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Санкт-Петербург

Доля глазного травматизма в России составляет от 3 до 8 % от общего числа травм в мирное время. Травма глаза входит в «тройку» основных причин, приводящих к инвалидности по зрению, и составляет 22,8 %. В военное время массовое поступление раненых с поражением органа зрения требует оперативных решений по их сортировке, лечению, реабилитации, увольнению или возвращению в строй. В мирное время механическая травма глаза сопряжена с инвалидизацией работоспособного населения и большими материальными затратами. Учитывая актуальность механической травмы глаза, офтальмологи всего мира постоянно исследуют особенности патогенетического механизма, диагностики и лечения. Ретроспективные исследования основываются на анализе клинических случаев, которые не всегда однородны. Экспериментальное моделирование повреждений имеет давнюю историю. Попытки моделирования механической травмы глаза предпринимаются с 40-х гг. XX в. Математические модели рассчитываются на основе известных данных: толщины, плотности, упругости тканей, это позволяет прогнозировать результат воздействия ранящим агентом. К сожалению, в этих моделях затруднительно воспроизвести весь комплекс патоморфологических изменений. А созданные модели выполняли поставленные задачи, но имели определенные недостатки. В каждом последующем эксперименте улучшалась воспроизводимость и модель максимально точно приближалась к искомой. Специалисты кафедры офтальмологии имени профессора В.В. Волкова Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова с 40-х гг. занимаются решением данной проблемы. Б.Л. Поляк впервые в эксперименте доказал, что закрытие ран глазного яблока роговичными и склеральными швами имеет преимущество перед операцией конъюнктивального покрытия. Б.В. Монахов и соавт. создали установку для нанесения минно-взрывной травмы глаза. М.М. Шишкин в эксперименте наносил комбинированную травму глаза путем удара ножом с прямоугольным лезвием по склере и выстрела из пневматической винтовки по рукоятке ножа. Б.А. Каневский и соавт. воспроизводили огнестрельную открытую травму глаза типа D выстрелом из пневматической винтовки с мультикомпрессионным поршневым насосом. Создание моделей, воспроизводящих механическую травму глаза, позволяло исследовать ее в эксперименте, что улучшало качество диагностики и снижало долю инвалидизации при данной патологии (библ.: 24 ист.).

Ключевые слова: закрытая травма глаза; кафедра офтальмологии имени профессора В.В. Волкова; механическая травма глаза; открытая травма глаза; офтальмология; экспериментальное моделирование.

Как цитировать:

Здоровцов Д.Р., Чурашов С.В., Куликов А.Н., Кольбин А.А. Моделирование механической травмы глаза. актуальность. история вопроса // Известия Российской Военно-медицинской академии. 2021. Т. 40. № 1. С. 91–96. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64493>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64493>

Modeling of mechanical eye injury. Relevance. Background

© Dmitry R. Zdorovtsov*, Sergey V. Churashov, Aleksey N. Kulikov, Aleksey A. Kol'bin

S.M. Kirov Military Medical Academy of the Russian Defense Ministry, Saint Petersburg, Russia

The share of eye injuries in Russia is from 3 to 8% of the total number of injuries in peacetime. Eye trauma is one of the three main causes of vision disability and accounts for 22.8%. In wartime, the mass admission of wounded with damage to the organ of vision requires prompt decisions on their sorting, treatment, rehabilitation, dismissal, or return to duty. In peacetime, mechanical trauma to the eye is associated with the disability of the working population and large material costs. Considering the relevance of mechanical trauma to the eye, ophthalmologists around the world are constantly investigating the features of the pathogenetic mechanism, diagnosis, and treatment. Retrospective studies are based on the analysis of clinical cases, which are not always homogeneous. Experimental damage modeling has a long history. Attempts to simulate mechanical eye trauma have been made since the 40s of the XX century. Mathematical models are calculated based on known data: thickness, density, the elasticity of tissues, this makes it possible to predict the result of exposure to a wounding agent. Unfortunately, in these models, it is difficult to reproduce the entire complex of pathomorphological changes. The created models fulfilled the assigned tasks but had certain drawbacks. In each subsequent experiment, the reproducibility improved and the model approached the desired one as accurately as possible. Specialists of the Professor V.V. Volkov Ophthalmology Department S.M. Kirov Military Medical Academy since the 40s. are engaged in solving this problem. For the first time in an experiment, B.L. Pole proved that closure of eyeball wounds with corneal and scleral sutures has an advantage over conjunctival covering. B.V. Monakhov et al. created an installation for inflicting mine-explosive injury to the eye. In the experiment, M.M. Shishkin inflicted a combined eye injury by striking the sclera with a knife with a rectangular blade and firing an air rifle at the knife handle. B.A. Kanevsky et al. reproduced a D-type gunshot open eye injury shot from an air rifle with a multi-compression piston pump. The creation of models that reproduce the mechanical trauma of the eye made it possible to study it in an experiment, which improved the quality of diagnostics and reduced the proportion of disability in this pathology (bibliography: 24 refs).

