

ISSN 2078-5631(Print)
ISSN 2949-2807(Online)

Издается с 2002 года. Включен в Перечень ВАК

Серии научно-практических рецензируемых журналов



Медицинский алфавит

№32/2023



Modern Functional
DIAGNOSTICS

MEDICAL ALPHABET
Russian Professional Medical Journal

Современная
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ
ДИАГНОСТИКА (4)

РАСФД



www.medalfavit.ru
www.med-alphabet.com

Научный сайт журнала

www.med-alfabet.com

Медицинский портал издательства

www.medalfavit.ru

Издательство медицинской литературы

ООО «Альфамед»

+7 (495) 616-48-00

medalfavit@mail.ru

Россия, 129515, Москва, а/я 94

Учредитель и главный редактор

издательства

Татьяна Владимировна Синецкая

Адрес редакции

Москва, ул. Академика Королева, 13, стр. 1,
оф. 720

Главный редактор журнала

Сергей Сергеевич Петриков, д.м.н.,
проф., член-корр. РАН, директор ГБУЗ «НИИ
СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»

Руководитель проекта «Современная

функциональная диагностика»

Sfd.ma@list.ru

Технический редактор

Александр Сергеевич Савельев

Руководитель отдела продвижения,

распространения и выставочной

деятельности

Борис Борисович Будович

medalfavit_pr@mail.ru

Журнал включен в Перечень ВАК.

Публикуемые материалы могут

не отражать точку зрения редакции.

Исключительные (имущественные)

права с момента получения

материалов принадлежат редакции

журнала «Медицинский алфавит».

Любое воспроизведение материалов

и иллюстраций допускается с письменного

разрешения издателя и указанием ссылки

на журнал.

Редакция не несет ответственности

за содержание рекламных материалов.

К публикации принимаются статьи,

подготовленные в соответствии

с правилами редакции.

За точность сведений об авторах,

правильность цитат и библиографических

данных ответственность несут авторы.

В научной электронной библиотеке

elibrary.ru доступны полные тексты статей.

Каждой статье присвоен идентификатор

цифрового объекта DOI.

Журнал зарегистрирован Министерством

РФ по делам печати, телерадиовещания

и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства

массовой информации

ПИ № 77-11514 от 04.01.2002.

Подписка: на портале

www.medalfavit.ru, podpiska.ma@mail.ru,

«Почта России», «Урал-Пресс» индекс

014517.

Периодичность: 35 номеров в год.

Подписано в печать 27.11.2023.

Формат А4. Цена договорная.

© Медицинский алфавит, 2023

Содержание

- 9 Бронхопровокационный тест с физической нагрузкой: показания, методика проведения, интерпретация результатов
О. И. Савушкина, А. В. Черняк, Е. Р. Кузьмина
- 14 Исследование респираторной функции легких у больных бронхиальной астмой
А. И. Михайловичева, В. В. Смирнов, П. В. Стручков, Н. С. Носенко, А. Г. Сотникова, Е. О. Дьячкова, Т. И. Дивакова, Ю. А. Баженова-Бессонова, И. А. Маничев
- 20 “The pulse oximetry gap” или «ошибка пульсоксиметрии»: определение, причины, диагностика и клиническое значение
В. В. Гноевых, А. Ю. Смирнова, Ю. А. Шорохова, Н. Г. Чернова, М. В. Крестьянинов, А. Б. Песков, В. А. Разин
- 27 Трехмерная векторкардиография в диагностике полной блокады левой ножки пучка Гиса
Ю. Э. Терезулов, М. С. Максимова, Е. Т. Терезулова, Ф. Р. Чувашева, А. Ю. Терезулов, О. И. Милютин, И. И. Милютин
- 35 Стандартизация методик ультразвуковой эластометрии печени и трансторакальной эхокардиографии при синхронном применении у пациентов с хронической сердечной недостаточностью
А. И. Скутарь, А. В. Борсуков
- 42 Ультразвуковая нагрузочная вело-стрессовая диагностика ранней цереброваскулярной дисфункции у пациентов с артериальной гипертензией
А. Б. Тривоженко, В. А. Авхименко
- 47 Ультразвуковая визуализация нейролипоматоза срединного нерва: обзор литературы и описание клинического случая
Т. Е. Халилова, Д. С. Дружинин
- 50 Использование инфракрасной термографии в реабилитации после пластики передней крестообразной связки
М. Н. Величко, А. В. Штурмин, А. Ю. Терсков, А. С. Самойлов, А. М. Белякова
- 54 Подписка

Журнал «Медицинский алфавит» включен в перечень научных рецензируемых изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией Минобрнауки России для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученых степеней кандидата и доктора наук (II квартал) по специальностям:

- 3.1.4 Акушерство и гинекология (медицинские науки);
- 3.1.6 Онкология, лучевая терапия (медицинские науки);
- 3.1.7 Хирургия (медицинские науки);
- 3.1.9 Стоматология (медицинские науки);
- 3.1.18 Внутренние болезни (медицинские науки);
- 3.1.20 Кардиология (медицинские науки);
- 3.1.23 Дерматовенерология (медицинские науки);
- 3.1.24 Неврология (медицинские науки);
- 3.1.27 Ревматология (медицинские науки);
- 3.1.29 Пульмонология (медицинские науки);
- 3.2.1 Гигиена (медицинские науки);
- 3.2.2 Эпидемиология (медицинские науки);
- 3.3.8 Клиническая лабораторная диагностика (медицинские науки);
- 3.1.2 Челюстно-лицевая хирургия (медицинские науки);

- 3.1.17 Психиатрия и наркология (медицинские науки);
- 3.1.19 Эндокринология (медицинские науки);
- 3.1.21 Педиатрия (медицинские науки);
- 3.1.22 Инфекционные болезни (медицинские науки);
- 3.1.25 Лучевая диагностика (медицинские науки);
- 3.1.30 Гастроэнтерология и диетология (медицинские науки);
- 3.1.33 Восстановительная медицина, спортивная медицина, лечебная физкультура, курортология и физиотерапия (медицинские науки).

В связи с продвижением контента журнала в международном научном сообществе и расширением его индексирования в метрических базах данных Scopus, Research4Life, WorldCat, Crossref и т.п., просим оформлять ссылки для цитирования строго по образцу.

Образец для цитирования: Остроумова О.Д., Аляутдинова И.А., Остроумова Т.М., Ебзеева Е.Ю., Павлеева Е.Е. Выбор оптимальной стратегии церебропротекции у полиморбидного пациента, перенесшего инсульт. Медицинский алфавит. 2020; (2):15–19. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-2-15-19>

Journal's Website

www.med-alphabet.com

Publishing House's Website

www.medalfavit.ru

Founder and Editor-in-Chief

Tatyana Sinitska

Alfmed Publishing

+7 (495) 616-48-00, +7 (495) 116-17-70

medalfavit@mail.ru

Box 94, Moscow, 129515, Russia

Editorial Office

Office 720, Bldg. 1, 13 Academician

Korolev Str., Moscow, Russia

Editor-in-Chief

Sergey S. Petricov,

Corr. Member of RAS, Dr. of Sci. (Med.),

Prof.

"Morden Functional

Diagnostics"

Project Manager

Sfd.ma@list.ru

Technical Editor

Alexander Savelyev

Promotion and Distribution

Boris Budovich

medalfavit_pr@mail.ru

The Medical Alphabet is included into the list of scientific peer-reviewed periodicals recommended by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of Russia for publishing scientific results of dissertations for the degree of Candidate and Doctor of Sciences.

Authors' materials do not necessarily reflect the opinion of the Editorial Office. All exclusive (property) rights on materials printed belong to the Editorial Office from the time of their receipt. Any reproduction of materials is allowed with a reference to the Medical Alphabet after a written permission of the publisher. The Editorial Office is not responsible for the content of ads.

Only articles prepared in accordance with the Editorial Office's rules are accepted for publication. Authors are responsible for the accuracy of information, the correctness of citations and bibliographic data.

The full texts of our articles are available at elibrary.ru. DOI is assigned to each article. Registered at the Federal Service for Supervision of Mass Media, Telecommunications, and Protection of Cultural Heritage. Registration ПИ № 77-11514 of 4.01.2002.

Frequency of publication:

35 issues per year.

Subscription: podpiska.ma@mail.ru

Free price.

Signed for press: 27 November 2023.

© 2023 Medical Alphabet

Contents

- 9 **Exercise challenge test: indications, protocol, interpretation of the results**
O. I. Savushkina, A. V. Cherniak, E. R. Kuzmina
- 14 **The study of respiratory function of the lungs in patients with Bronchial Asthma**
A. I. Mikhailovicheva, V. V. Smirnov, P. V. Struchkov, N. S. Nosenko, A. G. Sotnikova, E. O. Dyachkova, T. I. Divakova, Yu. A. Bazhenova-Bessonova, I. A. Manichev
- 20 **"The pulse oximetry gap": definition, reasons, diagnostics and clinical significance**
V. V. Gnoevykh, A. Yu. Smirnova, Yu. A. Shorokhova, M. V. Krestyaninov, A. B. Peskov, V. A. Razin
- 27 **Three-dimensional vector ECG analysis in the diagnosis of the left bundle branch block**
Yu. E. Teregulov, M. S. Maksimova, E. T. Teregulova, F. R. Chuvashaeva, A. Yu. Teregulov, O. I. Milyutina, I. I. Milyutina
- 35 **Standardization of liver ultrasound elastometry and transthoracic echocardiography techniques for simultaneous use in patients with chronic heart failure**
A. I. Skutar, A. V. Borsukov
- 42 **Ultrasonic bicycle exercises diagnostics of early cerebrovascular dysfunction at patients with an arterial hypertension**
A. B. Trivozhenko, V. A. Avkhimenko
- 47 **Ultrasound imaging of median nerve neurolipomatosis: literature review and clinical case description**
T. E. Khalilova, D. S. Druzhinin
- 50 **The use of infrared thermography in rehabilitation after anterior cruciate ligament surgery**
M. N. Velichko, A. V. Shturmin, A. Y. Terskov, A. S. Samoilov, A. M. Belyakova
- 54 **Subscription**

The Medical Alphabet is included into the list of scientific peer-reviewed periodicals recommended by the Higher Attestation Commission of the Ministry of Education and Science of Russia for publishing scientific results of dissertations for the degree of PhD and Doctor of Sciences (II q) in the following specialties:

- | | | | |
|--------|---|--------|---|
| 3.1.4 | Obstetrics and Gynecology (Medical sciences); | 3.1.17 | Psychiatry and Narcology (Medical sciences); |
| 3.1.6 | Oncology, radiation therapy (Medical sciences); | 3.1.19 | Endocrinology (Medical sciences); |
| 3.1.7 | Dentistry (Medical sciences); | 3.1.21 | Pediatrics (Medical sciences); |
| 3.1.9 | Surgery (Medical sciences); | 3.1.22 | Infectious Diseases (Medical sciences); |
| 3.1.18 | Internal medicine (Medical sciences); | 3.1.25 | Radiation Diagnostics (Medical sciences); |
| 3.1.20 | Cardiology (Medical sciences); | 3.1.30 | Gastroenterology and Dietology (Medical sciences); |
| 3.1.23 | Dermatovenereology (Medical sciences); | 3.1.33 | Rehabilitation Medicine, Sports Medicine, Exercise Therapy, Balneology and Physiotherapy (Medical sciences) |
| 3.1.24 | Neurology (Medical sciences); | | |
| 3.1.27 | Rheumatology (Medical sciences); | | |
| 3.1.29 | Pulmonology (Medical sciences); | | |
| 3.2.1 | Hygiene (Medical sciences); | | |
| 3.2.2 | Epidemiology (Medical sciences); | | |
| 3.3.8 | Clinical Laboratory Diagnostics (Medical sciences); | | |
| 3.1.2 | Oral and Maxillofacial Surgery (Medical sciences); | | |

Due to promotion of the journal's content in the international scientific community and indexing it in scientific databases i.e., Scopus, Research4Life, WorldCat, Crossref, etc., we ask authors to provide links for citations according to the sample.

Citation sample: Ostroumova O. D., Alyautdinova I. A., Ostroumova T. M., Ebzeeva E. Yu., Pavleeva E. E. Choosing optimal cerebroprotection strategy for polymorbid stroke patient. Medical alphabet. 2020; (2): 15–19. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-2-15-19>

Главный редактор журнала

Сергей Сергеевич Петриков, д.м.н., проф., член-корр РАН,
директор ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»

Редакционный совет журнала

Акимкин Василий Геннадьевич («Эпидемиология и гигиена»), д.м.н., проф., акад. РАН, директор ФБУН «ЦНИИ эпидемиологии» Роспотребнадзора (Москва)

Артамонова Елена Владимировна («Диагностика и онкотерапия»), д.м.н., проф. НИИ клинической онкологии ФГБУ «НМИЦ онкологии им. Н.Н. Блохина» Минздрава РФ (Москва)

Бабаева Аида Руфатовна («Ревматология»), д.м.н., проф., кафедра факультетской терапии ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Минздрава РФ (Волгоград)

Балан Вера Ефимовна («Современная гинекология»), д.м.н., проф., вице-президент Российской ассоциации по менопаузе, ГБУЗ МО «Московский областной НИИ акушерства и гинекологии» (Москва)

Барбараш Ольга Леонидовна («Коморбидные состояния»), д.м.н., проф., ФГБНУ «НИИ комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний» (Кемерово)

Берестень Наталья Федоровна («Современная функциональная диагностика»), д.м.н., проф., кафедра клинической физиологии и функциональной диагностики Академического образовательного центра фундаментальной и трансляционной медицины ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава РФ (Москва)

Голубев Валерий Леонидович («Неврология и психиатрия»), д.м.н., проф., кафедра нервных болезней ФППОВ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава РФ (Москва)

Евдокимов Евгений Александрович («Неотложная медицина»), д.м.н., проф., ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава РФ (Москва)

Круглова Лариса Сергеевна («Дерматология»), д.м.н., проф., ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента РФ (Москва)

Кузнецова Ирина Всеволодовна («Современная гинекология»), д.м.н., проф., кафедра акушерства и гинекологии № 1 лечебного факультета ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава РФ (Москва)

Кулаков Анатолий Алексеевич («Стоматология»), д.м.н., проф., акад. РАН, отделение клинической и экспериментальной имплантологии ФГБУ НМИЦ «ЦНИИ стоматологии и челюстно-лицевой хирургии» Минздрава РФ (Москва)

Минушкин Олег Николаевич («Практическая гастроэнтерология»), д.м.н., проф., зав. кафедрой терапии и гастроэнтерологии Центральной государственной медицинской академии (ЦГМА) (Москва)

Орлова Наталья Васильевна («Современная поликлиника»), д.м.н., проф., кафедра поликлинической терапии лечебного факультета ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава РФ (Москва)

Остроумова Ольга Дмитриевна, д.м.н., проф., зав. кафедрой терапии и полиморбидной патологии ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава РФ (Москва)

Падюков Леонид Николаевич, проф. отделения ревматологии медицинского отдела Каролинского института (г. Стокгольм, Швеция)

Сандриков Валерий Александрович, акад. РАН, ФГБНУ «Российский научный центр хирургии им. акад. Б.В. Петровского» (Москва)

Щербо Сергей Николаевич («Современная лаборатория»), д.м.н., проф., ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» (Москва)

Редакционная коллегия серии «Современная функциональная диагностика»

Главный редактор серии «Современная функциональная диагностика»

Берестень Наталья Федоровна, д.м.н., проф., президент РАСФД, (Москва)

Заместители главного редактора

Стручков Петр Владимирович, д.м.н., проф. (Москва)

Дроздов Дмитрий Владимирович, к.м.н., в.н.с. (Москва)

Александров Михаил Всеволодович, д.м.н., проф. (г. Санкт-Петербург)

Алехин Михаил Николаевич, д.м.н., проф. (Москва)

Бартош-Зеленая Светлана Юрьевна, д.м.н., проф. (г. Санкт-Петербург)

Зильбер Эльмира Курбановна, д.м.н., проф. (г. Калининград)

Иванов Лев Борисович, к.м.н. (Москва)

Каменева Марина Юрьевна, д.м.н. (г. Санкт-Петербург)

Кочмашева Валентина Викторовна, д.м.н. (г. Екатеринбург)

Куликов Владимир Павлович, д.м.н., проф. (г. Барнаул)

Лукина Ольга Федоровна, д.м.н., проф. (Москва)

Макаров Леонид Михайлович, д.м.н., проф. (Москва)

Нарциссова Галина Петровна, д.м.н. (г. Новосибирск)

Новиков Владимир Игоревич, д.м.н., проф. (г. Санкт-Петербург)

Павлов Владимир Иванович, д.м.н. (Москва)

Павлюкова Елена Николаевна, д.м.н., проф. (г. Томск)

Пронина Виктория Петровна, к.м.н., ст.н.с. (Москва)

Рогоза Анатолий Николаевич, д.б.н., проф. (Москва)

Савенков Михаил Петрович, д.м.н., проф. (Москва)

Сандриков Валерий Александрович, д.м.н., проф., академик РАН (Москва)

Седов Всеволод Парисович, д.м.н., проф. (Москва)

Селицкий Геннадий Вацлавович, д.м.н., проф. (Москва)

Ткаченко Сергей Борисович, д.м.н., проф. (Москва)

Терегулов Юрий Эмильевич, д.м.н. (г. Казань)

Тривоженко Александр Борисович, д.м.н. (г. Томск)

Федорова Светлана Ивановна, к.м.н., проф. (Москва)

Шнайдер Наталья Алексеевна, д.м.н., проф. (г. Санкт-Петербург)

Editor-in-Chief

Petricov S.S., MD, professor, director of Research Institute of Emergency Care n.a. N.V. Sklifosovsky (Moscow, Russia)

Editorial Board

Akimkin V.G. (Epidemiology and Hygiene), DM Sci, professor, RAS acad., Central Research Institute of Epidemiology (Moscow, Russia)

Artamonova E.V. (Diagnostics and Oncotherapy), DM Sci, professor, National Medical Research Centre of Oncology n.a. N.N. Blokhin (Moscow, Russia)

Babaeva A.R. (Rheumatology), DM Sci, professor, Volgograd State Medical University (Volgograd, Russia)

Balan V.E. (Modern Gynecology), DM Sci, professor, Vice President of the Russian Menopause Association, Moscow Regional Research Institute for Obstetrics and Gynecology (Moscow, Russia)

Barbarash O.L. (Comorbid Conditions), DM Sci, professor, Research Institute for Complex Problems of Cardiovascular Diseases (Kemerovo, Russia)

Beresten N.F. (Modern Functional Diagnostics), DM Sci, professor, Russian Medical Academy for Continuing Professional Education (Moscow, Russia)

Golubev V.L. (Neurology and Psychiatry), DM Sci, professor, First Moscow State Medical University n.a. I.M. Sechenov (Moscow, Russia)

Evdokimov E.A. (Emergency Medicine), DM Sci, professor, Russian Medical Academy for Continuing Professional Education (Moscow, Russia)

Kruglova L.S. (Dermatology), DM Sci, professor, Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of Russia (Moscow, Russia)

Kuznetsova I.V. (Modern Gynecology), DM Sci, professor, First Moscow State Medical University n.a. I.M. Sechenov (Moscow, Russia)

Kulakov A.A. (Dentistry), DM Sci, professor, RASci corr. member, Central Research Institute of Dental and Maxillofacial Surgery (Moscow, Russia)

Minushkin O.N. (Practical Gastroenterology), DM Sci, professor, Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of Russia (Moscow, Russia)

Orlova N.V. (Modern Polyclinic), DM Sci, professor, Russian National Research Medical University n.a. N.I. Pirogov (Moscow, Russia)

Ostroumova O.D., DM Sci, professor, Russian Medical Academy for Continuing Professional Education (Moscow, Russia)

Padyukov L.N., professor, Karolinska Institute (Stockholm, Sweden)

Sandrikov V.A., RASci acad., Russian Scientific Centre for Surgery n.a. acad. B.V. Petrovsky (Moscow, Russia)

Scherbo S.N. (Modern Laboratory), DM Sci, professor, Peoples' Friendship University of Russia (Moscow, Russia)

Editorial board of the series 'Modern functional diagnostics'

Editor-in-chief of the series 'Modern functional diagnostics'

Beresten N.F., MD, DMSci, professor, President of RASFD (Moscow)

Deputy editors-in-chief

Struchkov P.V., MD, DMSci, professor (Moscow)

Drozdov D.V., MD Ph.D. (Moscow)

Aleksandrov M.V., MD, DMSci, professor (St. Petersburg)

Alekhin M.N., MD, DMSci, professor (Moscow)

Bartosh-Zelenaya S. Yu., MD, DMSci, professor (St. Petersburg)

Zilber E.K., MD, DMSci, professor (Kaliningrad)

Ivanov L.B., MD Ph.D. (Moscow)

Kameneva M. Yu., MD, DMSci (St. Petersburg)

Kochmasheva V.V., MD, DMSci (Yekaterinburg)

Kulikov V.P., MD, DMSci, professor (Barnaul)

Lukina O.F., MD, DMSci, professor (Moscow)

Makarov L.M., MD, DMSci, professor (Moscow)

Narcissova G.P., MD, DMSci (Novosibirsk)

Novikov V.I., MD, DMSci, professor (St. Petersburg)

Pavlov V.I., MD, DMSci (Moscow)

Pavlyukova E.N., MD, DMSci, professor (Tomsk)

Pronina V.P., MD Ph.D. (Moscow)

Rogoza A.N., Dr. Sci.Biol., professor (Moscow)

Savenkov M.P., MD, DMSci, professor (Moscow)

Sandrikov V.A., MD, DMSci, professor (Moscow)

Sedov V.P., MD, DMSci, professor (Moscow)

Selitsky G.V., MD, DMSci, professor (Moscow)

Tkachenko S.B., MD, DMSci, professor (Moscow)

Teregulov Y.E., MD, DMSci (Kazan)

Trivozhenko A.B., MD, DMSci, professor (Tomsk)

Fedorova S.I., MD Ph.D., prof. (Moscow)

Shnayder N.A., MD, DMSci, professor (St. Petersburg)

VII Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы функциональной и ультразвуковой диагностики»



Важное событие в жизни врачей и медицинских сестер функциональной диагностики состоялось 26–27 октября 2023 года в г. Челябинске — VII Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы функциональной и ультразвуковой диагностики».