Keywords: closed eye injury; Department of Ophthalmology named after Professor V.V. Volkov; experimental modeling; mechanical eye injury; open eye injury; ophthalmology.

To cite this article:

Zdorovtsov DR, Churashov SV, Kulikov AN, Kol'bin AA. Modeling of mechanical eye injury. Relevance. Background. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2021;40(1):91–96. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar64493>

Received: 28.02.2021

Accepted: 14.03.2021

Published: 23.03.2021

ВВЕДЕНИЕ

Механические повреждения глаз регистрируются у 114,5 человек на 100 000 населения [1], по данным Р.А. Гундоровой, в России и странах СНГ — около 1,6 млн травм глаз в год [3]. В России в мирное время глазной травматизм составляет от 3 до 8 % от общего числа травм [2]. До 32 % коечного фонда офтальмологических стационаров занято пациентами с глазными травмами [1], которые входят в «тройку» основных причин, приводящих к инвалидности по зрению, и при этом ее доля составляет 22,8 % [4].

Закрытая травма глаза (ЗТГ) встречается в 41,9 % всех травм глаза в мирное время [5] и является результатом бытовой, спортивной, производственной травмы и т. д. [2]. Так, на долю бытовой ЗТГ приходится 72,1 % [6], а криминальной — от 50 до 64,7 % [7]. По данным Е.В. Ченцовой и соавт. наибольшее число обращений с ЗТГ встречается среди лиц от 20 до 50 лет, что составляет 63,83 % [1].

Открытая травма глаза (ОТГ) в мирное время в структуре глазного травматизма диагностируется от 13,8 до 70,4 % [8]. Доля ее резко увеличивается при террористических катастрофах и на войне [9].

В период Великой Отечественной войны повреждения глаз составляли 1–2 % [10]. В войне в Афганистане офтальмологические санитарные потери составляли до 5,6 % [11]. В вооруженном конфликте на Северном Кавказе — до 10,2 %, при этом ЗТГ была в 32,8 % среди всех травм органа зрения [12]. По данным В.В. Волкова, на долю ОТГ в боевой обстановке приходится 70–75 % от всех механических повреждений глаза [11].

В военное время массовое поступление раненых с поражением органа зрения требует оперативных решений по их сортировке, лечению и возвращению в строй. В мирное время механическая травма глаза (МТГ) сопряжена с инвалидизацией работоспособного населения и большими материальными затратами. Надо помнить, что в условиях научного прогресса у пациентов повышены требования к функциональным исходам травм, поэтому задачей специалистов является оптимизация путей диагностики и лечения пострадавших с МТГ в мирных условиях и на поле боя. Реализовывать это приходится параллельно с постоянной индустриализацией, модернизацией летального и нелетального оружия, а также в условиях совершенствования методов диагностики и лечения.

Для решения этих проблем офтальмологами всего мира ведется постоянная работа по всестороннему изучению МТГ.

Цель — исследовать основные исторические этапы моделирования травмы и механической травмы глаза, описать основные виды экспериментов при ее моделировании, определить перспективы этого научно-исторического направления.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В Фундаментальной библиотеке Военно-медицинской академии имени С.М. Кирова, на веб-сайтах Google Академия и PubMed изучена литература по экспериментальному моделированию патологий в медицине и в офтальмологии. Выполнен научно-исторический анализ существующих моделей механической травмы глаза.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Моделирование — это метод повторения и изучения фрагмента действительности (события, ситуации) или управления им на основании представления объекта исследования с использованием его копии (модели).

Научно-исторический анализ литературы показал, что все направления по исследованию МТГ можно условно разделить на моделирование ЗТГ и ОТГ. Каждый из этих типов МТГ возможно изучить, выполняя клинические исследования и экспериментальное моделирование.

В клинических наблюдениях анализируется и обобщается клинический материал [8, 11, 13]. Одним из недостатков ретроспективных клинических исследований является малая по количеству наблюдений выборка. Эти выборки неоднородны и поэтому выдают недостоверный результат при использовании их данных в эксперименте.