На конференции обсуждались наиболее важные аспекты специальности. Программа включала 18 заседаний по всем направлениям функциональной диагностики, 6 мастер-классов по ЭКГ и нагрузочному тестированию в диагностике состояния органов и систем, школу по электрокардиостимуляции, круглый стол по сложным случаям в функциональной диагностике и сателлитный симпозиум по цифровым технологиям и ультразвуковой визуализации.

Участники конференции выразили благодарность коллективу Южно-Уральского государственного медицинского университета, принимавшему гостей из различных уголков нашей страны, организаторам и всем специалистам за настоящий праздник методов и технологий!

Методические рекомендации по регистрации ЭКГ покоя Российский кардиологический журнал опубликовал утвержденный документ «Регистрация электрокардио-

граммы покоя в 12 общепринятых отведениях взрослым и детям 2023. Методические рекомендации».

Методические рекомендации являются результатом тщательной работы экспертов и специалистов в области функциональной диагностики и кардиологии. В процессе разработки прошло широкое открытое обсуждение. Инициаторами разработки документа были активные члены РАСФД. Рекомендации утверждены Российским кардиологическим обществом (РКО), Российской ассоциацией специалистов функциональной диагностики (РАСФД), Российского общества холтеровского мониторирования и неинвазивной электрофизиологии (РОХМиНЭ), Всероссийской общественной организации «Ассоциация детских кардиологов России» (АДКР). Утверждение и применение рекомендаций направлено на улучшение качества проведения одного из самых массовых исследований — электрокардиографии покоя.

Скачать методические рекомендации можно с сайта Российского кардиологического журнала по ссылке <https://russjcardiol.elpub.ru/jour/article/view/5631/4106>



Бронхопровокационный тест с физической нагрузкой: показания, методика проведения, интерпретация результатов

О. И. Савушкина^{1,2}, А. В. Черняк², Е. Р. Кузьмина¹

¹ ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н. Н. Бурденко» Министерства обороны РФ, Москва, Россия

² ФГБУ «НИИ пульмонологии» ФМБА России, Москва

РЕЗЮМЕ

Бронхиальная гиперреактивность, спровоцированная физическими упражнениями, чаще всего встречается у пациентов с бронхиальной астмой, хотя общепризнанно, что физическая нагрузка провоцирует, а не является причиной данного заболевания. В лекции рассмотрены вопросы патогенеза синдрома бронхиальной гиперреактивности, спровоцированной физической нагрузкой (постнагрузочного бронхоспазма), его диагностики с помощью бронхопровокационного нагрузочного теста, который включает велоэргометрию или тредмил-тест, а также регистрацию кривой «поток-объем» форсированного выдоха до и в разные интервалы времени в период восстановления после нагрузочного тестирования, приведены показания и противопоказания к проведению исследования, подробно рассмотрены методика проведения исследования и интерпретация результатов, а также приведен клинический пример выявления синдрома бронхиальной гиперреактивности, спровоцированной физической нагрузкой, у молодого взрослого пациента.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: синдром бронхиальной гиперреактивности, бронхопровокационный тест, бронхиальная астма.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Exercise challenge test: indications, protocol, interpretation of the results

O. I. Savushkina^{1,2}, A. V. Cherniak², E. R. Kuzmina²

¹ Main Military Clinical Hospital named after academician N. N. Burdenko, Moscow, Russia

² Federal Pulmonology Research Institute, Moscow, Russia

SUMMARY

Exercise-induced bronchoconstriction mostly presents in patients with asthma, although it is generally recognized that physical activity provokes, but not causes asthma. The lecture discusses the pathogenesis of the syndrome of exercise-induced bronchoconstriction, its diagnosis which includes bicycle ergometry or treadmill test, as well as registration of the flow-volume curve of forced exhalation before and at different time intervals during recovery after exercise challenge test. Besides, indications, and contraindications to the test are listed as well as methodology and the interpretation of the results are considered in detail. A clinical example of the detection of exercise-induced bronchoconstriction in a young adult patient is also given.

KEYWORDS: exercise-induced bronchoconstriction, exercise challenge test, asthma.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that they have no conflicts of interest.

Индукцированное физической нагрузкой (ФН) падение объема форсированного выдоха за первую секунду (ОФВ₁) впервые было описано в 1960-х годах и получило название «астма физического усилия». В 1970 году было предложено данное состояние описывать как индуцированный ФН бронхоспазм (англ. EIB — exercise-induced bronchoconstriction) [1], тогда как в отечественной литературе используется термин «синдром бронхиальной гиперреактивности» (БГР), спровоцированной ФН [2], или синдром постнагрузочного бронхоспазма [3].

Бронхоспазм, индуцированный ФН, — это острое преходящее обратимое сужение дыхательных путей (ДП), возникающее после ФН, реже — в процессе ее выполнения [3, 4]. Типичные симптомы включают одышку, свистящее дыхание, кашель, чувство стеснения в груди, продукцию мокроты, чувство усталости даже в случае хорошей физической формы у пациента. Бронхоспазм, индуцированный ФН, обычно возникает на 2–5 минутах с пиком на 10 мин и разрешением симптомов к 60 мин после завершения ФН. Распространенность данного синдрома в общей популяции людей составляет 5–20%, среди детей младше 16 лет — 3–35% [1]. Синдром БГР, спровоцированной ФН, встречается как у пациентов с установленным диагнозом БА, так и у пациентов без подтвержденного диагноза БА [4].

Вместе с тем, БА является главным коморбидным фактором, который ассоциирован с БГР на фоне ФН. Данный синдром имеет место у 90% пациентов с БА. Отмечено, что у пациентов с плохо

контролируемой БА или БА тяжелого течения вероятность манифестации БГР на фоне ФН выше, чем у пациентов с хорошо контролируемой БА или БА легкого течения [1].

Необходимо отметить, что само по себе выявление БГР на фоне ФН не дает основания для постановки диагноза БА. Однако в связи с тем, что подходы к коррекции бронхоспазма, индуцированного ФН, у пациентов с установленным диагнозом БА и у пациентов без подтвержденного диагноза БА существенно различаются, задачей клинициста является четко дифференцировать эти состояния. Остается не совсем ясной частота встречаемости БГР на фоне ФН у пациентов без подтвержденного диагноза БА [1].

Установлено, что сама ФН не является триггером сужения ДП [2, 5]. К бронхоспазму приводит гипервентиляция холодным и сухим воздухом. Результаты многочисленных исследований показали, что приступа БА при ФН можно избежать, если вдыхаемый воздух насыщен водяными парами, а его температура близка к температуре тела [5]. Следовательно, бронхоспазм может быть спровоцирован охлаждением вдыхаемого воздуха и/или уменьшением его относительной влажности. Вместе с тем, было показано, что более важной причиной развития бронхоспазма является потеря воды за счет ее испарения с поверхности тела и слизистых при ФН, обуславливающая преходящее увеличение осмолярности поверхностной жидкости ДП [5].

In vitro было продемонстрировано, что гиперосмолярность ДП стимулирует освобождение тучными клетками медиаторов

воспаления, таких как лейкотриены и гистамин, которые вызывают сужение ДП за счет сокращения гладкой мускулатуры бронхального дерева [6]. В связи с чем тест с ФН может являться провокационным методом для выявления синдрома БГР [5, 7].

Необходимо отметить, что бронхопровокационный тест с физической нагрузкой (БПТ с ФН) является непрямым стимулом, действующим опосредованно через увеличение выброса медиаторов воспаления из тучных клеток эпителия и подслизистой оболочки ДП (в отличие от метахолина, который оказывает непосредственное влияние на гладкие мышцы ДП). Механизм непрямого бронхопровокационного действия ФН заключается в том, что во время выполнения ФН происходит испарение воды с поверхности слизистой ДП, что обуславливает дегидратацию и увеличение осмолярности поверхностной жидкости ДП. Гиперосмолярность является триггером воспаления ДП и, как следствие, эозинофилии и выброса медиаторов воспаления из тучных клеток, что приводит к бронхоспазму [8].

С целью выявления синдрома постнагрузочного бронхоспазма пациента необходимо направить на БПТ с ФН, который включает нагрузочное тестирование (НТ) (велозергометрию или тредмил-тест) и форсированную спирометрию до и в восстановительный период после НТ. По данным Sterk P. J. с соавт. [5] известно, что в клинических условиях БПТ с ФН имеет низкую чувствительность (распространенность положительной реакции у взрослых составляет 7–16%), тогда как по данным Demissie K. с соавт. [9] у детей чувствительность и специфичность составляет 30–60% и 80–98% соответственно. Таким образом, применение БПТ с ФН обладает высокой положительной прогностической значимостью. С помощью БПТ с ФН можно выявить БГР даже при отсутствии активного воспаления в бронхах, при сохранении спирометрических показателей в пределах нормы, при отсутствии положительной реакции на бронхолитик и клинических проявлений БА на момент исследования [2].

Показания к проведению БПТ с ФН [7]:

1. Диагностика БА у пациентов с приступами удушья в течение или после ФН.
2. Оценка эффективности и подбор оптимальных доз бронхолитиков с целью предотвращения бронхоспазма, индуцированного ФН.
3. Оценка эффективности противовоспалительной терапии.

Абсолютные противопоказания к проведению БПТ с ФН:

1. Исходное значение $ОФВ_1 < 60\%$ долж. или менее 1 л [2].
2. Абсолютные противопоказания для электрокардиографического НТ [10].

Относительные противопоказания к проведению БПТ с ФН:

1. Исходное значение $ОФВ_1 < 75\%$ долж. и сатурация кислорода методом пульсоксиметрии 94% и менее [8].
2. Относительные противопоказания для электрокардиографического НТ [10].

Подготовка пациента:

1. Пациент должен быть в спортивной одежде, которая не стесняет движения, и удобной спортивной обуви.
2. За 2 часа до начала исследования еда не должна быть обильной.
3. Пациент должен воздержаться от энергичных физических упражнений не менее, чем за 4 часа до исследования.
4. В течение соответствующего периода времени (см. табл. 1) следует отменить лекарственные препараты и продукты питания, снижающие БГР.

По мере накопления знаний, совершенствования опыта и обобщения протоколы дозирования ФН претерпевали изменения.

Eggleston P. A. с соавт. [11] предлагали для пациентов 20–30 лет следующую последовательность увеличения ФН при проведении теста на тредмиле (см. табл. 2, рис. 2).

Номограмма, по нашему мнению, дает наглядное понимание структуры протокола дозирования ФН. Вместе с тем, учитывая, что в рамках предложенного Eggleston P. A. с соавт. протокола [11] за короткий промежуток времени (8 мин) достичь скорость 8–9 км/ч при угле наклона дорожки 5%, выполнить данную задачу достаточно затруднительно.

В 1993 г. Sterk P. J. с соавт. [5] предложили следующий протокол нагрузки. Во время НТ, при котором возможно измерение вентиляции легких, интенсивность работы пациента подбирают таким образом (как вариант бег со скоростью 5–9 км/ч при угле наклона дорожки 10%), чтобы в течение 3–4 мин достигнуть 40–60% от его должной максимальной вентиляции ($МВЛ = ОФВ_{1, \text{долж}} \cdot 35\%$), и поддерживать достигнутый уровень в течение 4 мин нагрузки [5].

В 1999 г. Crapo R. O. с соавт. [7] при проведении исследования на тредмиле предложили выбирать протокол ФН таким образом, чтобы, начав с низкой скорости и небольшого угла наклона дорожки, постепенно увеличивать сначала скорость ходьбы, затем угол наклона (более 4,5 км/ч и 15% соответственно), чтобы в течение 2–4 мин достигнуть 80–90% максимальной частоты сердечных сокращений ($ЧСС_{\text{макс}}$, где $ЧСС_{\text{макс}} = 220 - \text{возраст (лет)}$) [7].

Как только соответствующая ЧСС будет достигнута, следует, если это возможно, продолжать тест еще в течение 4–6 мин, подерживая ЧСС на достигнутом уровне.

Общее время тестирования должно составлять 6–10 мин [12].

При проведении НТ на велозергометре в качестве критерия достижения необходимого уровня вентиляции легких вычисляется конечная мощность работы в ваттах (Вт) по уравнению:

$$\text{Работа (Вт)} = 53,76 \cdot ОФВ_1(l) - 11,07,$$

где $ОФВ_1(l)$ — максимальная величина $ОФВ_1(l)$, измеренная перед НТ.

Для 1-й мин мощность работы устанавливается на уровне 60% от конечной мощности, на 2-й мин — 75%, на 3-й мин — 90%, на

Таблица 1
Лекарственные препараты и продукты питания, снижающие бронхиальную гиперреактивность [8]

Препарат	Период отмены перед исследованием
Ингаляционные бронхолитики короткого действия	8 ч
Ингаляционные бронхолитики длительного действия	36 ч
Ингаляционные бронхолитики длительного действия в комбинации с кортикостероидами	36 ч
Ингаляционные бронхолитики ультра длительного действия	48 ч
Ингаляционные кортикостероиды (будесонид, беклометазон)	6 ч
Ингаляционные кортикостероиды длительного действия	24 ч
Блокаторы лейкотриеновых рецепторов	4 дня
Ингибиторы синтеза лейкотриенов (зилеутон)	12ч
Антигистаминные препараты (лоратадин, цетиризин)	72 ч
Блокатор м-холинорецепторов короткого действия	12 ч
Блокатор м-холинорецепторов длительного действия	72 ч
Кромоны	4 ч
Ксантины	24 ч
Кофеин	24 ч

Таблица 2

Последовательность увеличения физической нагрузки при проведении теста на тредмиле

Степень	Продолжительность, мин	Достигнутая ЧСС	Скорость дорожки, км/ч	Угол наклона, %
I	2	50% от ЧСС _{макс}	4	0
II	2	70% от ЧСС _{макс}	2/3 от максимальной скорости ¹	5%
III	5–8	90% от ЧСС _{макс}	максимальная скорость ¹	5%

¹ Максимальная скорость движения дорожки определяется по номограмме в зависимости от роста пациента (см. рис. 2).

4-й мин — 100% от конечной мощности, которая поддерживается в течение 4–6 мин [7].

В 2018 г. Европейское респираторное общество разработало стандарт по проведению непрямого бронхопровокационного тестирования [8]. При проведении НТ на тредмиле скорость и угол наклона должны постепенно повышаться в течение первых 2–3 мин исследования, пока не будет достигнут целевой уровень. Уровень физической подготовки и масса тела пациента будут сильно влиять на скорость и угол наклона, достаточные для достижения необходимой вентиляции легких или ЧСС. Целесообразно быстро переходить на высокую, но комфортную скорость при наклоне беговой дорожки 5,5% (3°), затем увеличивать наклон вплоть до 10% до достижения необходимой ЧСС (>85% от ЧСС_{макс}) или вентиляции легких (60% от МВЛ, где МВЛ = ОФВ₁(л)·40). На достигнутом уровне ФН исследование необходимо продолжать в течение 6 мин. Быстрое увеличение вентиляции при беге на тредмиле делает его более предпочтительным по отношению к велоэргометрии [8].

Необходимо обратить внимание, что наибольший бронхоспастический эффект при проведении БПТ с ФН достигается в том случае, если пациент выполняет довольно высокую ФН в течение короткого периода времени. Продолжительная ФН (более 12 мин) уменьшает БГР [7]. Каждая лаборатория может самостоятельно формировать протокол НТ, ориентируясь на возможности используемого оборудования и вышеизложенные требования к проведению исследования. Можно взять за основу стандартный протокол Bruce, регулируя продолжительность каждой фазы в зависимости от достигнутых ЧСС, артериального давления (АД) и самочувствия пациента, принимая за внимание, что цель исследования — за короткий промежуток времени достигнуть необходимый уровень ФН и субмаксимальной ЧСС, рассчитанной по уравнению (2).

Ход исследования.

- Исследование должно проводиться в помещении с температурой воздуха 20–25°C и относительной влажностью менее 50% [8].
- Непосредственно перед началом НТ необходимо оценить исходную фактическую величину ОФВ₁(л), соблюдая стандарты выполнения маневра форсированного выдоха, рекомендованные Российским респираторным обществом [13], и зафиксировать его наибольшее значение. Целесообразно провести 2 спирометрических теста с разницей в 10–20 мин для подтверждения надежности полученных результатов [8].
- Во время НТ нос пациента плотно закрывается зажимом, чтобы обеспечить дыхание через рот, усилить эффект дегидратации и повысить степень увеличения осмолярности поверхностной жидкости ДП.
- По просьбе пациента НТ может быть остановлен в любое время. Кроме того, прекращать исследование следует в соот-

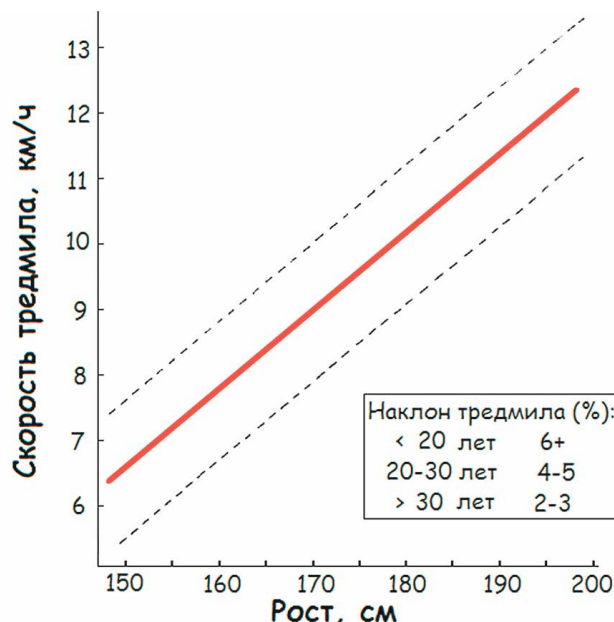


Рисунок 2. График зависимости скорости движения дорожки тредмила (км/ч) от роста пациента (см) с целью достижения 90% от ЧСС_{макс}. Пунктирные линии — границы 2 стандартных отклонений от среднего значения [11].