G. Dupuytren еще в 1836 г. занимался исследованием огнестрельной травмы в эксперименте [14]. Вместе со своими учениками он стреляли по объектам с разными свойствами (свинцовые пластины, трупы, войлок и др.). Выявили, что огнестрельный канал имеет воронкообразную форму и выходное отверстие больше, чем входное.

Н.И. Пирогов также исследовал огнестрельную рану в эксперименте на трупах и препаратах их кожи [14]. На основании полученных данных и наблюдений за ранеными он установил, что выходное отверстие больше только в том случае, если снаряд контактировал и деформировался о кость.

Экспериментальное моделирование следует разделять на математическое и практическое (с использованием лабораторных животных). Математические модели рассчитываются для анализа изменений структур глаза от воздействия ранящего агента на основе известных данных: толщины, плотности и упругости тканей [13, 15].

B. Notghi и соавторы представили математическую модель глаза, фиксированного в глазнице («твердом черепе»), и действия взрывной волны на него — квази-несжимаемая неогуковская гиперэластичная модель. В этой модели рассчитываются максимальные изменения в структурах глаза, предшествующие разрыву его фиброзной капсулы [16].

В России профессором Е.Е. Сомовым разработана трехмерная компьютерная модель биомеханических

процессов, возникающих в момент воздействия силы на глазное яблоко. В модели обозначены изменения как анатомических структур во время удара, так и изменение внутриглазного давления, а также выделены фазы компрессионного и декомпрессионного воздействия на глаз [13]. Этот метод является наиболее гуманным. Но при использовании данных моделей невозможно исследование биохимических и патогенетических процессов травмы.

Модели на экспериментальных животных позволяют исследовать травму глаза с помощью лабораторных и инструментальных методов. В XXI в. исследователи создают модели преимущественно на глазах мелких лабораторных животных. Так, R.J. Blanch скидывал небольшие стальные шарики на глаза мышей и стрелял по ним пластмассовыми снарядами малого калибра [17]. С. Bricker-Anthony стрелял по глазу мыши сжатым воздухом из пейнтбольного ружья [18]. Недостатком данных моделей являются размер и строение глаза мелкого лабораторного животного. Это приводит к низкой воспроизводимости моделей при реализации на других животных.

Z. Gregor и S.J. Ryan создали комбинированную травму глаза в эксперименте на свиньях [19]. Недостатком модели является разобщение проникающего ранения и контузии во времени, а также наличие у лабораторного животного толстой склеры. Это препятствовало выпадению стекловидного тела и возникновению пролиферативной витреоретинопатии, что не соответствовало патоморфологии огнестрельной открытой травмы глаза (ООТГ).

С 40-х гг. XX в. на кафедре офтальмологии ВМедА ведется работа по экспериментальному моделированию МТГ. Б.Л. Поляк в 1948 г. в эксперименте исследовал действие препаратов при непроникающих ранах роговицы и впервые в эксперименте доказал, что закрытие ран глазного яблока роговичными и склеральными швами имеет преимущество перед операцией конъюнктивального покрытия [20, 21]. Б.В. Монахов создал модель для нанесения минно-взрывных поражений органа зрения [22]. М.М. Шишкин с соавт. в 2002 г. моделировали комбинированное ранение путем нанесения проникающей раны ножом с прямоугольным лезвием, по рукоятке которого наносился выстрел из пневматической винтовки для реализации контузионного компонента МТГ [23]. Достоинством

данной модели являлось отсутствие инородного тела внутри глазного яблока, недостатком — разобщение патогенетических факторов по времени. В 2018 г. Б.А. Каневским и соавт. создана новая модель ОТГ типа D на базе мультикомпрессионной пневматической винтовки [24]. Реализованная модель наиболее схожа с ООТГ по этиологическим и патогенетическим особенностям.

Все созданные модели несли конкретную цель и были актуальны на момент создания. На сегодняшний день продолжается работа над созданием экспериментальных моделей ЗТГ и ОТГ.

ВЫВОДЫ

Актуальность изучения МТГ с использованием ЭМ обусловлена увеличением случаев данного вида повреждений в мирное и военное время, а также разнородностью клинических данных.

Несмотря на высокую научно-историческую ценность уже созданных моделей МТГ, ни одна из них не воспроизводит этиопатогенез травм глаза полностью.