ветствии с требованиями к проведению НТ в функциональной диагностике [10].

- Увеличивать ФН необходимо таким образом, чтобы на 2 мин ФН ЧСС составляла около 80% от ЧСС_{макс}, на 6 мин — около 90% от ЧСС_{макс} [2].
- На протяжении всего исследования, а также в течение 15 мин после его окончания необходимо мониторировать ЧСС, ЭКГ и АД.
- После завершения НТ в восстановительном периоде через определенные временные интервалы измеряется ОФВ₁. Для этого на каждом временном этапе необходимо выполнить хотя бы 2 приемлемых маневра форсированного выдоха и зафиксировать наибольшее значение ОФВ₁ (разница между двумя показателями на каждом временном этапе не должна превышать 200 мл, а продолжительность выдоха можно ограничить 2–3 сек, так как этого достаточно, чтобы оценить величину ОФВ₁ [7]). Вместе с тем, следует инструктировать пациента каждую попытку маневра форсированного выдоха выполнять энергично и в полную силу. В противном случае можно получить необоснованное занижение величины ОФВ₁. Необходимо обратить внимание, что временные интервалы регистрации ОФВ₁ в восстановительном периоде после завершения НТ могут определяться следующим образом:
 - вариант 1: на 1, 3, 5, 7, 10 и 15 мин отдыха [2];
 - вариант 2: на 1, 3, 5, 10, 15, 20, 30 мин отдыха [7];
 - вариант 3: на 5, 10, 15, и 30 мин отдыха [12].
 Мы придерживаемся 1 варианта регистрации ОФВ₁ после НТ.

8. По завершению протокола всегда дается бронхолитик: β2-агонист в виде аэрозоля [5].

После полного завершения БПТ с ФН следует:

1. Дать заключение по результатам форсированной спирометрии, выполненной до НТ, и указать наибольшее значение фактического $ОФВ_1$ в литрах и %_{долж.}.
2. Дать заключение по результатам велоэргометрии или тредмил-теста:
 - 1) Указать исходные АД, ЧСС.
 - 2) Описать протокол нагрузки.
 - 3) Указать достигнутые ЧСС и АД, причину прекращения теста, жалобы, изменения на ЭКГ, динамику ЧСС и АД в процессе исследования и в восстановительном периоде.
3. Дать заключение по результатам форсированной спирометрии, выполненной в восстановительном периоде после завершения нагрузочного тестирования:

- 1) Указать % снижения (если оно было зафиксировано) показателя $ОФВ_1$ по сравнению с исходным, полученным до НТ. Разница между исходным значением $ОФВ_1$ и $ОФВ_1$, зарегистрированными в течение периода наблюдения после НТ, выражается в процентах от исходного:

$$КБК = (ОФВ_{1\text{после}}(л) - ОФВ_{1\text{до}}(л)) / ОФВ_{1\text{до}}(л) \cdot 100\%,$$

где КБК — коэффициент бронхоконстрикции;

$ОФВ_{1\text{до}}$ — объем форсированного выдоха за первую секунду, полученный до начала НТ (исходное $ОФВ_1$);

$ОФВ_{1\text{после}}$ — объем форсированного выдоха за первую секунду, полученный на каждом временном интервале после завершения НТ.

- 2) Указать наименьшее полученное значение $ОФВ_1$ (%_{долж.}), зарегистрированное после завершения НТ.

Бронхопровокационный тест с ФН считается положительным, если зафиксировано падение величины $ОФВ_1$ более 10% [14], тогда как согласно рекомендациям по глобальной стратегии лечения и профилактики бронхиальной астмы (GINA) за 2022 год критерием положительного БПТ с ФН считается снижение $ОФВ_1$ более 10% и более 200 мл [15]. Более высокие значения процента падения $ОФВ_1$ (более 12%) рекомендуются для диагностики бронхоспазма, индуцированного ФН, у детей [15].

Вместе с тем, есть мнение, что необходимо регистрировать падение $ОФВ_1 \geq 10\%$ в двух последовательных временных точках. Многие лаборатории используют критерий $\geq 15\%$ от исходного уровня из-за большей специфичности этого критерия. В некоторых случаях могут потребоваться два теста для исключения бронхоспазма, индуцированного ФН [12].

Тяжесть снижения $ОФВ_1$ может быть классифицирована как легкая, умеренная или тяжелая, если процент падения $ОФВ_1$ по сравнению с исходным составляет $\geq 10\%$, но $< 25\%$, $\geq 25\%$, но $< 50\%$ и $\geq 50\%$ соответственно.

Не следует прекращать постнагрузочный контроль $ОФВ_1$ сразу,

Таблица 3
Результат форсированной спирометрии, выполненной до нагрузочного тестирования

Показатель	Должное (GLI 2012)	Полученное	% _{долж.}
ФЖЕЛ, л	5,64	4,70	83
$ОФВ_{1\text{т}}$, л	4,77	3,81	79,9
$ОФВ_1/\text{ФЖЕЛ}$, %	-	81	-

Примечание: GLI 2012 — система должных значений Европейского респираторного общества по стандартизации легочных функциональных тестов (Global Lung Function Initiative 2012 г.); ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких; $ОФВ_1$ — объем форсированного выдоха за первую секунду.

как только получено снижение его величины на 10% от исходного значения, так как не факт, что это самое низкое значение. В постнагрузочный период величина $ОФВ_1$ может изменяться по-разному. Однако чаще всего самые низкие показатели регистрируются через 5–10 мин после прекращения нагрузки [7].

Ниже приведен пример заключения по результатам БПТ с ФН.

Пациент К., муж., 19 лет. Жалобы на выраженную одышку при умеренной физической нагрузке. Предварительный диагноз: бронхиальная астма. Рост — 180 см, масса тела — 60 кг, ИМТ — 19 кг/м².

Результаты БПТ с ФН представлены в таблицах 3–5 и на рисунке 3.

Из таблицы 3 следует, что максимальное значение $ОФВ_1$ до нагрузочного тестирования составило 3,81 л (80%_{долж.}).

Нагрузочное тестирование проведено на тредмиле.

Из таблицы 4 следует, что нагрузочное тестирование на тредмиле выполнено в соответствии с требованиями к проведению БПТ с ФН: продолжительность исследования составила 8 мин, была достигнута субмаксимальная ЧСС.

Из таблицы 5 следует, что после завершения тредмил-теста было зарегистрировано снижение $ОФВ_1$ на 1, 3, 5, 7, 10 и 15 мин и составило 14% (530 мл), 19% (720 мл), 22% (820 мл), 18,6% (710 мл), 21% (800 мл) и 12% (440 мл) соответственно. Наименьшее значение $ОФВ_1$ — 62,7%_{долж.}.

Заключение. Бронхопровокационный тест с физической нагрузкой с целью выявления бронхиальной гиперреактивности положительный. Максимальное снижение $ОФВ_1$ составило 22% и 820 мл на 5 мин отдыха. Толерантность к физической нагрузке высокая.

Таким образом, бронхопровокационный тест с физической нагрузкой играет важную роль в клинической практике, так как позволяет выявлять синдром постнагрузочного бронхоспазма. Данный тест можно проводить как в условиях стационара, так и в амбулаторной практике. Вместе с тем, необходимо подчеркнуть, что отрицательный результат бронхопровокационного теста с физической нагрузкой не исключает БА, тогда как положительный результат не является подтверждением БА.

Для оценки бронхиальной гиперреактивности, индуцированной физической нагрузкой, необходимо регистрировать данные кривой «поток-объем» форсированного выдоха, затем выполнить велоэргометрию или тредмил-тест и в восстановительном периоде оценить реакцию системы дыхания на физическую нагрузку по динамике $ОФВ_1$.

Таблица 4
Результат нагрузочного тестирования

Исходная ЧСС, уд/мин	88
Исходное АД, мм рт.ст.	110/70
Протокол нагрузки	Фаза I (2,8 METs) — 1 мин; фаза II (3,2 METs) — 1 мин; фаза III (4,6 METs) — 3 мин; фаза IV (10,3 METs) — 3 мин
Общее время нагрузки	8 мин
Достигнутая ЧСС, уд/мин	180 (90%)
Достигнутое АД, мм рт.ст.	180/90
Причина прекращения пробы	Достижение субмаксимальной ЧСС
Жалобы	Затрудненное дыхание, одышка
Динамика ЭКГ	Диагностически значимого смещения сегмента ST не выявлено, нарушений ритма не зарегистрировано
Реакция АД	Адекватная
Восстановительный период	Восстановление АД и ЧСС к 13-й мин отдыха

Таблица 5
Результаты форсированной спирометрии, выполненной на 1, 3, 5, 7, 10 и 15 минутах после прекращения нагрузки

	1 мин	3 мин	5 мин	7 мин	10 мин	15 мин
ОФВ ₁ (л)	3,28	3,09	2,99	3,10	3,01	3,37
ОФВ ₁ (%ДОЛЖ.)	69	64,7	62,7	65	63	71
ОФВ ₁ — ОФВ ₁ (л)	-0,53	-0,72	-0,82	-0,71	-0,80	-0,44
КБК, %	-14	-19	-22	-18,6	-21	-12

Примечание: КБК = $(\text{ОФВ}_{1\text{после}} (\text{л}) - \text{ОФВ}_{1\text{до}} (\text{л})) / \text{ОФВ}_{1\text{до}} (\text{л}) \times 100\%$, где КБК — коэффициент бронхоконстрикции; ОФВ₁ — объем форсированного выдоха за первую секунду, полученный до начала теста с ФН (исходное ОФВ₁); ОФВ₁ — объем форсированного выдоха за первую секунду, полученный на каждом временном интервале после завершения теста с физической нагрузкой; %ДОЛЖ. — % от должного значения.

Диагностика синдрома постнагрузочного бронхоспазма позволяет назначать соответствующее лечение, что влияет на переносимость физических нагрузок и качество жизни пациентов, тогда как, по мнению Нахамчен Л. Г. с соавт. [3], полное ингибирование постнагрузочного бронхоспазма у пациентов с подтвержденной БА служит полезным индикатором контроля данного заболевания.

Список литературы / References:

- Aggarwal B., Mulgirigama A., Berend N. Exercise-induced bronchoconstriction: prevalence, pathophysiology, patient impact, diagnosis and management. *NPJ Prim Care Respir Med* 2018; 28 (1): 31. <https://doi.org/10.1038/s41533-018-0098-2>.
- Методические рекомендации по диагностике и лечению бронхиальной астмы и синдрома бронхиальной гиперреактивности у спортсменов. Под ред. А. Г. Чучалина. М.: 2012
- Methodological recommendations for the diagnosis and treatment of bronchial asthma and bronchial hyperreactivity syndrome in athletes. Edited by A. G. Chuchalin. M.: 2012
- Нахамчен Л. Г., Перельман Ю. М., Приходько А. Г., Ульянычев Н. В., Воропеева Р. В. Функциональная характеристика и клинические проявления реакции дыхательных путей на физическую нагрузку у больных бронхиальной астмой. *Бюллетень физиологии и патологии дыхания*. 2016; 61: 8–15. <https://doi.org/10.12737/21433>.
- Nakhamchen L. G., Perelman J. M., Prihodko A. G., Ul'yanychev N. V., Voropaeva R. V. Functional characteristics and clinical manifestations of airway response to exercise load in patients with asthma. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2016; 61: 8–15. <https://doi.org/10.12737/21433>.
- Bauza D. E. R., Silveira P. Asthma, atopy, and exercise: Sex differences in exercise-induced bronchoconstriction. *Exp Biol Med*. 2021; 246 (12): 1400–1409. <https://doi.org/10.1177/15353702211003858>.
- Sterk P. J., Fabbri L. M., Quanjer P. H., Cockcroft D. W., O'Byrne P. M., Anderson S. D., Juniper E. F., Malo J. L. Standardized challenge testing with pharmacological, physical and sensitizing stimuli in adults. *Eur Respir J. Suppl* 1993; 16: 53–83.
- Eggleston P. A., Kagey-Sobotka A., Lichtenstein L. M. A comparison of the osmotic activation of basophils and human lung mast cells. *Am Rev Respir Dis*. 1987; 135: 1043–1048.
- Crapo R. O., Casaburi R., Coates A. L., Enright P. L., Hankinson J. L., Irvin C. G., MacIntyre N. R., McKay R. T., Wanger J. S., Anderson S. D., Cockcroft D. W., Fish J. E., Sterk P. J. Guidelines for methacholine and exercise challenge testing-1999. *Am J Respir Crit Care Med*. 2000; 161 (1): 309–329. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.161.1.ats11-99>.

Сведения об авторах:

О. И. Савушкина — канд. биол. наук, заведующий отделением исследований функции внешнего дыхания центра функционально-диагностических исследований¹; старший научный сотрудник лаборатории функциональных и ультразвуковых методов исследования². ORCID: 0000-0002-7486-4990

А. В. Черняк — канд. мед. наук, заведующий лабораторией функциональных и ультразвуковых методов исследования². ORCID: 0000-0002-2001-5504

Е. Р. Кузьмина — канд. мед. наук, врач отделения исследований функции внешнего дыхания центра функционально-диагностических исследований¹. ORCID: 0009-0006-9969-9051

¹ ФГБУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н. Н. Бурденко» Министерства обороны РФ, Москва, Россия;

² ФГБУ «НИИ пульмонологии» ФМБА России, Москва, Россия

Автор для переписки: О. И. Савушкина. E-mail: olga-savushkina@yandex.ru

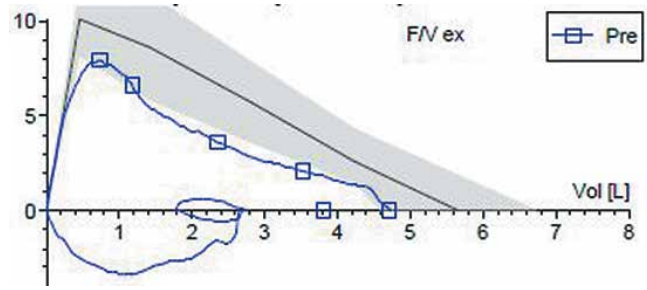


Рисунок 3. Кривая «поток-объем» до нагрузочного тестирования.

- Hallstrand T. S., Leuppi J. D., Joos G., Hall G. L., Carlsen K. H., Kaminsky D. A., Coates A. L., Cockcroft D. W., Culver B. H., Diamant Z., Gauvreau G. M., Horvath I., de Jongh F. H. C., Laube B. L., Sterk P. J., Wanger J. American Thoracic Society (ATS)/European Respiratory Society (ERS) Bronchoprovocation Testing Task Force. ERS technical standard on bronchial challenge testing: pathophysiology and methodology of indirect airway challenge testing. *Eur. Respir. J.* 2018; 52 (5): 1801033. <https://doi.org/10.1183/13993003.01033-2018>.
- Demissie K., White N., Joseph L., Ernst P. Bayesian estimation of asthma prevalence, and comparison of exercise and questionnaire diagnostics in the absence of a gold standard. *Bayesian estimation of asthma prevalence, and comparison of exercise and questionnaire diagnostics in the absence of a gold standard. Ann Epidemiol.* 1998; 8 (3): 201–208.
- Функциональная диагностика: национальное руководство / под ред. Н. Ф. Берестень, В. А. Сандрикова, С. И. Федоровой. — М.: Геотар-Медиа, 2019. — 789 с.: ил.
- Functional diagnostics: national guidelines / edited by N. F. Beresten, V. A. Sandrikova, S. I. Fedorova. — M.: Geotar-Media, 2019. — 789 p.: ill.
- Eggleston P. A., Rosenthal R. R., Anderson S. A., Anderson R., Bierman C. W., Bleecker E. R., Chai H., Cropp G. J., Johnson J. D., König P., Morse J., Smith L. J., Summers R. J., Trautlein J. J. Guidelines for the methodology of exercise challenge testing of asthmatics. Study Group on Exercise Challenge, Bronchoprovocation Committee, American Academy of Allergy. *J Allergy Clin Immunol* 1979; 64: 642–645.
- Parsons J. P., Hallstrand T. S., Mastrorade J. G., Kaminsky D. A., Rundell K. W., Hull J. H., Storms, W. W., Weiler J. M., Cheek F. M., Wilson K. C., Anderson S. D. American Thoracic Society Subcommittee on Exercise-induced Bronchoconstriction. An official American Thoracic Society clinical practice guideline: exercise-induced bronchoconstriction. *Am J Respir Crit Care Med*. 2013; 187 (9): 1016–27. <https://doi.org/10.1164/rccm.201303-0437ST>.
- Каменев М. Ю., Черняк А. В., Айсанов З. Р., Авдеев С. Н., Бабак С. Л., Белевский А. С., Берестень Н. Ф., Каманова Е. Н., Малавин А. Г., Перельман Ю. М., Приходько А. Г., Стручков П. В., Чикина С. Ю., Чушкин М. И. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. *Пульмонология*. 2023; 33 (3): 307–340. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340>.
- Каменев М. Ю., Черняк А. В., Айсанов З. Р., Авдеев С. Н., Бабак С. Л., Белевский А. С., Берестень Н. Ф., Каманова Е. Н., Малавин А. Г., Перельман Ю. М., Приходько А. Г., Стручков П. В., Чикина С. Ю., Чушкин М. И. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. *Пульмонология*. 2023; 33 (3): 307–340. <https://doi.org/10.18093/0869-0189-2023-33-3-307-340>.
- Бронхиальная астма. Клинические рекомендации. Доступно на: <https://spulmo.ru/>
- Asthma. Clinical recommendations. Russian respiratory Society: Available on: <https://spulmo.ru/>
- Global Strategy for Asthma Management and Prevention (GINA) Main Report 2022. Available on: <https://ginasthma.org/gina-reports/>

About authors:

Olga I. Savushkina — Candidate of Biology, Head of the Department of External Respiratory Function Research¹; Senior Researcher, Laboratory of Functional and Ultrasound Research Methods². ORCID: 0000-0002-7486-4990

Alexander V. Cherniakh — Candidate of Medicine, Head of the Laboratory of Functional and Ultrasound Research Methods². ORCID: 0000-0002-2001-5504

Ekaterina R. Kuzmina — Candidate of Medicine, doctor of External Respiratory Function Research¹. ORCID: 0009-0006-9969-9051

¹ Main Military Clinical Hospital named after academician N. N. Burdenko, Moscow, Russia;

² Federal Pulmonology Research Institute, Moscow, Russia

Corresponding author: Olga I. Savushkina. E-mail: olga-savushkina@yandex.ru.

Статья поступила / Received 08.10.2023
Получена после рецензирования / Revised 10.10.2023
Принята в печать / Accepted 22.11.2023

Для цитирования: Савушкина О. И., Черняк А. В., Кузьмина Е. Р. Бронхопровокационный тест с физической нагрузкой: показания, методика проведения, интерпретация результатов. *Медицинский алфавит*. 2023; (32): 9–13. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-9-13>

For citation: Savushkina O. I., Cherniakh A. V., Kuzmina E. R. Exercise challenge test: indications, protocol, interpretation of the results. *Medical alphabet*. 2023; (32): 9–13. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-9-13>

Исследование респираторной функции легких у больных бронхиальной астмой

А. И. Михайловичева^{1,2}, В. В. Смирнов^{1,2}, П. В. Стручков^{2,3}, Н. С. Носенко^{1,2}, А. Г. Сотникова¹, Е. О. Дьячкова¹, Т. И. Дивакова¹, Ю. А. Баженова-Бессонова³, И. А. Маничев⁴

¹ ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России, Москва, Россия

² Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический Центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России, Москва

³ ФГБУЗ «Клиническая больница № 85» ФМБА России, Москва

⁴ ООО «Белинтелмед», г. Минск, Республика Беларусь

РЕЗЮМЕ:

В статье рассматривается использование методов оценки состояния респираторной функции легких у больных бронхиальной астмой (БА).