На кафедре офтальмологии имени профессора В.В. Волкова разрабатываются новые модели ЗТГ и ОТГ, более точно воспроизводящие современную механическую травму глазного яблока.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Финансирование данной работы не проводилось.

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

Этическая экспертиза. Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С.М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации.

Вклад авторов. Д.Р. Здоровцов — анализ данных, литературный поиск, написание текста статьи. А.А. Кольбин — литературный поиск, редактирование текста статьи. А.Н. Куликов, С.В. Чурашов — редактирование текста статьи. Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Касымов Ф.О., Куликов В.С., Николаенко В.П., Зумбулдзе Н.Г. Механическая травма органа зрения. Учебное пособие. СПб., 2014. 51 с.
2. Ченцова Е.В., Алексеева И.Б., Иванов А.Н. Эпидемиология современной закрытой травмы органа зрения по данным специализированного стационара // Евразийский союз ученых. 2020. № 1-1 (70). С. 46–49.
3. Гундорова Р.А., Степанов А.В., Курбанова Н.Ф. Современная офтальмотравматология. М.: Медицина, 2007. 256 с.
4. Гундорова Р.А., Нероев В.В., Кашников В.В. Травмы глаз. М.: ГэотарМедиа, 2009. 553 с.
5. Shah S.M., Shah M.A., Singh R., et al. A prospective cohort study on the epidemiology of ocular trauma associated with closed-globe injuries in pediatric age group // Indian J. Ophthalmol. 2020. Vol. 68, No. 3. P. 500–503. DOI: 10.4103/ijo.IJO_463_19
6. Mansouri M.R., Mirshahi A., Hosseini M. Domestic ocular injuries: a case series // Eur. J. Ophthalmol. 2007. Vol. 17, No. 4. P. 654–659. DOI: 10.1177/112067210701700427

7. Ченцова Е.В., Алексеева И.Б., Куликов А.Н., и др. Клинические рекомендации закрытой травмы глаза / под ред. В.В. Нероева. Министерство здравоохранения РФ, 2017.
8. Yonekawa Y., Hacker H.D., Lehman R.E., et al. Ocular blast injuries in mass-casualty incidents: the marathon bombing in Boston, Massachusetts, and the fertilizer plant explosion in West, Texas // *Ophthalmology*. 2014. Vol. 121, No. 9. P. 1670–1676. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.04.004
9. Sobaci G., Akın T., Mutlu, F.M., et al. Terror-Related Open-globe Injuries: A 10-year Review // *Am. J. Ophthalmol.* 2005. Vol. 139, No. 5. P. 937–939. DOI: 10.1016/j.ajo.2004.11.009
10. Вишневецкий Н.А. Заключение. В кн.: Опыт советской медицины в Великой Отечественной войне. Т. 7. М., 1951. С. 303–322.
11. Волков В.В. Открытая травма глаза: монография. СПб.: ВМедА, 2016. 280 с.
12. Леонгардт Т.А., Белевитин А.Б., Бойко Э.В., Чурашов С.В., Харитонов Н.Н. Организация оказания специализированной офтальмологической помощи пострадавшим с закрытой травмой глаза (по материалам вооруженных конфликтов на Северном Кавказе 1994–1996 и 1999–2002 гг.) // *Вестник Российской военно-медицинской академии*. 2011. № 1 (33). С. 201–204.
13. Сомов Е.Е., Кутуков А.Ю. Тупые травмы органа зрения / под ред. Е.Е. Сомова. М.: МЕДпресс-информ, 2009. 100 с.
14. Озерецковский Л.Б., Гуманенко Е.К., Бояринцев В.В. Раневая баллистика: история и современное состояние огнестрельного оружия и средств индивидуальной бронезащиты. СПб.: Калашников, 2006. 374 с.
15. Bailoor S., Bhardwaj R., Nguyen T.D. Effectiveness of eye armor during blast loading // *Biomech. Model. Mechanobiol.* 2015. Vol. 14, No. 6. P. 1227–1237. DOI: 10.1007/s10237-015-0667-z
16. Notghi B., Bhardwaj R., Bailoor S., et al. Biomechanical Evaluations of Ocular Injury Risk for Blast Loading // *J. Biomech.*