Цель исследования: сравнительная оценка информативности методов капнометрии, спирометрии, метода вымывания азота при множественном дыхании и диффузионного теста у больных БА.

Результаты и выводы: Обследованы 2 группы пациентов: I — 30 пациентов с БА 3–4 степени тяжести, II — 30 здоровых добровольцев. При капнометрии было отмечено статистически значимое увеличение наклона альвеолярной фазы у пациентов с БА по отношению к контрольной группе при спокойном дыхании, как до, так и после применения бронхолитика. По данным спирометрии у пациентов с БА соотношение ОФВ₁/ФЖЕЛ было статистически значимо ниже по сравнению с контрольной группой как до, так и после применения бронхолитика. При сравнительном анализе диффузионной способности легких отмечалась тенденция к более низким значениям DLCO у пациентов с БА. Была получена статистически значимая разница в отношении индекса легочного клиренса между группой пациентов с БА и группой контроля, в которой показатель был достоверно ниже. Статистически значимых отличий между оценками ФОЕ (%), полученных с использованием диффузионного теста и метода вымывания азота среди пациентов с БА не отмечено. **Выводы:** информативными методами у пациентов с БА явились не только метод спирометрии, но также капнометрия и метод вымывания азота при множественном дыхании, которые выявили неравномерность вентиляции и распределения вентиляционно-перфузионных соотношений в легких.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: капнометрия, спирометрия, функциональная диагностика, вымывание азота, диффузионная способность легких, бронхиальная астма.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The study of respiratory function of the lungs in patients with Bronchial Asthma

A. I. Mikhailovicheva^{1,2}, V. V. Smirnov^{1,2}, P. V. Struchkov^{2,3}, N. S. Nosenko^{1,2}, A. G. Sotnikova¹, E. O. Dyachkova¹, T. I. Divakova¹, Yu. A. Bazhenova-Bessonova³, I. A. Manichev⁴

¹ "Federal Scientific Clinical Center of the specialized types of medical care and medical technology" FMBA of Russia, Moscow, Russia

² Academy of Postgraduate Education under Federal State Budgetary Unit "Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical Biological Agency", Moscow, Russia

³ Clinical Hospital No.85 of FMBA of Russia, Moscow, Russia

⁴ "Belintelmed" Republic of Belarus

SUMMARY:

The article discusses the possibilities of functional assessment of the state of the respiratory function of the lungs in patients with bronchial asthma.

The purpose of the study: a comparative assessment of the information content of capnometry, spirometry, the method of multiple breath nitrogen washout and the diffusion test in patients with asthma.

Results and conclusions: 2 groups of patients were examined: I — 30 patients with asthma of 3–4 degrees of severity, II — 30 healthy volunteers. Capnometry showed a statistically significant increase in the slope of the alveolar phase in patients with asthma compared to the control group with quiet breathing, both before and after the use of a bronchodilator. According to spirometry data, in patients, the FEV₁/FVC ratio was statistically significantly lower compared to the control group, both before and after bronchodilator use. In a comparative analysis of the diffusion capacity of the lungs, there was a trend towards lower DLCO values in patients with asthma. A statistically significant difference was obtained in relation to the lung clearance index between the group of patients with asthma and the control group, in which the index was significantly lower. There were no statistically significant differences between the FRC (%) estimates obtained using the diffusion test and the method of the multiple breath nitrogen washout in patients with asthma. Thus, the informative methods in patients with asthma were not only the method of spirometry, but also the method of capnometry and the method of multiple breath nitrogen washout, which revealed uneven ventilation and distribution of ventilation-perfusion ratios in the lungs.

KEYWORDS: capnometry, spirometry, functional diagnostics, multiple breath nitrogen washout, lung diffusion capacity, bronchial asthma.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Бронхиальная астма (БА) является гетерогенным заболеванием, характеризующимся хроническим воспалением дыхательных путей, наличием респираторных симптомов, таких как свистящие хрипы, одышка, заложенность в груди и кашель, которые варьируют по времени и интенсивности, и проявляются вместе с вариабельной обструкцией дыхательных путей [1]. Для подтверждения диагноза требуется проведение спирометрии. Исследование функции внешнего дыхания с помощью спирометрии считается золотым стандартом для выявления бронхиальной

обструкции при БА. Тем не менее, спирометрия не позволяет оценить проходимость малых дыхательных путей (МДП).

Важным фактором патогенеза БА является обструкция малых дыхательных путей, входящих в респираторную зону легких. Поражение этих дыхательных путей диаметром менее 2 мм не имеет явных клинических проявлений, что позволило применить к ним термин «немая зона легких». Обструкция МДП часто протекает бессимптомно и не отражается на результатах спирометрии, пока не достигает достаточно высокой степени выраженности [2].

Состояние респираторной зоны легких, может быть оценено с помощью ряда методов, в частности, капнометрии и метода вымывания азота при множественном дыхании.

Капнометрия представляет собой графическое отображение концентрации (или парциального давления) CO_2 в газовой смеси во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе при нефорсированном дыхании пациента. Обычно запись проводится при спокойном дыхании, но может использоваться углубленный выдох, гипервентиляционная и другие пробы [3]. Капнометрия позволяет оценить равномерность распределения вентиляционно-перфузионных соотношений в легких по нескольким показателям, в частности, по наклону альвеолярной фазы, который тем больше, чем больше выражена неравномерность распределения вентиляционно-перфузионных соотношений [3].

Исследование легочного газообмена часто проводят при помощи оценки диффузионной способности легких. Тест позволяет судить о способности легких обеспечить перенос кислорода из альвеолярного газа в кровь. Обычно диффузионную способность легких оценивают по диффузии монооксида углерода (DLCO) [4]. И хотя существует несколько методик определения диффузионной способности легких, метод однократного вдоха монооксида углерода с задержкой дыхания является наиболее распространенным тестом, рекомендуемым в клинической практике [5, 8].

Функциональное состояние системы дыхания во многом зависит также от равномерности легочной вентиляции. Распределение вентиляции можно оценить методом вымывания азота чистым кислородом при множественном дыхании (ВМД). Численным выражением характеристики неравномерности легочной вентиляции является индекс легочного клиренса (lung clearance index, LCI). Кроме того, метод ВМД позволяет оценить — функциональную остаточную ёмкость легких ФОЕ (FRC).

Целью исследования явилось сравнительное изучение диагностических возможностей методов капнометрии, спирометрии, диффузионного теста и метода вымывания азота при множественном дыхании в оценке состояния респираторной зоны легких у больных БА.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:

Исследование являлось наблюдательным поперечным. Были проанализированы результаты обследования 2 групп пациентов. *Группа 1:* включала 30 пациентов БА 3–4 степени тяжести — 13 мужчин (43,4%) и 17 женщин (56,6%), средний возраст $50,6 \pm 4,3$ года в стадии стихающего обострения. *Группа 2* включала 30 здоровых добровольцев (16 мужчин (53,4%), 14 женщин (46,6%), средний возраст $45,6 \pm 2,4$ года.

Исследования функции внешнего дыхания (ФВД) включали капнометрию, спирометрию, метод вымывания азота при множественном дыхании (ВМД) и диффузионный тест. ФОЕ измеряли при оценке диффузионной способности легких и методом ВМД. Исследования ФВД проводили с помощью диагностической системы Power Cube Diffusion HansHorn (Германия) 2022 г. выпуска, метод капнометрии — с помощью спироанализатора со встроенной функцией капнометрии «MAC-1» (Республика Беларусь). Все диагностические процедуры были выполнены в один и тот же день одним и тем же врачом. Все пациенты подписывали информированное согласие на проведение исследования.

При выполнении форсированной спирометрии измеряли форсированную жизненную емкость легких (ФЖЕЛ), объем фор-

сированного выдоха за 1-ю секунду (ОФВ₁) и отношение ОФВ₁/ФЖЕЛ. Измерение показателей спирометрии проводили в соответствии с Методическими рекомендациями Российского респираторного общества, Российской ассоциации специалистов функциональной диагностики и Российского научного медицинского общества терапевтов 2023 г. [6]. Должные значения параметров спирометрии были рассчитаны в соответствии с рекомендациями Европейского сообщества угля и стали (ECSC — European Coal and Steel Community) — 1993 г. для взрослых [11].

При выполнении капнометрии измеряли показатели: наклон альвеолярной фазы при спокойном дыхании, а также на глубоком выдохе, выражающийся в соотношении $\Delta P/\Delta t$, где ΔP — прирост CO_2 в альвеолярную фазу, Δt — продолжительность альвеолярной фазы; PetCO_2 — парциальное давление CO_2 в конце выдоха; индекс Tulou — разница PetCO_2 в конце глубокого и спокойного выдоха [3].

Диффузионный тест проводили методом однократного вдоха газовой смеси, содержащей 0,25% монооксида углерода (CO), 18% гелия (He), 19% кислорода (O_2) и 62,75% азота (N_2), с задержкой дыхания и коррекцией полученных данных по уровню гемоглобина (DLCOc). Оценивались: DLCO — диффузионная способность легких или трансфер-фактор CO , VA — альвеолярный объем, KCO = DLCO/VA константа Krogh. Для анализа использовали среднее значение из 2 технически удовлетворительных воспроизводимых попыток [5, 8]. Диффузионный тест проводился в соответствии с рекомендациями ATS/ERS (American Thoracic Society/European Respiratory Society — Американское торакальное общество/Европейское респираторное общество — АТО/ЕРО) 2017 г. [5]. Должные значения параметров исследования были рассчитаны в соответствии с рекомендациями стандарта АТО/ЕРО 2022 года [8].

Исследование равномерности легочной вентиляции проводили методом ВМД согласно рекомендациям АТО/ЕРО 2013 г. [7]. Проводилась оценка показателей: ФОЕ, LCI и CEV. Показатель LCI рассчитывается как количество дыхательных циклов, необходимых для того, чтобы очистить легкие от азота до 1/40 от его начальной концентрации [7]: $\text{LCI} = \text{CEV}/\text{ФОЕ}$, где CEV — суммарный выдыхаемый объем с коррекцией на мертвое пространство оборудования, представляющий собой общую сумму объемов выдоха при спокойном непрерывном дыхании во время проведения теста ВМД. Для каждого пациента регистрировали среднее значение не менее 3 повторных технически удовлетворительных измерений (разброс значений которых был менее 5%) [7]. Расчет верхней границы нормы (ВГН) для определения LCI определялся по формуле [10]:

$$\text{ВГН}(\text{LCI}) = 0,0223 \times A + 5,82, \text{ где } A — \text{возраст.}$$

Статистический анализ полученных данных проводился с использованием среды для статистических вычислений R 4.3.0 (R Foundation for Statistical Computing, Вена, Австрия).

Описательные статистики представлены в виде абсолютной и относительной частот для категориальных переменных и медианы (нижний квартиль (Q1); верхний квартиль (Q3)) для количественных. Проверка данных на нормальность распределения признака показала отсутствие нормальности распределения. Для сравнения групп в отношении количественных показателей использовался тест Манна-Уитни, в отношении категориальных — точный тест Фишера. Для сравнения показателей в динамике (сравнения парных выборок) использовались тест Уилкоксона

и тест МакНемара в случае количественных и категориальных переменных соответственно. Для сравнения количественных показателей с константой использовался одновыборочный тест Уилкоксона. Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты капнометрии (табл. 1). По данным капнометрии при спокойном выдохе у пациентов БА значения наклона альвеолярной фазы $\Delta P/\Delta t$ были статистически значимо выше по сравнению с контрольной группой ($p = 0,002$), а также отмечено статистически значимое снижение показателя $\Delta P/\Delta t$ после применения бронхолитика, медианное снижение составило 0,33 [-0,79; -0,08] ($p = 0,003$). После применения бронхолитика статистически значимых отличий в отношении показателя $\Delta P/\Delta t$ между группами БА и контроля выявлено не было ($p = 0,19$). Схожая картина была отмечена и при сравнительном анализе значений $\Delta P/\Delta t$ на глубоком выдохе: до применения бронхолитика значение $\Delta P/\Delta t$ в группе пациентов с БА было статистически значимо выше по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$). После применения бронхолитика различия между группами не были статистически значимыми ($p = 0,101$).

Значения индекса Tulou были статистически значимо выше у пациентов с БА по сравнению с контрольной группой ($p = 0,001$). После применения бронхолитика была отмечена тенденция к снижению индекса Tulou у пациентов с БА (медианное изменение составило -0,48 [-1,42; 0,31], $p = 0,066$). Тем не менее после применения бронхолитика значения индекса Tulou оставались статистически значимо выше у пациентов БА по сравнению с контрольной группой ($p = 0,007$).

Статистически значимых отличий между группой пациентов с БА и контрольной группой по показателю $PetCO_2$ выявлено не было. Также не было выявлено статистически значимого изменения $PetCO_2$ у пациентов с БА после применения бронхолитика (медианное изменение составило -0,05 [-1,17; 1,15], ($p = 0,829$). В обеих группах было выявлено снижение показателя $PetCO_2$ в равной степени до значения 28 мм рт.ст., что отражает наличие альвеолярной гипервентиляции в обеих группах.

Результаты спирометрии (табл. 2): значение показателя ФЖЕЛ у пациентов с БА было статистически значимо ниже по сравнению с контрольной группой как до, так и после применения бронхолитика ($p < 0,001$ и 0,004, соответственно). Среди пациентов с БА отмечалось статистически значимое увеличение ФЖЕЛ после применения бронхолитика ($p = 0,015$).

Значение показателя ОФВ₁ у пациентов с БА был статистически значимо ниже по сравнению с контрольной группой как до, так и после применения бронхолитика ($p < 0,001$). После применения бронхолитика у пациентов БА отмечалось статистически значимое увеличение ОФВ₁ ($p = 0,002$) (табл. 2).

Также было зарегистрировано статистически значимое снижение показателя ОФВ₁/ФЖЕЛ у пациентов с БА, этот показатель был ниже по сравнению с контрольной группой как до, так и после применения бронхолитика. Среди пациентов с БА отмечалась тенденция к увеличению соотношения ОФВ₁/ФЖЕЛ после применения бронхолитика (медианное изменение составило 1 [-0,87; 4,75], ($p = 0,069$). До применения бронхолитика у 10 (33,3%) пациентов с БА ОФВ₁/ФЖЕЛ не превышал 70%, после применения — у 8 (26,7%) ($p = 0,683$).

Оценка диффузионной способности легких (табл. 3). Достоверных различий значения показателя DLCO у пациентов БА по сравнению с контрольной группой выявлено не было, при этом значения DLCO меньше 80% от должного отмечались в 14 (46,7%) случаях в группе пациентов с БА. Также среди пациентов БА отмечалась тенденция к более низким значениям KCO. Статистически значимых различий между группами в отношении VA и ФОЕ выявлено не было.

Метод вымывания азота при множественном дыхании (табл. 4). Была установлена статистически значимая разница между группами пациентов с БА и контрольной в отношении LCI ($p < 0,001$) и в отношении отклонения LCI от верхней границы нормы ($p = 0,001$). Значения LCI у пациентов с БА были статистически значимо выше верхней границы нормы ($p = 0,002$).

Статистически значимых отличий между оценками ФОЕ, полученными с использованием диффузионного теста и метода вымывания азота среди пациентов с БА выявлено не было (медианная разница составила -2% (-13%; 9,8%), $p = 0,681$). Результаты сравнения представлены на рис. 1.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время основным методом оценки функции внешнего дыхания является спирометрия, но спирометрия не позволяет достоверно оценить проходимость малых дыхательных путей, играющих важную роль в патогенезе БА. Для оценки проходимости МДП необходимо использовать иные подходы, которые выявляют, в частности, нарушения равномерности легочной вентиляции, нарушения распределения вентиляционно-перфузионных соотношений и, косвенно, нарушение структуры общей емкости легких: увеличение ООЛ, ОЕЛ и ООЛ/ОЕЛ.

В настоящем исследовании изучалась равномерность легочной вентиляции мето-

Таблица 1
Результаты сравнения показателей капнометрии у пациентов с БА до и после применения бронхолитика и контрольной группы. Ме [Q1; Q3]; медиана, нижний квартиль (Q1); верхний квартиль (Q3)

Показатель	Пациенты с БА n = 30		Контрольная группа n = 30	p
$\Delta P/\Delta t$ спокойный выдох (мм рт.ст./с)	до бронхолитика	1,9 [1,43; 2,45]	1,19 [1,04; 1,71]	0,002
	после бронхолитика	1,4 [1,15; 2,07]		0,19
$\Delta P/\Delta t$ глубокий выдох (мм рт.ст./с)	до бронхолитика	0,98 [0,81; 1,28]	0,55 [0,43; 0,79]	<0,001
	после бронхолитика	0,67 [0,54; 1,09]		0,101
Индекс Tulou (мм рт.ст.)	до бронхолитика	4,5 [2,85; 6]	2,2 [1,76; 3,85]	0,001
	после бронхолитика	3,83 [2,81; 5,37]		0,007
$PetCO_2$ (мм рт.ст.)	до бронхолитика	27,7 [24,8; 31,5]	28,7 [26,7; 32,3]	0,819
	после бронхолитика	28,25 [25,7; 30,3]		0,679

Обозначения: $\Delta P/\Delta t$ — наклон альвеолярной фазы при спокойном выдохе и при глубоком выдохе; $PetCO_2$ — конечно-экспираторное парциальное давление CO_2 ; индекс Tulou — разница $PetCO_2$ в конце глубокого и спокойного выдоха, p — уровень значимости различия показателей между группами БА и контрольной.

Таблица 2
Показатели спирометрии у пациентов с БА и контрольной группы.
Me [Q1; Q3]: медиана, нижний квартиль (Q1); верхний квартиль (Q3)

Показатель	Пациенты БА n = 30		Контрольная группа n = 30	p
ФЖЕЛ (% долж.)	до бронхолитика	84,5 [74; 98]	102 [95; 110]	<0,001
	после бронхолитика	88,5 [73; 97,8]		0,004
ОФВ ₁ (% к долж.)	до бронхолитика	75,5 [57; 89]	101 [90; 108]	<0,001
	после бронхолитика	82,5 [57,8; 94,5]		<0,001
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ (%)	до бронхолитика	74 [66,54; 78]	82 [80,5; 86]	<0,001
	после бронхолитика	74,9 [69,7; 81]		0,001
ОФВ ₁ /ФЖЕЛ <70%	до бронхолитика, кол-во пациентов	10 (33,3%)	0 (0%)	0,001
	после бронхолитика, кол-во пациентов	8 (26,7%)		0,006

p — различия между группами БА и контрольной.

дом ВМД, равномерность вентиляционно-перфузионных соотношений методом капнометрии, диффузионная способность легких, что в свою очередь позволяло оценить состояние респираторной зоны легких.

По результатам исследования большую информативность у пациентов БА показал метод капнометрии, при котором было отмечено статистически значимое увеличение наклона альвеолярной фазы у пациентов с БА по отношению к контрольной группе при спокойном дыхании, как до, так и после применения бронхолитика. При сравнительном анализе наклона альвеолярной фазы на глубоком выдохе регистрировалась схожая картина. Значения показателя индекса Tulou были статистически значимо выше у пациентов с БА по сравнению с контрольной группой. Все эти показатели отражают неравномерность распределения вентиляционно-перфузионных соотношений у пациентов БА даже при невыраженной степени обструкции по данным спирометрии, что косвенно указывает на поражение респираторной зоны легких. В обеих группах было выявлено снижение показателя PetCO_2 в равной степени до 28 мм. рт. ст., что отражает наличие альвеолярной гипервентиляции.

Данные спирометрии показали свою информативность по результатам измерений показателей ФЖЕЛ и ОФВ₁ и ОФВ₁/ФЖЕЛ у пациентов БА. Было зарегистрировано статистически значимое снижение значений этих показателей по сравнению с контрольной группой как до, так и после применения бронхолитика, а также отмечалось статистически значимое увеличение этих показателей после применения бронхолитика. Следует отметить, что небольшое снижение ОФВ₁ и ФЖЕЛ по сравнению с нормой

отражало невысокую степень обструкции у обследуемых пациентов с БА, их переход в фазу ремиссии.

Так как для наиболее полной оценки вентиляционной функции легких необходимо исследовать функциональную остаточную емкость легких, то целесообразно было определить различия в результатах измерений этого параметра, выполненных разными методами: ВМД и диффузионным тестом. Статистически значимых отличий между значениями показателей ФЖЕЛ, полученными с использованием обоих методов у пациентов с БА не зафиксировано.

Среди параметров, характеризующих равномерность легочной вентиляции, наи-

более изученным является LCI, определяемый методом ВМД. Этот показатель при БА оказался статистически значимо выше по сравнению с контрольной группой, что отражает наличие неравномерности легочной вентиляции при БА.

На наш взгляд, полученные результаты оценки газообмена в легких позволят повысить точность выявления патологических изменений в респираторной зоне легких. Наиболее информативными методами у пациентов с БА явились метод капнометрии и метод вымывания азота при множественном дыхании. Эти методы выявляют отклонения от нормы даже при малом изменении показателей спирометрии, т. е. являются более чувствительными к оценке функционального состояния легких при БА.

Выводы

1. Из изученных методов исследования респираторной функции легких у больных БА 3–4 ст. тяжести помимо спирометрии, которая является золотым стандартом, информативность показали также метод капнометрии и метод вымывания азота при множественном дыхании, что отражает неравномерность вентиляции и распределения вентиляционно — перфузионных соотношений у этих больных.
2. Метод капнометрии как наименее трудозатратный и наиболее дешевый может быть рекомендован для оценки функционального состояния легких у больных БА 3–4 ст. тяжести в дополнение к методу спирометрии. Он требует значительно меньшей степени кооперации с пациентами, по сравнению с методом оценки диффузионной способности легких и спирометрией.

Таблица 3
Результаты оценки диффузионного теста. Me [Q1–Q3]: медиана, нижний квартиль (Q1); верхний квартиль (Q3)

Показатель	Пациенты с БА n = 30	Контрольная группа n = 30	p
DLCOC (% к долж.)	80,5 [69,3; 99,8]	88 [85; 95]	0,055
DLCOC < 80% долж. количество пациентов	14 (46,7%)	0 (0%)	0,002
KCO (% к долж.)	94,5 [84,5; 99,8]	101 [91; 107]	0,065
VA (% к долж.)	87,5 [80,3; 100,5]	89 [85; 97]	0,672
ФЖЕЛ (% к долж.)	86 [73,3; 109]	98 [79; 112]	0,294
ФЖЕЛ (л)	2,70 [2,18; 3,28]	2,83 [2,46; 3,54]	0,31

Обозначения: DLCOC — диффузионная способность легких с коррекцией по концентрации гемоглобина, VA — альвеолярный объем, KCO = DLCOC/VA, ФЖЕЛ — функциональная остаточная емкость легких, p — различия между группами БА и контрольной.

Таблица 4
Результаты метода вымывания азота при множественном дыхании. Me [Q1–Q3]: медиана, нижний квартиль (Q1); верхний квартиль (Q3)

Показатель	Пациенты с БА n = 30	Контрольная группа n = 30	p
LCI (л)	8,3 [7; 9,3]	6,5 [5,9; 6,9]	<0,001
Отклонение LCI от ВГН (л)	1,48 [-0,03; 2,25]	-0,2 [-0,51; 0,15]	0,001
CEV (л)	21,8 [15,5; 26,1]	19,5 [17,2; 22,7]	0,614
ФЖЕЛ (% от должной)	86 [65,3; 118]	98 [84; 110]	0,171
ФЖЕЛ (л)	2,91 [1,84; 3,4]	2,79 [2,52; 3,49]	0,366

Обозначения: LCI — индекс легочного клиренса, ВГН — верхняя граница нормы, CEV — суммарный выдыхаемый объем, ФЖЕЛ — функциональная остаточная емкость легких, p — различия между группами БА и контрольной.

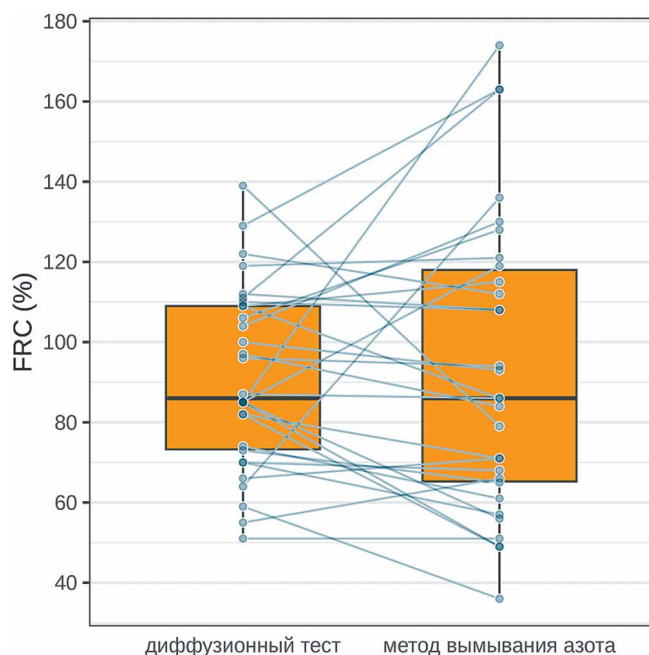


Рисунок 1. Оценки ФОЕ (FRC) в % к должному с использованием диффузионного теста и метода вымывания азота у пациентов с БА. Линии указывают на значения показателей у конкретных пациентов

- Показатель ФОЕ у больных БА может быть оценен равнозначно при исследовании диффузионной способности легких и методом вымывания азота при множественных дыханиях.

Список литературы / References:

- Бронхиальная астма: федеральные клинические рекомендации по диагностике и лечению. Чучалин А.Г., Авдеев С.Н., Айсанов З.Р., Белевский А.С., Васильева О.С., Геппе Н.А., Игнатова Г.Л., Княжеская Н.П., Малахов А.Б., Мещерякова Н.Н., Ненашева Н.М., Фасса-

- хов Р.С., Хайтов Р.М., Ильина Н.И., Курбачева О.М., Астафьева Н.Г., Демко И.В., Фомина Д.С., Намазова-Баранова Л.С., Баранов А.А., Вишнева Е.А., Новик Г.А. Пульмонология. 2022; 32 (3): 393–447. DOI: 10.18093/0869-0189-2022-32-3-393-447
- Поражение малых дыхательных путей при бронхиальной астме: новые данные, новая парадигма З.Р. Айсанов, Е.Н. Калманова Практическая пульмонология 2019 № 1
- Стручков П.В. Капнометрия. В книге: Легочные функциональные тесты от теории к практике. Под редакцией О.И. Савушкиной и А.В. Черняка, М: ООО «Фирма Стром», 2017г, 181–186 стр.
- Неклюдова Г.В., Черняк А.В. Диагностические возможности исследования диффузионной способности легких. Медицинский алфавит. 2020; (25): 22–25. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-25-22-25>
- Graham B.L., Brusasco V., Burgos F., Cooper B.G., Jensen R., Kendrick A., MacIntyre N.R., Thompson B.R., Wanger J. 2017 ERS/ATS standards for single-breath carbon monoxide uptake in the lung. Eur. Respir. J. 2017; 49 (1): pii: 1600016. DOI: 10.1183/13993003.00016-2016
- Каменева М.Ю., Черняк А.В., Айсанов З.Р., Авдеев С.Н., Бабак С.Л., Белевский А.С., Берестень Н.Ф., Калманова Е.Н., Малявин А.Г., Перельман Ю.М., Приходько А.Г., Стручков П.В., Чикина С.Ю., Чушкин М.И. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. Пульмонология. 2023; 33 (3): 307–340. DOI: 10.18093/08690189-2023-33-3-307-340
- Robinson PD, Latzin Ph, Verbanck S, Hall GL, Horsley A, Gappa M, Thammr C, Arets HGM, Aurora P, Fuchs SI, King GG, Lum S, Macleod K, Paiva M, Pillow JJ, Ranganathan S, Ratjen F, Singer F, Sonnappa S, Stocks J, Subbarao P, Thompson BR, Gustafsson PM. Consensus statement for inert gas washout measurement using multiple- and single-breath tests. The European Respiratory Journal 2013 Mar;41(3):507–22
- Stanojevic S., Kaminsky D. A., Miller M., Thompson B., Aliverti A., Barjaktarevic I., Cooper B. G., Culver B., Derom E., Hall G. L., Hallstrand T. S., Leuppi J. D., MacIntyre N., McCormack M., Rosenfeld M., Swenson E. R. ERS/ATS technical standard on interpretative strategies for routine lung function tests. Eur. Respir. J. 2022; 60 (1): 2101499. <https://doi.org/10.1183/13993003.01499-2021>
- Савушкина О.И., Черняк А.В. Методы диагностики дисфункции мелких дыхательных путей и равномерности вентиляции лёгких: их применение после перенесенной новой коронавирусной инфекции // Биометрия физиологии и патологии дыхания. 2022. Вып.84. С. 137–143. DOI: 10.36604/1998-5029-2022-84-137-143
- Г.В. Неклюдова, А.В. Черняк Метод вымывания азота при множественном дыхании у здоровых людей. Практическая пульмонология, 2019, № 4
- Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault JC. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report Working Party Standardization of Lung Function Tests, European Community for Steel and Coal. Official Statement of the European Respiratory Society. The European Respiratory Journal. Supplement 1993 Mar;16:5–40.

Сведения об авторах

Михайловичева А.И., врач функциональной диагностики, аспирантка 3-го года кафедры «Внутренние болезни» АПО ФНЦ ФМБА России^{1,2}. ELibrary SPIN: 1503–1221
Смирнов В.В., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой «Внутренние болезни» Академии постдипломной подготовки^{1,2}
Стручков П.В., д.м.н., профессор, заведующий кафедрой клинической физиологии и функциональной диагностики Академии постдипломной подготовки², заместитель руководителя диагностической службы³. ELibrary SPIN: 6093–0782, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8203-5121>
Носенко Н.С., к.м.н., доцент кафедры «Рентгенология и ультразвуковая диагностика» руководитель центра ультразвуковых и функциональных методов исследований^{1,2}; ORCID: 0000-0001-7071–3741
Сотникова А.Г., к.м.н., заведующая пульмонологическим отделением¹
Дьячкова Е.О., врач –пульмонолог¹
Дивакова Т.И., врач –пульмонолог¹
Баженова-Бессонова Ю.А., заведующая отделением функциональной диагностики²
Маничев И.А., к.ф.-м.н., руководитель ООО «Белинтелмед», г. Минск⁴

¹ ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России, Москва, Россия
² Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России, Москва
³ ФГБУЗ «Клиническая больница № 85» ФМБА России, Москва
⁴ ООО «Белинтелмед», г. Минск, Республика Беларусь

Автор для переписки: Михайловичева Анна Игоревна
 E-mail: princess_anna_7@mail.ru

About authors

Mikhailovicheva Anna.I., specialist of functional diagnostics department of Department of Functional and Ultrasound Diagnostics^{1,2}. ELibrary SPIN: 1503–1221
Smirnov Vladimir.V., MDs, Professor, Head of the Department of Therapy of the Academy of Postgraduate Education^{1,2}
Struchkov Pyotr V., MD, Professor, Head of the Department of Clinical Physiology and Functional Diagnostics of the Academy of Postgraduate Education², Deputy Head of Diagnostic Department³. Electronic library SPIN: 6093–0782. ORCID:0000-0002-8203-5121
Nosenko Natalia.S., Ph.D., Head of the Department of Functional and Ultrasound Diagnostics¹, Associate Professor of the Department of Radiology and Ultrasound Diagnostics². ORCID: 0000-0001-7071–3741
Sotnikova Anna.G., Ph.D., Head of Pulmonology Department¹
Dyachkova Elizaveta.O., pulmonologist¹
Divakova Tatiana.I., pulmonologist¹
Bazhenova-Bessonova Yulia.A., head of the department of functional diagnostics³
Manichev I.A., Ph.D., Head of Belintelmed LLC, Minsk⁴

¹ Federal Scientific Clinical Center of the specialized types of medical care and medical technology” FMBA of Russia, Moscow, Russia
² Academy of Postgraduate Education under Federal State Budgetary Unit “Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical Biological Agency”, Moscow, Russia
³ Clinical Hospital No.85 of FMBA of Russia, Moscow, Russia
⁴ “Belintelmed” LLC, Minsk Republic of Belarus

Corresponding author: Mikhailovicheva Anna
 E-mail: princess_anna_7@mail.ru

Статья поступила / Received 08.10.2023
 Получена после рецензирования / Revised 10.10.2023
 Принята в печать / Accepted 22.11.2023

Для цитирования: Михайловичева А.И., Смирнов В.В., Стручков П.В., Носенко Н.С., Сотникова А.Г., Дьячкова Е.О., Дивакова Т.И., Баженова-Бессонова Ю.А., Маничев И.А. Исследование респираторной функции легких у больных бронхиальной астмой. Медицинский алфавит. 2023;(32):14–18. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-14-18>

For citation: Mikhailovicheva A. I., Smirnov V. V., Struchkov P. V., Nosenko N. S., Sotnikova A. G., Dyachkova E. O., Divakova T. I., Bazhenova-Bessonova Yu. A., Manichev I. A. The study of respiratory function of the lungs in patients with Bronchial Asthma. Medical alphabet. 2023;(32):14–18. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-14-18>



“The pulse oximetry gap” или «ошибка пульсоксиметрии»: определение, причины, диагностика и клиническое значение

В. В. Гноевых¹, А. Ю. Смирнова¹, Ю. А. Шорохова¹, Н. Г. Чернова¹, М. В. Крестьянинов¹, А. Б. Песков², В. А. Разин³

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Россия

¹Кафедра пропедевтики внутренних болезней

²Факультет последипломного медицинского и фармацевтического образования

³Кафедра факультетской терапии

РЕЗЮМЕ:

В литературном обзоре рассмотрен феномен “the pulse oximetry gap”, включая определение, причины и клиническое значение. Представлены: история пульсоксиметрии, методы определения основных функциональных и дисфункциональных дериватов гемоглобина, физические и методологические принципы определения функционального и фракционного насыщений гемоглобина кислородом.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пульсоксиметрические методы, функциональные и дисфункциональные дериваты гемоглобина, “the pulse oximetry gap”.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

“The pulse oximetry gap”: definition, reasons, diagnostics and clinical significance

V. V. Gnoevykh¹, A. Yu. Smirnova¹, Yu. A. Shorokhova¹, M. V. Krestyaninov¹, A. B. Peskov², V. A. Razin³

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russia

¹Propaedeutics of Internal Diseases Department

²Faculty of Postgraduate Medical and Pharmaceutical Education

³Faculty Therapy Department

SUMMARY:

A literature review is presented the phenomenon of “the pulse oximetry gap”, including its definition, causes, and clinical significance. The history of pulse oximetry, methods for determining the main functional and dysfunctional derivatives of hemoglobin, physical and methodological principles for determining the functional and fractional saturation of hemoglobin with oxygen are considered in detail.

KEYWORDS: pulse oximetry methods, functional and dysfunctional derivatives of hemoglobin, “the pulse oximetry gap”.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ:

Hb — восстановленный гемоглобин

HbO₂ — оксигемоглобин

SpO₂ — оксигемоглобин, определяемый неинвазивно (транскутанно)

СаО₂ — оксигемоглобин, определяемый лабораторными методами в артериальной крови (с помощью абсорбционной спектрофотометрии)

COHb — карбоксигемоглобин

MetHb — метгемоглобин

FeCO — окись углерода в выдыхаемом воздухе

Транскутанная пульсоксиметрия. «Пульсирующая» и «постоянная» компоненты поглощения света

Транскутанной пульсоксиметрии принадлежит важнейшая роль в диагностическом скрининге дыхательной недостаточности (ДН). Её повсеместное применение, особенно в условиях недавней пандемии COVID-19, даёт возможность транскутанно, длительно и непрерывно мониторировать насыщение гемоглобина кислородом в артериальной (при наложении датчика на периферическую фалангу верхней конечности) крови — SpO₂.

Согласно А. Г. Дембо, ДН — «...такое состояние организма, при котором нормальная функция аппарата внешнего дыхания недостаточна для того, чтобы обеспечить организм потребным количеством кислорода и вывести необходимое количество углекислоты» [1]. Отсюда понятно диагностическое значение пульсоксиметрии для скрининга ДН.

В 1873 г. К. Vierordt, а в 1900 г. С. G. Hüfner выявили спектральные различия в поглощении света окисленным и восстановленным гемоглобинами [2]. В 1940 г. Glenn Allan Millican сконструирован гемоксиметр для диагностики гипоксии у пилотов [3].

В 1942–1944 гг. советский учёный Крепс Е. М. и инженер-конструктор Шипалов М. С. разработали первый в СССР оксигеметр (прообраз оксигемографа с функцией автоматической записи насыщения гемоглобина кислородом). С 60-х годов XX века в СССР начался промышленный выпуск оксигемографа 036М Ленинградским ПО «Красногвардеец» [2].

В 1972 г. Такуо Аояги, инженер корпорации Nihon Kohden, пытаясь получить ушной зонд для мониторинга сердечного выброса, случайно обнаружил пульсирующий артериальный сигнал, мешавший измерениям. Но данный

«артефакт» содержал информацию о насыщении артериальной крови кислородом [4]. Это открытие позволило Такуо Аоуаги предложить принципы расчёта оксигенации артериальной крови по колебаниям абсорбции света при пульсации артериол, в результате чего корпорация Nihon Kohden в 1975 г. создала первый транскутанный пульсоксиметр, в котором использовались светофильтры [4].

В 1977 г. компания Minolta разработала принцип передачи светового потока к датчику по световолокну. Объединение принципа Такуо Аоуаги и полупроводниковых технологий позволило Scott Wilber создать прообраз современного пульсоксиметра с ушным датчиком и запатентованным алгоритмом расчета SpO_2 [5].

Для неинвазивной оценки насыщения гемоглобина кислородом в артериальной крови повсеместно используют транскутанную двухволновую пульсоксиметрию. При этом восстановленный гемоглобин (Hb) более активно поглощает красный (660 нм), а оксигемоглобин (HbO_2) — ближний инфракрасный (940 нм) свет.

Для адекватного измерения сатурации гемоглобина кислородом выделяют «пульсирующую» артериальную и исключают «постоянную» компоненту (зависит от оптических характеристик венозной и капиллярной крови и тканей исследуемого участка) [6]. Кроме «отсечения» «постоянного» компонента поглощения света, проводят калибровку пульсоксиметров, сравнивая одновременно измеренные (неинвазивно и инвазивно) уровни HbO_2 .

Основные дериваты гемоглобина. Функциональная и фракционная сатурации гемоглобина кислородом. Представление о «the pulse oximetry gap» — «ошибке («разрыве») пульсоксиметрии».

Артериальная кровь, кроме восстановленного (Hb) и окисленного (HbO_2) гемоглобинов, содержит дисфункциональные дериваты гемоглобина, не принимающие участия в кислородотранспортной функции крови: карбоксигемоглобин (COHb), метгемоглобин (MetHb), гликированный гемоглобин (HbA1c), карбгемоглобин (CO_2Hb), нитрозогемоглобин (NOHb), сульфгемоглобин (SHb) и цианметгемоглобин (CNMetHb).