Eng. 2017. Vol. 139, No. 8. P. 081010 (9 pages). DOI: 10.1115/1.4037072

17. Blanch R.J., Ahmed Z., Sik A., et al. Neuroretinal cell death in a murine model of closed globe injury: pathological and functional characterization // *Invest. Ophthalmol. Vis. Sci.* 2012; Vol. 53, No. 11. P. 7220–7226. DOI: 10.1167/iovs.12-9887
18. Bricker-Anthony C., Hines-Beard J., Rex T.S. Eye-directed overpressure airwave-induced trauma causes lasting damage to the anterior and posterior globe: a model for testing cell-based therapies // *J. Ocul. Pharmacol. Ther.* 2016. Vol. 32, No. 5. P. 286–295. DOI: 10.1089/jop.2015.0104
19. Gregor Z., Ryan S.J. Combined posterior contusion and penetrating injury in the pig eye. I. A natural history study // *Br. J. Ophthalmol.* 1982. Vol. 66, No. 12. P. 793–798. DOI: 10.1136/bjo.66.12.793
20. Панкова Е.Д. Поляк Борис Львович и его значительный вклад в развитие военно-полевой офтальмологии. Вестник СМУС74. 2018. Т. 2, № 3 (22). С. 46–48.
21. Волков В.В., Бойко Э.В., Кириллов Ю.А., Рейтузов В.А. Борис Львович Поляк (к 110-летию со дня рождения) // *Офтальмологические ведомости*. 2009. Т. 2, № 2. С. 107–110.
22. Монахов Б.В., Гладких А.В. Защитные свойства мягких контактных линз от взрывов малой мощности. Огнестрельная травма органа зрения. Тез. докл. научной конференции, посвященной 90-летию со дня рождения проф. Б.Л. Поляка. Л.: ВМедА, 1989. 22 с.
23. Шишкин М.М., Миронов А.В. Вариант экспериментальной модели открытой травмы глазного яблока. Актуальные проблемы офтальмологии. Сборник тезисов по материалам 10-й научно-практической конференции. М., 2007.
24. Каневский Б.А., Чурашов С.В., Куликов А.Н., и др. Стандартизированная экспериментальная модель огнестрельной открытой травмы глаза // *Современные технологии в офтальмологии*. 2018. № 4. С. 147–149.

REFERENCES

1. Kasymov FO, Kulikov VS, Nikolaenko VP, Zumbulidze NG. *Mechanical trauma to the organ of vision*. Tutorial. Saint Petersburg; 2014. (In Russ.)
2. Chentsova EV, Alekseeva IB, Ivanov AN. Epidemiology of modern closed eye injury according to the data of a specialized hospital. *Eurasian Union of Scientists*. 2020;1-1(70):46–49. (In Russ.)
3. Gundorova RA, Stepanov AV, Kurbanova NF. *Modern ophthalmotraumatology*. Moscow: Meditsina Publisher; 2007. (In Russ.)
4. Gundorova RA, Neroev VV, Kashnikov VV. *Eye trauma*. Moscow: GeotarMedia Publisher; 2009. (In Russ.)
5. Shah SM, Shah MA, Singh R, et al. A prospective cohort study on the epidemiology of ocular trauma associated with closed-globe injuries in pediatric age group. *Indian J Ophthalmol.* 2020;68(3): 500–503. DOI: 10.4103/ijo.IJO_463_19
6. Mansouri MR, Mirshahi A, Hosseini M. Domestic ocular injuries: a case series. *Eur J Ophthalmol.* 2007;17(4):654–659. DOI: 10.1177/112067210701700427
7. Chentsova EV, Alekseeva IB, Kulikov AN, et al. *Clinical practice guidelines for closed eye injury*. Neroyev VV, ed. Ministry of Health of the Russian Federation; 2017. (In Russ.)
8. Yonekawa Y, Hacker HD, Lehman RE, et al. Ocular blast injuries in mass-casualty incidents: the marathon bombing in Boston, Mas-

sachusetts, and the fertilizer plant explosion in West, Texas. *Ophthalmology*. 2014;121(9):1670–1676. DOI: 10.1016/j.ophtha.2014.04.004