В физиологических условиях у здоровых некурящих лиц доля этих дериватов незначительна, в частности, уровень MetHb составляет от 0,2 до 0,6%, а COHb — от 0,16 до 0,96% [7].

К основным дериватам гемоглобина относятся деоксигенированный гемоглобин, HbO_2 , COHb и MetHb [7, 8]. Подробное описание дисфункциональных дериватов COHb и MetHb представлено ниже.

Определение терминов «функциональная» и «фракционная» сатурации гемоглобина кислородом. Транскутанная двухволновая пульсоксиметрия позволяет определить лишь функциональную сатурацию артериальной крови кислородом (**NB!** без учёта дисфункциональных дериватов гемоглобина) по формуле:

$$HbO_2\text{функц.} = 100\% \times \frac{HbO_2}{(HbO_2 + Hb)} \quad (1).$$

При транскутанном двухволновом измерении в артериальной крови HbO_2 функц. обозначается аббревиатурой SpO_2 .

В противоположность этому, инвазивное (в артериальной крови), многоволновое, оптическое определение оксигемоглобина подразумевает определение *фракционной сатурации артериальной крови* кислородом с учётом дисфункциональных дериватов гемоглобина по формуле:

$$HbO_2\text{фракц.} = 100\% \times \frac{HbO_2}{(HbO_2 + Hb + COHb + MetHb + \dots)} \quad (2).$$

При инвазивном измерении в артериальной крови HbO_2 фракц. обозначается аббревиатурой SaO_2 .

Разность [HbO_2 функц. – HbO_2 фракц.] между функциональным и фракционным уровнями HbO_2 представляет собой «the pulse oximetry gap» — «ошибку» или «разрыв» пульсоксиметрии [10]. В узком понимании данная ошибка возникает из-за отсутствия учёта дисфункциональных дериватов гемоглобина, в первую очередь, COHb и MetHb.

Так, при исследовании воздействия CO (оксида углерода) на экспериментальных животных 90% уровень SpO_2 был зарегистрирован в тот момент, когда уровень COHb составлял 70%, а инвазивное фракционное насыщение HbO_2 не превышало 30% [11, 12].

Наиболее близки (почти идентичны) к уровню HbO_2 фракц. значения SpO_2 при неинвазивном применении *многоволновой пульсовой оптической CO-оксиметрии* (multiwave length pulse CO-oximetry) или *многоволновой пульсовой спектрометрии*, т.к. при этих способах измерения оксигемоглобина уровни дисфункциональных гемоглобинов уже учтены.

В более широком понимании выраженность «the pulse oximetry gap» зависит не только от учёта дисфункциональных дериватов Hb, но и от других, технических и/или методологических, причин.

К этим причинам относят: невозможность полной синхронизации инвазивного и неинвазивного измерения уровней оксигенации крови (особенно при транскутанном мониторинговании); применение 2-волновой пульсоксиметрии или многоволновой CO-оксиметрии. Имеют значение и технологические особенности тех или иных моделей многоволновых CO-оксиметров, а также разные диагностические возможности многоволновой CO-оксиметрии и более современной многоволновой пульсовой импульсной спектроскопии.

Ведущие мировые производители декларируют «погрешность измерения» $SpO_2 \pm 2$, возникающую в случае сопоставления SpO_2 и SaO_2 , при одновременном неинвазивном и инвазивном их измерении. Указанная погрешность наблюдается в 68% измерений, в 27% случаев погрешность составляет $\pm 4\%$, а в 5% погрешность измерения превышает 4%. Воспроизводимость пульсоксиметрии составляет около $\pm 1\%$ [13, 14, 15].

Австралийскими и новозеландскими учёными была изучена степень соответствия между насыщением гемоглобина кислородом, измеренным с помощью транскутанной двухволновой пульсоксиметрии и с помощью инвазивной оксиметрии артериальной крови. Разница между измеренными значениями составила 1,2% с ДИ от 2,0 до 4,4% [16].

У 3,3% пациентов различия между SaO_2 и SpO_2 оказались более значительными. Уровень SpO_2 был, как минимум,

на 4% ниже уровня SaO_2 у 2,5%, и, на 4% выше у 0,8% пациентов. При этом ни у кого из участников исследования с $\text{SpO}_2 \geq 92\%$ не была выявлена гипоксемия с уровнем $\text{SaO}_2 < 90\%$ [16].

Известно, что показания SpO_2 при уровне оксигенации крови $< 70\%$ будут неточными [17].

К современным методам количественного определения основных дериватов гемоглобина относятся:

1. *Инвазивные методы многоволнового оптического анализа газов крови с помощью абсорбционной спектрофотометрии (methods of multiwave length optical blood gas analysis)* с раздельным определением в крови основных дериватов гемоглобина за счёт использования множества световых длин волн. Данные методы позволяют почти полностью исключить “the pulse oximetry gap”. Основные недостатки — инвазивность и невозможность мониторировать дериваты гемоглобина;
2. *Цианидный фотометрический метод выявления метгемоглобина.* Метод считается референсным [8]. Используют также *инвазивные СО-оксиметрические методы определения MetHb*;
3. *Методы многоволновой пульсовой оптической СО-оксиметрии (multiwave length pulse CO-oximetry) и многоволновой пульсовой импульсной спектроскопии.* Многоволновые пульсовые методы предназначены для раздельного определения дериватов Hb. Указанные методы обеспечивают точность измерения дериватов Hb, сопоставимую с результатами инвазивного многоволнового оптического анализа [11, 18–22].

Величина “the pulse oximetry gap” при использовании указанных методов минимальна, но зависит от применяемой техники и может зависеть от выраженности гипоксемии [3, 5, 20, 16 и мн. др.].

Например, в пульсовых СО-оксиметрах компании Masimo Corporation используется уже не 2 волны, а от 5 до 12 длин волн. Важная особенность технологии Masimo SET связана со значительным ограничением помех при движении пациентов и при недостаточной перфузии ко-

нечностей, а также с высокой способностью изолировать нужный для пульсоксиметрии пульсирующий артериальный компонент от ненужного постоянного [19, 20].

В 2013 г. Feiner J. R., Rollins M. D., Sall J. W. et al. [20] сопоставили уровни оксигемоглобина и COHb у некурящих здоровых лиц при одновременном проведении многоволновой СО-оксиметрии и многоволнового оптического анализа крови из лучевой артерии. При этом были использованы 2 разных датчика Masimo Rainbow, которые накладывали на указательный и безымянный пальцы обеих рук.

Для сопоставления неинвазивных и инвазивных величин анализируемых параметров у каждого из 12 обследованных волонтеров были взяты 25 проб крови и смоделированы 3 клинические ситуации: *нормоксемия с постепенным ступенчатым повышением COHb до 12%; гипоксемия со ступенчатым снижением SaO_2 до 80%; гипоксемия в сочетании с карбоксигемоглобинемией* [20].

Многоволновая пульсовая СО-оксиметрия продемонстрировала приемлемую точность в диагностике гипоксемии, которая для SpO_2 составила $0,44 \pm 1,69\%$ при $\text{COHb} < 4\%$ и $-0,29 \pm 1,64\%$ при $\text{COHb} \geq 4\%$. В случае нормоксемии и умеренной гипоксемии точность многоволновой пульсовой СО-оксиметрии также оказалась приемлемой. Однако при $\text{SaO}_2 < 85\%$ многоволновая пульсовая СО-оксиметрия не смогла точно измерить COHb из-за неудовлетворительного качества сигнала [20].

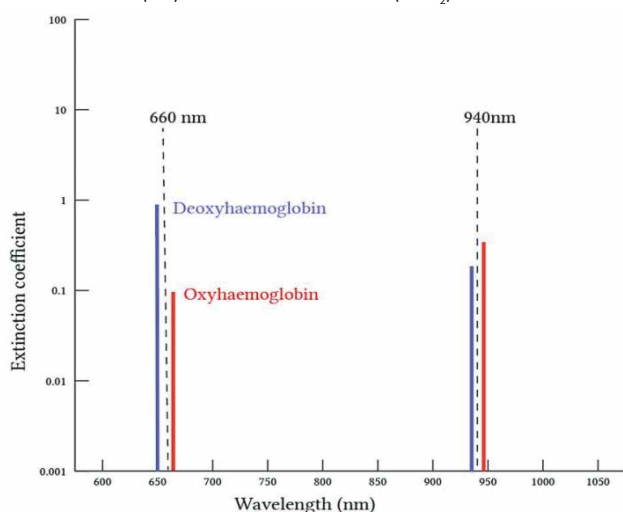
Относительно недавно был разработан один из самых современных вариантов многоволновой пульсоксиметрии с применением уже сотен длин волн видимого и инфракрасного спектров света (например, 350 длин волн в диапазоне от 500 до 850 нм в одном из приборов с подобной технологией). Данный метод был реализован в методике *многоволновой пульсовой импульсной спектроскопии* [21].

Разработчики для расчета дериватов гемоглобина применили 15 миллионов одиночных 12-битных импульсов, генерируемых в 1 секунду. Световые спектры предварительно калибровались по белому цвету, а затем переносились на 40 усредненных спектров поглощения света, приведённых к 1 секунде. Затем спектральное поглощение света использовалось для раздельного определения SpO_2 , MetHb и COHb [21].

Результаты применения многоволновой пульсовой импульсной спектроскопии были опубликованы в 2016 г. Kulcke A., Feiner J., Menn I. et al. [21]. Целью исследования явилось сопоставление уровней оксигемоглобина, COHb и MetHb при одновременном проведении неинвазивной многоволновой импульсной спектроскопии (V-Spec™ Sensors) и инвазивного многоволнового оптического анализа крови, полученной с помощью катетеризации лучевой артерии (ABL90 FLEX; Radiometer Medical A/S) у 19 здоровых волонтеров во время моделированной гипоксемии, карбоксигемоглобинемии и метгемоглобинемии.

У волонтеров было взято до 250 проб артериальной крови и использованы до 888 показаний импульсной спектроскопии. Анализировали 3 клинические ситуации: *гипоксемию с HbO_2 в диапазоне от 100 до 58,5%; нормоксемию с повышенными до 10% уровнями COHb и MetHb;*

Рисунок 1. Особенности абсорбции красного и ближнего инфракрасного спектров света восстановленным (деоксигенированным) гемоглобином (Hb) и оксигемоглобином (HbO_2)



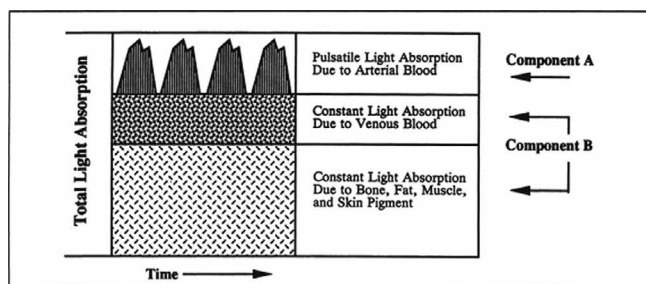


Рисунок 2. «Пульсирующий» (А) и «постоянный» (В) компоненты абсорбции света при проведении транскутанной пульсоксиметрии

гипоксемию со снижением HbO_2 до 80% в сочетании с 10% уровнями COHb или MetHb [21].

Многоволновая пульсовая импульсная спектроскопия продемонстрировала минимальное отклонение SpO_2 от величины HbO_2 при HbO_2 от 60 до 100% ($0,06 \pm 1,3\%$). При более низких значениях HbO_2 отклонение SpO_2 от HbO_2 возрастало. Отклонения COHb и MetHb при умеренной гипоксемии оказались небольшими ($0,45 \pm 1,63$ и $0,36 \pm 0,80$). Точность выявления гипоксемии при повышенных уровнях COHb с помощью обсуждаемого метода оказалась достаточной. При повышенных ($>10\%$) уровнях MetHb было выявлено существенное отрицательное отклонение (до $-10,3\%$) SpO_2 от HbO_2 [21].

К сожалению, стоимость оборудования для проведения многоволновой пульсовой оптической СО-оксиметрии и многоволновой импульсной спектроскопии очень высока по сравнению со стоимостью двухволновых пульсоксиметров, что ограничивает их массовое применение.

4. Транскутанная двухволновая пульсоксиметрия — самый распространённый в клинике неинвазивный метод оценки оксигенации крови. При этом казавшиеся «незыблемыми» классические принципы применения данного метода также модернизируются и трансформируются.

Например, появились транскутанные пульсоксиметры с двухинфракрасными датчиками, в которых применена абсорбция двух инфракрасных волн (761 и 820 нм), а не абсорбция 2 волн в красном и инфракрасном спектрах света [23].

Ограничение двухинфракрасного метода по сравнению с технологией 2-волновой пульсоксиметрии — меньший сигнал, который может привести к нежелательному уменьшению отношения сигнал/шум. Однако, при использовании двухинфракрасной технологии пульсоксиметрии указанный недостаток компенсируется «эффектом сокращения длины оптических путей» [23].

В 2023 г. Elron E., Bromiker R., Gleisner O. et al. опубликовали результаты сравнения точности транскутанной пульсоксиметрии в случае применения двух датчиков — классического 2-волнового (в красном и инфракрасном спектрах) датчика для новорожденных и экспериментального двухинфракрасного. В первом случае полученные сигналы поступали в пульсоксиметр Nellcor от классического 2-волнового датчика, а во втором случае — от двухинфракрасного с длинами волн в ближнем инфракрасном спектре (761 и 820 нм). Для минимизации «шума» были применены новые физические принципы [23].

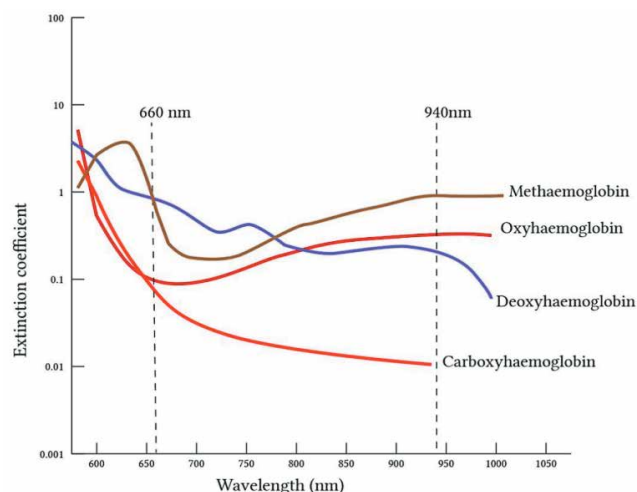
Были обследованы [23] 17 новорожденных с врождёнными пороками сердца и $\text{SpO}_2 < 90\%$. Для оценки фракционной оксигенации крови новорожденным было использовано взятие крови с помощью пупочных или периферических артериальных катетеров. Оба пульсоксиметрических датчика продемонстрировали завышение уровня оксигенации крови. При этом разница $\text{SpO}_2 - \text{SaO}_2$ ожидаемо возросла при усилении инвазивно измеренной гипоксемии. Однако стандартное отклонение разницы $\text{SpO}_2 - \text{SaO}_2$ за счёт «эффекта сокращения длины оптических путей» при использовании двухинфракрасного датчика было достоверно меньшим, чем при использовании классического 2-волнового пульсоксиметрического датчика ($\text{SD} = 3,6$ против $\text{SD} = 6,5$).

Ещё один современный вариант 2-волновой пульсоксиметрии — т.н. «компьютерная пульсоксиметрия» (в качестве более точного предлагаем термин «спектральная пульсоксиметрия» — **примеч. авторов**), позволяющая после компьютерной обработки анализировать спектры SpO_2 в пределах 95–100%, 90–94%, 85–89% и др.), зарегистрированные в состоянии покоя или во время сна или при выполнении теста с 6-минутной ходьбой [24].

Однако, без учёта дисфункциональных дериватов гемоглобина, спектральные показатели оксигенации крови также будут искажены за счёт «the pulse oximetry gap» (особенно у курильщиков), т.к. абсорбция света COHb и HbO_2 почти идентична и COHb воспринимается как оксигемоглобин [11, 25–30 и др.].

В случае повышенных значений MetHb ситуация более сложная. Это связано с особенностями абсорбции света HbO_2 и MetHb в красном и ближнем инфракрасном спектрах. При уровне MetHb в 35% и фракционном насыщении Hb кислородом $>85\%$, 2-волновой пульсоксиметр «занизит» значение оксигемоглобина примерно до 85%. Если же фракционное насыщение Hb кислородом $<85\%$, то 2-волновой пульсоксиметр его «завысит» до указанного уровня ($\approx 85\%$). При дальнейшем увеличении MetHb зна-

Рисунок 3. Кривые поглощения света дериватами гемоглобина



Примечание: коэффициенты поглощения четырех основных дериватов гемоглобина представлены в зависимости от длины волны света. COHb и HbO_2 одинаково поглощают красный свет. Поглощение красного света MetHb и Hb также идентично [9].

чение SpO_2 существенно не изменится и останется на достигнутом «плато» [31].

MetHb образуется при окислении циркулирующего Hb, который при этом теряет способность переносить O_2 . Противодействует данной реакции метгемоглобинредуктаза [31]. Метгемоглобинемия возникает, в частности, под воздействием нитритов и нитратов, ароматических аминов, хлорбензола, некоторых местных анестетиков, хлорохина, нитропрусида, нитроглицерина и других веществ [32, 33]. Известно, что вдыхание дыма во время пожаров и отравление выхлопными газами автомобилей могут привести к повышению MetHb, а не только COHb. При метгемоглобинемии кислородотерапия неэффективна [32–34].

COHb образуется при химической реакции CO с Hb, что неизбежно приводит к вытеснению кислорода. Период полураспада COHb составляет >5 часов [8, 14, 25, 35–37].

В клетках ретикулоэндотелиальной системы эритроциты распадаются с образованием CO. За счёт этого механизма образуется около 79% эндогенной CO. Распад миоглобина, цитохромов, металлосодержащих ферментов, перекисное окисление липидов, итог жизненного цикла некоторых бактерий, воздействие ксенобиотиков приводят к образованию ещё 21% эндогенной CO [14, 25, 38, 39]. Выхлопы автомобилей, дым при сгорании топлива, природный газ, табачный дым, воздействие некоторых аэрозольных красок — основные экзогенные источники CO.

Под воздействием CO возникают все известные виды гипоксии: гемическая, гипоксическая и циркуляторная. Избыточный уровень COHb приводит к смещению кривой диссоциации HbO_2 влево с развитием кислородного «обкрадывания» тканей, т.к. отдача O_2 из крови в ткани и жизненно важные органы при этом уменьшается [8, 40].

Сродство CO к сердечному миоглобину в 3 раза выше, чем к скелетному. Поэтому возможны «отсроченные» симптомы воздействия окиси углерода, обусловленные медленным высвобождением CO из карбоксимиоглобина (MbCO) с образованием COHb. Нельзя не вспомнить о табакокурении, которое является хронической формой «отравления» CO с нерезко, но длительно (годами и десятилетиями), повышенным уровнем COHb [8, 25].

Отравление CO может проявиться неспецифическими симптомами (головные боли), имитирующими другие расстройства (пищевое отравление, алкогольная интоксикация, острая психическая декомпенсация, «гриппоподобные симптомы») или истинными расстройствами, которые провоцируются CO (стенокардия, обмороки). Диагноз отравления угарным газом часто затруднён. CO нарушает функции миоглобина и митохондрий, активирует гуанилатциклазу с вазодилатацией и гипотензией, усиливает перекисное окисление липидов с микрососудистыми нарушениями и реперфузионными повреждениями.

При повышении COHb значения SpO_2 (при 2-волновой пульсоксиметрии) всегда завышены, что не позволяет своевременно диагностировать ДН, например, у курильщиков, особенно с хронической обструктивной болезнью лёгких или бронхиальной астмой (БА). Выявлено ошибочное завышение уровня оксигенации крови при пульсоксиметрии

примерно на 1% в случае прироста на такую же величину уровня COHb [21, 25, 41].

В материалах GINA 2007 года [42] было обращено внимание на результаты исследований Horvath I. и Barnes P. J. [42, 43], которые у некурящих (!) здоровых лиц с признаками атопии выявили в выдыхаемом воздухе достоверное повышение CO по сравнению с некурящими здоровыми лицами без атопии. Поэтому эксперты GINA предложили в качестве неинвазивного маркера воспаления дыхательных путей у некурящих больных БА не только повышенный уровень NO (FeNO), но и повышенный уровень CO (FeCO) в выдыхаемом воздухе.

Мы также выявили достоверно более высокий уровень FeCO, в т.ч. и у некурящих пациентов [44]. В частности, уровень CO в выдыхаемом воздухе был достоверно выше у молодых некурящих больных БА по сравнению с молодыми здоровыми некурящими лицами без атопии. При этом уровни COHb также аналогично и достоверно отличались.

“The pulse oximetry gap” (ошибка пульсоксиметрии), зарегистрированная нами после коррекции SpO_2 на COHb, у здоровых некурящих лиц составила в среднем +0,3%, а у некурящих пациентов с аллергической БА составила уже +0,5% ($p < 0,001$). Разумеется, данный способ определения “the pulse oximetry gap” нельзя назвать классическим, но теоретически он допустим, т.к. коррекция SpO_2 на COHb приближает функциональное насыщение гемоглобина кислородом к фракционному, хотя и без учёта (в нашем случае) метгемоглобина [44].

Возможность клинически значимого повышения уровня COHb и MetHb была выявлена и у больных COVID-19 (в т.ч. у некурящих), особенно при тяжёлом течении заболевания [45–47].

В 2020 г. Scholkmann F., Restin T., Ferrari M., Quaresima V. [45] опубликовали обзор по результатам 7 публикаций по метгемоглобинемии и 3 публикаций по карбоксигемоглобинемии у ковидных больных. Отмечалось, что увеличение MetHb и COHb может произойти у пациентов с COVID-19, особенно у тяжелобольных, иногда до опасно высоких уровней.

Лекарства (гидроксихлорохин), назначаемые пациенту, и статус глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы пациента влияют на выраженность метгемоглобинемии и карбоксигемоглобинемии. По мнению авторов «тяжёлым» больным с COVID-19 рекомендован регулярный контроль уровней MetHb и COHb. При этом, по известным причинам (появление “the pulse oximetry gap”, **примеч. авторов**), была отмечена возможность неправильной интерпретации показаний пульсоксиметрии при карбокси- и метгемоглобинемии [45].

Точность пульсоксиметрии при COVID-19 важна, т.к. согласно федеральным рекомендациям по COVID-19, пульсоксиметрия у ковидных больных назначается для «выявления ДН и оценки выраженности гипоксемии» [48]. Для объективной оценки тяжести ковидных больных выделяют 3 пограничных значения SpO_2 — <95% (характерно для среднетяжёлого течения заболевания), ≤92% (показание к госпитализации в реанимационное отделение) и <91% (высокая вероятность неблагоприятного

ного исхода) [13, 48–50]. По некоторым данным уровень $\text{SpO}_2 < 90,5\%$ у ковидных пациентов ассоциирован с низкой выживаемостью [50].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При диагностике ДН необходимо учитывать погрешность SpO_2 . Одна из распространённых причин такой погрешности — феномен “the pulse oximetry gap”.

Минимизация «ошибки пульсоксиметрии» позволяет улучшить скрининг дыхательной недостаточности. Для этого с успехом могут быть применены *многоволновая пульсовая оптическая СО-оксиметрия и/или многоволновая пульсовая импульсная спектроскопия*, технология которых предусматривает отдельный учёт уровней основных функциональных и дисфункциональных гемоглобинов.

Применение транскутанной 2-волновой пульсоксиметрии для скрининга ДН ассоциировано с большей величиной “the pulse oximetry gap” (особенно у курильщиков), и, следовательно, с большей погрешностью SpO_2 . Для минимизации возникающей «ошибки пульсоксиметрии» целесообразно корректировать SpO_2 на уровень дисфункциональных дериватов гемоглобина, особенно на уровни CONH и MetHb [51–52].

Возможные преимущества двухинфракрасных датчиков перед традиционными красно-инфракрасными датчиками при проведении двухволновой пульсоксиметрии требуют дальнейшего изучения и дополнительного клинического подтверждения.

Уровень основных дисфункциональных гемоглобинов у некоторых (в том числе, у некурящих) пациентов в представленных выше клинических ситуациях может повышаться, приводя к дополнительному нарушению транспорта кислорода.

Список литературы / References:

1. Дембо А. Г. Недостаточность функции внешнего дыхания. Л.: Медгиз, 1957;
2. Оксигеметрия. Большая Медицинская Энциклопедия (БМЭ), под редакцией Петровского Б. В., 3-е издание. [Электронный ресурс] // URL: <https://xn-90aw5c.xn--c1avg/index.php/%D0%9E%D0%9A%D0%A1%D0%98%D0%93%D0%95%D0%9C%D0%9E%D0%9C%D0%95%D0%A2%D0%A0%D0%98%D0%AF?ysclid=lnwfyoda496962637>; (Дата обращения 29.07.2023);
3. Touger M., Birnbaum A., Wang J., Chou K. et al. Performance of the RAD-57 pulse CO-oximeter compared with standard laboratory carboxyhemoglobin measurement. Ann. Emerg. Med. 2010; 56 (4): 382–388. DOI: 10.1016/j.annemergmed;
4. Severinghaus J. W. Takuo Aoyagi: discovery of pulse oximetry. Anesthesia and analgesia. 2007; 105(6):1–4. DOI: 10.1213/01.ane.0000269514.31660.09;
5. Шурыгин И. А. Мониторинг дыхания: пульсоксиметрия, капнография, оксиметрия: СПб.: Невский Диалект, 2000:301 С.;
6. Федотов А. А., Акулов С. А., Конохов В. Н. Технические методы диагностических исследований и лечебных воздействий: Комплекс метод. указаний. Самар. нац. исслед. ун-т.: Самара, 2016: 56 С.;
7. Кушаковский М. С. Клинические формы повреждения гемоглобина (этиология, патогенез, спектрофотометрические и биохимические методы исследования, диагностика, лечение). Л.: Медицина. 1968: 18–21;
8. Фаткулин К. В., Гильманов А. Ж., Костюков Д. В. Клиническое значение и современные методологические аспекты определения уровня карбокси- и метгемоглобина в крови. Информационный сайт в области медицины «Медицинская практика». 2014. [Электронный ресурс] // URL: <https://mfvt.ru/klinicheskoe-znachenie-i-sovremennye-metodologicheskie-aspekty-opredeleniya-urovnya-karboksi-i-metgemoglobina-v-krovi/> (Дата обращения: 24.01.2022);
9. Edward D. Chan, Michael M. Chan, Mallory M. Chan. Pulse oximetry: Understanding its basic principles facilitates appreciation of its limitations, Respiratory Medicine. 2013; Vol. 107(Issue 6):789–799. DOI: 10.1016/j.rmed.2013.02.004;
10. Bozeman W. P., Myers R. A. M., Barish R. A. Confirmation of the pulse oximetry gap in carbon monoxide poisoning. Ann Emerg Med. 1997; (30):608–611;
11. Barker S. J., Tremper K. K. The effect of carbon monoxide inhalation on pulse oximeter signal detection. Anesthesiology. 1987; (67):599–603;
12. Barker S. J., Tremper K. K. The effect of carbon monoxide inhalation on pulse oximetry and transcutaneous PO₂. Anesthesiology 1987; 66:677–9;
13. Гришин О. В., Гришин В. Г. Клиническое значение пульсоксиметрии у взрослых. Медицинский алфавит. 2020;(25):13–21. DOI: 10.33667/2078–5631–2020–25–13–21;
14. Omaye S. T. Metabolic modulation of carbon monoxide toxicity. Toxicology. 2002; (180):139–150;
15. Tamura T. Current Progress of Photoplethysmography and SPO₂ for Health Monitoring. Biomed Eng Lett. 2019; Feb; 18;9(1):21–36. DOI: 10.1007/s13534–019–00097-w;
16. Pilcher J., Ploen L., McKinstry S. et al A multicentre prospective observational study comparing arterial blood gas values to those obtained by pulse oximeters used in adult patients attending Australian and New Zealand hospitals. BMC Pulm Med. 2020; Jan 9;20(1):7. DOI: 10.1186/s12890–019–1007–3;
17. Torp K. D., Modi P., Simon L. V. Pulse Oxymetry In: Stat Pearls [Internet]. Treasure Island (FL): Stat Pearls Publishing; 2023 Jan. 2022 Aug 10. [Электронный ресурс] настр.: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29262014/> (Дата обращения 31.07.2023)
18. Annabi E. H., Barker S. J. Severe methemoglobinemia detected by pulse oximetry. Anesth Analg. 2009; 108(3): 898–899. DOI: 10.1213/ane.0b013e318172af73;
19. Barker S. J., Curry J., Redford D., Morgan S. Measurement of carboxyhemoglobin and methemoglobin by pulse oximetry: a human volunteer study. Anesthesiology. 2006; 105(5): 892–897. DOI: 10.1097/0000542–200611000–00008;
20. Feiner J. R., Rollins M. D., Sall J. W. et al. Accuracy of carboxyhemoglobin detection by pulse CO-oximetry during hypoxemia. Anesth Analg. 2013; Oct; 117(4):847–858. DOI: 10.1213/ANE.0b013e31828610a0;
21. Kulcke A., Feiner J., Menn I. et al. The Accuracy of Pulse Spectroscopy for Detecting Hypoxemia and Coexisting Methemoglobin or Carboxyhemoglobin. Anesth Analg. 2016; Jun; 122(6):1856–65. DOI: 10.1213/ANE.0000000000001219;
22. Fouzas S., Pfitz K. N., Anthracopoulos M. B. Pulse oximetry in pediatric practice. Pediatrics. 2011 Oct; 128(4):740–52. DOI: 10.1542/peds.2011–0271;
23. Elron E., Bromiker R., Gleisner O. Overestimation of Oxygen Saturation Measured by Pulse Oximetry in Hypoxemia. Part 1: Effect of Optical Pathlengths-Ratio Increase. Sensors (Basel). 2023; Jan 28;23(3): 1434. Published on line 2023 Jan 28. DOI: 10.3390/s23031434;
24. Бузунов Р. В., Иванова И. А., Кононов Ю. А. и др. Компьютерная пульсоксиметрия в диагностике нарушений дыхания во сне: Ижевск, 2013. — 40 стр.;
25. Гноевых В. В., Шорохова Ю. А., Смирнова А. Ю. Устранение диагностической неточности двухволновой пульсоксиметрии в оценке оксигенации крови у курильщиков. «Медицинский алфавит». Кардиология. Неотложная медицина. Современная функциональная диагностика (1). 2022; № 9: 46–49. DOI: 10.33667/2078–5631–2022–9–46–49;
26. Руководство ВОЗ по пульсоксиметрии, 2009. [Электронный ресурс] // URL: <https://mayak.help/wp-content/uploads/2016/05/WHO-Pulse-Oximetry-Training-Manual-Final-Russian.pdf> (Дата обращения: 24.01.2022);
27. Amal Jubran. Pulse Oximetry. Crit Care. 1999; (3): 11–17;
28. Buckley R. G., Aks S. E., Eshom J. L. et al. The pulse oximeter gap in carbon monoxide intoxication. Ann Emerg Med. 1994; (24):252–255;
29. Guzman G. A. Carbon Monoxide Poisoning. Critical Care Clinics. 2012; 28(4):537–548. DOI: 10.1016/j.ccc.2012.07.007;
30. Wilson Iain. Pulse oximetry — Part 1/I. Wilson. Anaesthesia Tutorial Of The Week 123, 2nd March. 2009:1–7.
31. Mokhlesi B., Kamp R. C. Critical Care Nephrology (Second Edition) 2009. [Электронный ресурс] настр.: <https://www.sciencedirect.com/topics/medicine-and-dentistry/methemoglobin> (Дата обращения 30.07.2023);

32. Responding to Terrorism. Chapter 5 — Chemical Agents. A Medical Handbook, 2010:233–344 [Электронный ресурс] на стр.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780080450438000052> (Дата обращения 30.07.2023);
33. Rohrig T.P. Postmortem Clinical Chemistry [Электронный ресурс] на стр.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B9780128151631000113> (Дата обращения 30.07.2023);
34. Cooling L. The RBC as a Physiological Object. [Электронный ресурс] на стр.: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/B978012386456706202X> (Дата обращения 30.07.2023);
35. Крамаренко В. Ф. Токсикологическая химия (учебник). Киев: Выща школа, Головное изд-во. 1989: 415–419;
36. Мосур Е. Ю. Спектрофотометрический метод определения содержания основных производных гемоглобина: автореф. дис. канд. физ.-мат. наук. — Омск. 2007;
37. Румянцев Е. В., Антипа Е. В., Чистяков Ю. В. Химические основы жизни. М.: Химия. Колос. 2007: 176–179;
38. Коржов В. И., Видмаченко А. В., Коржов М. В. Моноксид углерода (обзор литературы). Журн. АМН Украины. 2010; 16 (1): 23–37;
39. Шулагин Ю. А. Мониторинг эндогенной моноокиси углерода у человека и животных методами лазерного спектрального анализа: автореф. дис. канд. биол. наук. — М., 2005;
40. West J. B. Respiratory Physiology: The Essentials (eighth edition) Wes: England. 2013;
41. Nitzan M., Romem A., Koppel R. Pulse oximetry: fundamentals and technology update. Med Devices (Auckl). 2014; Jul; 8; 7:231–240. DOI: 10.2147/MDER.S47319;
42. Global Initiative for Asthma, GINA, 2007. [Электронный ресурс] // URL: https://www.bronho.ru/GINARepor2006_Russian.pdf (Дата обращения: 24.01.2022);
43. Horvath I., Barnes P. J. Exhaled monoxides in asymptomatic atopic subjects. Clin. Exp. Allergy. 1999; 29(9):1276–1280;
44. Смирнова А. Ю., Гноевых В. В., Шалашова Е. А. и др. Клиническое значение дисфункций пульмокардиальной системы у курильщиков с персистирующей бронхиальной астмой. Российский медицинский журнал. 2011; (4):68–73;
45. Scholkmann F., Restin T., Ferrari M. et al. The Role of Methemoglobin and Carboxyhemoglobin in COVID-19: A Review. J Clin Med. 2020 Dec 25; 10(1). pii: E50. DOI: 10.3390/jcm10010050;
46. Faisal H., Ali S. T., Xu J. et al. Carboxyhemoglobinemia in Critically ill Coronavirus Disease 2019 Patients. J Clin Med. 2021 Jun 21; 10(12). pii: 2731. DOI: 10.3390/jcm10122731;
47. Goravey W, Ali GA. DOI: 10.1016/j.idcr.2023.e01705. Epub 2023 Feb 2. [Электронный ресурс] //URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36747910/> (Дата обращения: 30.07.2023)
48. Профилактика, диагностика и лечение новой коронавирусной инфекции (2019-nCoV). Временные методические рекомендации МЗ РФ. Версия 7. — 2020. — С. 122;
49. Лекция профессора С. Н. Авдеева: [Электронный ресурс] <https://1med.tv/archive/koronavirus-2020/covid19-podkhody-k-diagnostike-i-terapii-avdeev.html> (Дата обращения: 30.05.2020);
50. Xie J., Covassin N., Fan Z., et al. Association Between Hypoxemia and Mortality in Patients With COVID-19. Mayo Clin Proc. 2020 Apr. — 11; S0025-6196(20)30367-0. DOI: 10.1016/j.mayocp.2020.04.006;
51. Гноевых В. В., Шляпин В. А., Шорохова Ю. А., Смирнова А. Ю., Чернова Н. Г. Программа ЭВМ для коррекции по уровню карбоксигемоглобина результатов мониторингирования оксигенации крови при проведении транскутанной двухволновой пульсоксиметрии. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020618117; дата государственной регистрации 17.07.2020 г.;
52. Гноевых В. В., Шорохова Ю. А., Смирнова А. Ю., Ефремова Е. В. Диагностика и клиническое значение «скрытых» спектральных нарушений оксигенации крови у курильщиков с обострением бронхиальной астмы. «Архив внутренней медицины». 2023; 13(1): 75–80. DOI: 10.20514/2226-6704-2023-13-1-75-80.

Сведения об авторах

Гноевых Валерий Викторович — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-0557>;

Смирнова Анна Юрьевна — к.м.н., доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8175-5867>;

Шорохова Юлия Анатольевна — к.м.н., доцент кафедры пропедевтики внутренних болезней. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3991-0813>;

Чернова Надежда Георгиевна — старший преподаватель кафедры пропедевтики внутренних болезней. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1781-6968>;

Крестьянинов Максим Вячеславович — к.м.н., старший преподаватель кафедры пропедевтики внутренних болезней. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3616-7246>;

Песков Андрей Борисович — д.м.н., профессор, декан факультета последипломного, медицинского и фармацевтического образования. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7323-9934>;

Разин Владимир Александрович — д.м.н., профессор кафедры факультетской терапии. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8557-1296>.

¹ ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Россия

Автор для переписки:

Гноевых Валерий Викторович. E-mail: valvik@inbox.ru

About authors

Gnoevykh Valery Viktorovich — MD, Professor, Head of the Department of Internal Medicine Propaedeutics. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8009-0557>;

Smirnova Anna Yurievna — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Propaedeutics of Internal Diseases. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-8175-5867>;

Shorokhova Yulia Anatolievna — Candidate of medical sciences, associate professor of the department of propaedeutics of internal diseases. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-3991-0813>;

Chernova Nadezhda Georgievna — Senior Lecturer, Department of Propaedeutics of Internal Medicine. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-1781-6968>;

Krestyaninov Maxim Vyacheslavovich — Candidate of Medical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Internal Medicine Propaedeutics. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-3616-7246>;

Andrey Borisovich Peskov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Dean of the Faculty of Postgraduate, Medical and Pharmaceutical Education. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-7323-9934>;

Razin Vladimir Aleksandrovich — Doctor of medical sciences, professor, professor of the department of faculty therapy. ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-8557-1296>.

¹ FGBOU VO "Ulyanovsk State University", Ulyanovsk, Russia

Corresponding author:

Gnoevykh Valery Viktorovich. E-mail: valvik@inbox.ru

Статья поступила / Received 18.10.2023
Получена после рецензирования / Revised 20.10.2023
Принята в печать / Accepted 20.11.2023

Для цитирования: Гноевых В. В., Смирнова А. Ю., Шорохова Ю. А., Чернова Н. Г., Крестьянинов М. В., Песков А. Б., Разин В. А. "The pulse oximetry gap" или «ошибка пульсоксиметрии»: определение, причины, диагностика и клиническое значение. Медицинский алфавит. 2023;(32):20–26. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-20-26>

For citation: Gnoevykh V. V., Smirnova A. Yu., Shorokhova Yu. A., Krestyaninov M. V., Peskov A. B., Razin V. A. "The pulse oximetry gap": definition, reasons, diagnostics and clinical significance. Medical alphabet. 2023;(32):20–26. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-20-26>



Трехмерная векторкардиография в диагностике полной блокады левой ножки пучка Гиса

Ю. Э. Терегулов^{1,2,4}, М. С. Максимова¹, Е. Т. Терегулова¹, Ф. Р. Чувашаева^{1,4}, А. Ю. Терегулов^{3,4}, О. И. Милютин⁵, И. И. Милютин^{1,4}

¹ Казанская государственная медицинская академия — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г. Казань

² ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Казань

³ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Россия, РТ, г. Казань

⁴ Государственное автономное учреждение здравоохранения «Республиканская клиническая больница» Министерства здравоохранения Республики Татарстан, г. Казань

⁵ Государственной бюджетное учреждение здравоохранения «Детская городская клиническая больница № 13 им. Н. Ф. Филатова» Департамента здравоохранения г. Москвы, Москва

РЕЗЮМЕ:

Полная блокада левой ножки пучка Гиса (ПБЛНПГ) является причиной развития тяжелой сердечной недостаточности, которая требует проведение ресинхронизирующей терапии (CRT). Известно, что одна треть пациентов не отвечает на CRT. Поэтому необходимо проводить поиск новых диагностических критериев ПБЛНПГ для отбора пациентов на CRT.