9. Sobaci G, Akın T, Mutlu, FM, et al. Terror-Related Open-globe Injuries: A 10-year Review. *Am J Ophthalmol.* 2005;139(5):937–939. DOI: 10.1016/j.ajo.2004.11.009
10. Vishnevsky NA. Conclusion. In: *Experience of Soviet medicine in the Great Patriotic War*. Т. 7. Moscow; 1951. P. 303–322. (In Russ.)
11. Volkov VV. *Open trauma of the eye: monograph*. Saint Petersburg: VMedA Publisher; 2016. (In Russ.)
12. Leongardt TA, Belevitin AB, Boyko EV, Churashov SV, Kharitonova NN. Specialized medical care management for the wounded with closed globe injury (according to the materials of local armed conflicts on the territory of the Northern Caucasus in 1994–1996 and 1999–2002 years). *Vestnik Rossiyskoy voyenno-meditsinskoy akadtmii*. 2011;1(33):201–204. (In Russ.)
13. Somov EE, Kutukov AY. *Blunt trauma to the organ of vision*. Somov EE, ed. Moscow: MEDpress-inform Publisher; 2009. (In Russ.)
14. Ozeretskovsky LB, Humanenko EK, Boyarintsev VV. *Wound ballistics: history and current state of firearms and personal body armor*. Saint Petersburg: Kalashnikov Publishing House; 2006. (In Russ.)

- 15.** Bailoor S, Bhardwaj R, Nguyen TD. Effectiveness of eye armor during blast loading. *Biomech Model Mechanobiol.* 2015;14(6):1227–1237. DOI: 10.1007/s10237-015-0667-z
- 16.** Notghi B, Bhardwaj R, Bailoor S, et al. Biomechanical Evaluations of Ocular Injury Risk for Blast Loading. *J Biomech Eng.* 2017;139(8):081010. DOI: 10.1115/1.4037072
- 17.** Blanch RJ, Ahmed Z, Sik A, et al. Neuroretinal cell death in a murine model of closed globe injury: pathological and functional characterization. *Invest Ophthalmol Vis Sci.* 2012;53(11):7220–7226. DOI: 10.1167/iovs.12-9887
- 18.** Bricker-Anthony C, Hines-Beard J, Rex TS. Eye-Directed Overpressure Airwave-Induced Trauma Causes Lasting Damage to the Anterior and Posterior Globe: A Model for Testing Cell-Based Therapies. *J Ocul Pharmacol Ther.* 2016;32(5):286–295. DOI: 10.1089/jop.2015.0104
- 19.** Gregor Z, Ryan SJ. Combined posterior contusion and penetrating injury in the pig eye. I. A natural history study. *Br J Ophthalmol.* 1982;66(12):793–798. DOI: 10.1136/bjo.66.12.793
- 20.** Pankova E.D. Polyak Boris Lvovich and his significant contribution to the development of military field ophthalmology. *Bulletin SMUS74.* 2018;2(3 (22)):46–48. (In Russ.)
- 21.** Volkov VV, Boyko EV, Kirillov YA, Reituzov VA. Boris Lvovich Polyak (on the occasion of his 110th birthday). *Ophthalmology journal.* 2009;2(2):107–110. (In Russ.)
- 22.** Monakhov BV, Gladkikh AV. Protective properties of soft contact lenses against low-power explosions. *Ognestrel'naya travma organa zreniya* (Gunshot injury to the organ of vision). Abstracts. Report scientific conference dedicated to the 90th anniversary of the birth of prof. B.L. Pole. Leningrad: VMedA Publisher; 1989. (In Russ.)
- 23.** Shishkin MM, Mironov AV. A variant of the experimental model of an open trauma of the eyeball. *Aktual'nyye problemy oftal'mologii* (Actual problems of ophthalmology). A collection of abstracts based on the materials of the 10th scientific-practical conference. Moscow; 2007. (In Russ.)
- 24.** Kanevsky BA, Churashov SV, Kulikov AN, et al. A standardized experimental model of a gunshot open eye injury. *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii.* 2018;(4):147–149. (In Russ.)

ОБ АВТОРАХ

***Дмитрий Романович Здоровцов**, курсант;
адрес: Россия, 194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; eLibrary SPIN: 5753-3051; e-mail: zd97@mail.ru

Сергей Викторович Чурашов, докт. мед. наук, профессор;
eLibrary SPIN: 5370-7410

Алексей Николаевич Куликов, докт. мед. наук, доцент;
eLibrary SPIN: 6440-7706

Алексей Анатольевич Кольбин, врач-офтальмолог;
eLibrary SPIN: 4718-5171

AUTHORS INFO

***Dmitry R. Zdorovtsov**, cadet;
address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia;
eLibrary SPIN:5753-3051; e-mail: zd97@mail.ru

Sergey V. Churashov, MD, DSc (Medicine), Professor;
eLibrary SPIN: 5370-7410

Aleksey N. Kulikov, MD, DSc (Medicine), Associate Professor;
eLibrary SPIN: 6440-7706

Aleksey A. Kol'bin, ophthalmologist;
eLibrary SPIN: 4718-5171