Цель исследования. Определение критериев ПБЛНПГ по данным трехмерной векторкардиографии с анализом скорости формирования векторной петли.

Материал и методы. В исследование включено 137 пациентов. Основная группа 57 пациентов с ПБЛНПГ, которая установлена на основании ЭКГ критериев D. G. Strauss et al. (2011). Причины ПБЛНПГ и сопутствующие заболевания не учитывались. Контрольная группа включала 80 здоровых лиц. Всем пациентам была проведена синхронная регистрация 12 стандартных отведений ЭКГ и проведена реконструкция трехмерной векторкардиограммы (ВКГ) по системе МакФи-Парунгао.

Результаты исследования. Показано, что для ПБЛНПГ по данным трехмерной ВКГ характерны следующие признаки: • перелом пространственной векторной петли за счет изменения направления фронта возбуждения в средней ее части; • снижение индекса планарности (PI) менее 80%; • резкое, в 2 и более раза, снижение скорости трассировки пространственной векторной петли в средней ее части с формированием «клешнеобразной» кривой с двумя пиками R и L.

Выводы: трехмерная ВКГ позволяет достоверно определить «истинную» ПБЛНПГ на основании «перелома» пространственной векторной петли со снижением PI менее 80% и значительным снижением скорости трассировки векторной петли в средней ее части с формированием «клешнеобразной» кривой и провести дифференциальную диагностику с «ложной» ПБЛНПГ, при которой изменения на ЭКГ определяются сочетанием гипертрофии левого желудочка и передневерхнего полублока, когда отсутствует «перелом» петли и снижение PI, а скорость трассировки снижается в конечной части петли без формирования «клешнеобразной» кривой.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: блокада левой ножки пучка Гиса, электрокардиография, векторкардиография, собственная плоскость, индекс планарности, ресинхронизирующая терапия

Three-dimensional vector ECG analysis in the diagnosis of the left bundle branch block

Yu. E. Teregulov^{1,2,4}, M. S. Maksimova¹, E. T. Teregulova¹, F. R. Chuvashava^{1,4}, A. Yu. Teregulov^{3,4}, O. I. Milyutina⁵, I. I. Milyutina^{1,4}

¹ KSMA-Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE MOH Russia, Kazan, Russian Federation

² FSBEI HE Kazan SMU MOH Russia, Kazan, Russian Federation

³ Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

⁴ Republican Clinical Hospital Ministry of health Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

⁵ State budgetary health care institution "Children's City Clinical Hospital No. 13 named after N. F. Filatov" of the Department of Health of Moscow, Moscow

SUMMARY:

The complete left bundle branch block (CLBBB) leads to the development of severe heart failure and requires resynchronization therapy (CRT). It is known that one third of patients do not respond to CRT. In this regard, it is necessary to search new diagnostic criteria for patient selection for CRT.

Aim. Determination of the criteria for CLBBB using three-dimensional vectorcardiography data with analysis of the rate of vector loop formation.

Material and research methods. The study included 137 patients. The main group consisted of 57 patients with CLBBB, which was based on D. G. Strauss et al. (2011) criteria. Causes of CLBBB and comorbidities were not considered. The control group included 80 healthy individuals. All patients underwent synchronous registration of 12 standard ECG leads and reconstruction of a three-dimensional vectorcardiogram (VCG) using the McFee-Parungao system.

Research results. The following signs are characteristic for CLBBB according to three-dimensional VCG data: • fracture of the spatial vector loop due to a change in the direction of the excitation front in its middle part; • reduction in planarity index (PI) less than 80%; • a sharp, by a factor of 2 or more, decrease in the speed of tracing a spatial vector loop in its middle part with the formation of a "claw-shaped" curve with two peaks R and L.

Conclusion. Three-dimensional VCG allows you to reliably determine the "true" CLBBB, based on the "fracture" of the spatial vector loop with a reduction in PI less than 80% and a significant decrease in the speed of tracing the vector loop in its middle part with the formation of a "claw-shaped" curve and carry out a differential diagnosis with "false" CLBBB, in which changes on the ECG are associated with a combination of left ventricular hypertrophy and left anterior fascicular block, when there is no "fracture" of the loop, a reduction in PI, and the routing speed decreases at the end of the loop without forming a "claw-shaped" curve.

KEYWORDS: left bundle branch block, electrocardiography, vectorcardiography, own plane, planarity index, resynchronization therapy.

Полная блокада левой ножки пучка Гиса (ПБЛНПГ) — это нарушение проводимости сердца, которое влечет за собой как электрическую, так и механическую диссинхронию из-за замедленной активации левого желудочка, особенно его боковой стенки. Диссинхрония проявляется систолической и диастолической дисфункцией желудочков сердца с формированием митральной и трикуспидальной регургитации, что приводит к развитию сердечной недостаточности [1; 2].

Согласно эпидемиологическим исследованиям последних лет, встречаемость ПБЛНПГ в общей популяции населения составляет 0,1–0,8%. [3] При этом частота встречаемости ПБЛНПГ увеличивается с возрастом, к 50 годам она достигает 1,2%, а к 80 годам — 17% [4].

У пациентов с хронической сердечной недостаточностью (ХСН) ПБЛНПГ является предиктором повышенной смертности независимо от возраста, пола и основного заболевания [5]. В 27,4% случаев, по данным Фрамингемского исследования, через 3,3 года после возникновения ПБЛНПГ у пациентов развивается клинически выраженная ХСН [6]. Для больных с ХСН при ПБЛНПГ свойственна внезапная смерть: 11,9% этой категории больных умирают в течение года, из них 46,4% — внезапно [7].

Эффективным методом лечения ХСН при ПБЛНПГ является ресинхронизирующая терапия (CRT), основанная на имплантации трехкамерного кардиостимулятора, который позволяет обеспечить синхронное сокращения желудочков сердца.

Широко признанные традиционные критерии ПБЛНПГ были определены в 1941 году на основе модели блокады левой ножки у собак и впоследствии экстраполированы на людей [8]. Эти критерии включают уширение комплекса QRS ≥ 120 мс у взрослых ≥ 18 лет, и ≥ 100 мс у детей и подростков в возрасте от 4 до 17 лет, и ≥ 90 мс у детей младше 4 лет. При ПБЛНПГ фронт волны возбуждения от правого желудочка медленно проходит через перегородку к поздно-активированным заднебоковым сегментам левого желудочка и, следовательно, отведениям V1 и V2, формируя в них комплексы QRS rS- или QS-типа. Задержка внутреннего отклонения в отведениях V5 и V6 составляет более 60 мс, в отведениях I, V5 и V6 обычно нет септальных зубцов q из-за аномальной активации перегородки справа налево. Узкий q зубец может присутствовать в отведении aVL, если нет патологии миокарда [9].

В тоже время показано, у трети пациентов, имеющих ПБЛНПГ по общепринятым электрокардиографическим критериям, может не быть «истинной» ПБЛНПГ, но имеется гипертрофия левого желудочка (ГЛЖ) с блокадой передней ветви левой ножки пучка Гиса (БПВЛНПГ) и эти пациенты не отвечают на ресинхронизирующую терапию [10]. Это привело к необходимости разработок новых, более строгих критериев, учитывающих электрофизиологию активации при ПБЛНПГ.

Strauss D. G. et al рассмотрели патофизиологические и клинические доказательства, подтверждающие, почему только пациенты с ПБЛНПГ получают пользу от CRT. В 2011 году они предложили новый набор критериев для определения «строгой» ПБЛНПГ, где подчеркивали важ-

ность зубчатых R зубцов в левосторонних отведениях I, aVL, V5 или V6 как классической характеристики ПБЛНПГ, а также выявили электрофизиологические основы такого формирования комплексов QRS с помощью компьютерного моделирования ПБЛНПГ. Зазубрина должна начинаться после первых 40 мс от начала формирования комплекса QRS, но до половины длительности QRS, а заканчиваться примерно на 2/3 длительности QRS. Для достоверного определения ПБЛНПГ зазубрины должны определяться в двух соседних отведениях [8].

Чтобы избежать гипердиагностики ПБЛНПГ у пациентов с ГЛЖ и БПВЛНПГ, у которых QRS может незначительно превышать 120 мс, они предложили более высокий порог длительности QRS. Группа D. G. Strauss указали в своей работе на то, что порог 0,12 с был установлен на основе изучения ЭКГ собак, и предполагает, что нижний предел для ПБЛНПГ у людей должен быть скорее $\geq 0,14$ с у мужчин и $\geq 0,13$ с у женщин. Более высокий предел длительности QRS для мужчин был предложен из-за большего размера сердца, которое требует большего времени для деполяризации, как в норме, так и при патологии. При нормальной проводимости средняя продолжительность QRS составляет $92,7 \pm 9,3$ мс для мужчин и $87,1 \pm 8,7$ мс для женщин [11].

Отсутствие зубцов Q в левых отведениях обычно рассматривалось как еще один типичный критерий для классической ПБЛНПГ. Однако, Strauss D. G. et al. считают, что наличие зубцов Q в отведениях I, V5 и V6 не должно исключать у пациентов диагноз ПБЛНПГ, потому что к появлению этих зубцов может привести передний инфаркт, несмотря на присутствие блокады [8].

Сравнение общепринятых ЭКГ критериев диагностики ПБЛНПГ и критериев Strauss D. G. et al. представлены в таблице 1.

По данным Galeotti L. et al. (2013) строгие критерии ПБЛНПГ по Strauss D. G. повышают специфичность ее диагностики при наличии гипертрофии или дилатации левого желудочка (ЛЖ), что имеет важное значение для отбора пациентов на CRT [13]. Согласно результатам исследования M. Jastrzębski et al. определение ПБЛНПГ по Strauss D. G. лучше идентифицирует пациентов с «истинной» ПБЛНПГ, то есть, пациентов с большей диссинхронией ЛЖ и, следовательно, получающих больше пользы от ресинхронизирующей терапии [12].

Perez-Riera et al. (2019) предположили, что по ВКГ надежнее и проще диагностируется ПБЛНПГ, поскольку замедление проводимости в средней и конечной части петли QRS патогномично истинной ПБЛНПГ [14].

Таблица 1
ЭКГ критерии ПБЛНПГ [12]

ЭКГ критерии ПБЛНПГ	Общепринятые	Strauss
QRS ≥ 120 мс	+	
QRS ≥ 130 мс (для женщин)		+
QRS ≥ 140 мс (для мужчин)		
Пик R > 60 мс в V5/V6	+	
rS или QS в V1/V2 (с пиковым временем R)	+	+
Зазубрина в середине QRS или плато в ≥ 2 отведениях: I, aVL, V1, V2, V5, V6		+
Нет q-зубца в I, V5, V6	+	

Предложены следующие критерии ПБЛНПГ по данным ВКГ в ортогональной системе координат:

- длительность цикла QRS ≥ 130 мс (женщины) или ≥ 140 мс (мужчины);

Фронтальная плоскость:

- вектор начальных 10 мс направлен влево и вниз (реже влево и вверх);
- петля QRS вращается против часовой стрелки или образует восьмерку;
- задержка формирования петли QRS в средне-конечной части;
- направление максимального вектора обычно от $+30^\circ$ до -30° ;
- петля Т противоположна QRS и вращается против часовой стрелки.

Горизонтальная плоскость:

- узкая, длинная петля QRS, обычно в форме восьмерки;
- форма петли QRS удлинённая; основная часть петли QRS расположена сзади и слева в диапазоне от -90° до -40° , запись петли идет по часовой стрелке;
- максимальный вектор QRS расположен в левом заднем квадранте (между -40° и -80°);
- основные части петли QRS вращаются по часовой стрелке;
- вращение против часовой стрелки может указывать на БЛНПГ, осложнённую боковым инфарктом миокарда или тяжелой ГЛЖ;
- задержка формирования петли QRS в средне-конечной части;
- максимальный вектор QRS увеличен более чем на 2 мВ по сравнению с нормой;
- вектор ST-сегмент и Т направлены вправо и вперед в противоположном направлении относительно петли QRS;
- петля Т направлена вправо и вперед при записи против часовой стрелки;
- вращение Т-петли по часовой стрелке в этой плоскости указывает на осложнение БЛНПГ инфарктом или ГЛЖ.

Сагиттальная плоскость:

- вектор начальных 10 мс направлен вперед и вниз (или назад);
- петля QRS вращается по часовой стрелке в правой сагиттальной плоскости (RSP) или против часовой стрелки в левой сагиттальной плоскости (LSP), но редко поворачивается в восьмерку;
- задержка формирования петли QRS в средне-конечной части;
- направление максимального вектора от $+150^\circ$ до -75° ;
- Т-образная петля противоположна петле QRS, а вращение — по часовой (RSP) или против часовой стрелки (LSP).

В случае «ложной» ПБЛНПГ, т.е. при ГЛЖ в сочетании с БПВЛНПГ, петля QRS в трех плоскостях не имеет средне-конечной задержки формирования за счет нарушения проводимости, что является отличительной чертой истинной ПБЛНПГ. Авторы оценивали скорость формирования векторной петли по косвенным признакам — учащение появления временных меток на ВКГ. Такой подход крайне неточен и может дать только предположение о наличии ПБЛНПГ. К тому же, авторы использовали ортогональную систему координат и, в этом случае, могли наблюдаться

ложные результаты изменения скорости формирования петли, так как она зависит от длины проекции на ту или иную плоскость.

Трехмерная ВКГ, представляющая пространственную петлю, лишена этих недостатков. Трехмерный анализ позволяет представить движение суммарного вектора в трехмерном пространстве с определением его координат и амплитуды, показать собственную плоскость векторной петли — плоскость, имеющую максимальную площадь и рассчитать её характеристики, построить графики изменения амплитуды вектора и скорости формирования пространственной векторной петли.

Считают, что ассоциация методов ЭКГ и ВКГ может дать гораздо больше информации об электрических явлениях сердца, тем самым увеличивая их использование и позволяя дифференцировать потенциально опасные случаи от доброкачественных [15].

В тоже время, мы не нашли работ, посвященных использованию трехмерного анализа ВКГ при ПБЛНПГ.

В связи с этим, мы предприняли исследование, целью которого было определение критериев полной блокады левой ножки пучка Гиса по данным трехмерной векторкардиографии с анализом скорости формирования векторной петли.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Обследовано 57 пациентов с ПБЛНПГ (основная группа) в возрасте от 46 до 91 лет, средний возраст составил $69,2 \pm 10,6$ (M $\pm$ σ) лет. Из них 40 женщин и 17 мужчин.

ПБЛНПГ установлена на основании критериев D. G. Strauss et al. [7]. Причины ПБЛНПГ и сопутствующие заболевания не учитывались.

Группу сравнения составили 80 здоровых пациентов с нормальными данными ЭКГ, в возрасте от 18 до 40, средний возраст $31,5 \pm 6,3$ (M $\pm$ σ) лет, из них 54 женщин и 26 мужчин.

Всем пациентам проведена синхронная регистрация 12 стандартных отведений ЭКГ в ИС «Единый кардиолог Республики Татарстан» и проведена реконструкция трехмерной ВКГ по системе МакФи-Парунгао с анализом скорости формирования векторной петли, используя программное обеспечение EasyECG Rest ATES Medica (Россия).

Проведен анализ следующих параметров по данным трехмерной ВКГ:

- амплитуда максимального вектора QRS (QRS_{max});
- площадь поверхности трехмерной петли QRS (Sn);
- площадь проекции на собственную плоскость петли QRS (Sc);

собственная плоскость рассчитывается математически, как плоскость, имеющую максимальную площадь векторной петли из всех ее проекций; [16]

- индекс планарности (PI) — отражает степень отклонения пространственной петли ВКГ от основной плоскости (Sc) и определяется по следующей формуле в процентах:

$$PI = \frac{Sc}{Sn} \times 100\%.$$

если PI составляет 100%, то векторная петля плоская, снижение показывает степень отклонения от плоскостности [17]. Графическое пояснение представлено на рис. 1.

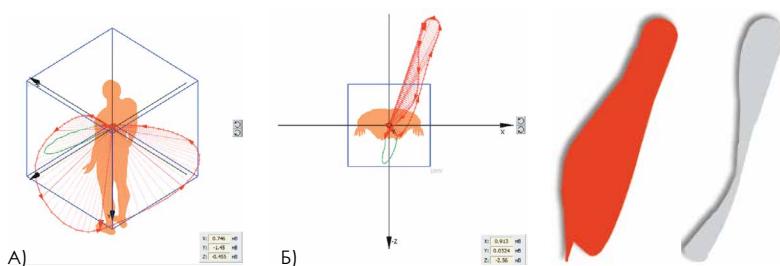


Рисунок 1. Графическое пояснение к некоторым ВКГ параметрам. А) пример изображения собственной плоскости; Б) расчет индекса планарности: представлено изображение петли QRS в горизонтальной проекции; красная фигура представляет собой площадь поверхности трехмерной петли (Sn), серая — проекция на собственную плоскость петли (Sc).

Оценивалась форма петли QRS с помощью индекса округлости (RI), который измерялся как отношение площади собственной плоскости петли QRS (Sc) к квадрату максимального вектора QRS (QRS_{max}), проходящего через начало петли QRS [17].

$$RI = \frac{Sc}{QRS_{max}^2}.$$

Построены графики изменения амплитуды пространственного вектора и скорости формирования (трассировки) пространственной векторной петли в XYZ.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью компьютерных программ Statistica 8.0 и Biostat. Средние значения представлены в виде $M \pm \sigma$. Оценка нормальности распределения количественных признаков проводилась по критериям Колмогорова-Смирнова. Вероятность межгрупповых различий определяли по критерию Стьюдента. Различия считали достоверными при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В программе EasyECG Rest ATES Medica были реконструированы ВКГ обследуемых пациентов по системе Макфи-Парунгао и рассчитаны продолжительность QRS, электрическая ось сердца (ЭОС) в градусах, амплитуда максимального вектора, площадь трехмерной петли, индекс планарности и индекс округлости. Данные представлены в таблице 2.

Проведен анализ векторных петель в ортогональной системе координат. Оценивали направление формирования векторных петель во фронтальной (FP), горизонтальной (HP) и правой сагиттальной плоскостях (RSP) и наличие перекрестов. Данные представлены в таблице 3.

Показано, что у здоровых лиц во фронтальной плоскости формирование векторной петли было по направлению как по часовой, так и против часовой стрелки. В то же время, у всех здоровых пациентов в горизонтальной плоскости — против часовой стрелки, а в правой сагиттальной — по часовой стрелке. Перекресты во всех плоскостях отсутствовали (рис. 2).

При анализе трехмерной ВКГ показано, что для здоровых характерна плоская пространственная петля QRS, то есть, площадь поверхности трехмерной петли QRS практически полностью совпадает с собственной плоскостью, которая отражает направление фронта возбуждения миокарда. Индекс планарности у этих пациентов близок к 100%.

График скорости формирования (трассировки) пространственной векторной петли у всех здоровых лиц имел один пик L с расщеплением на вершине, который связан с изменением направления трассировки на вершине петли. Пик скорости совпадает с пиком амплитуды максимального пространственного вектора и определяется возбуждением преимущественно левого желудочка сердца (рис 2).

При ПБЛНПГ преобладали пациенты с формированием векторной петли во фронтальной плоскости против часовой стрелки (73,7%), по часовой составили — 1,7%, а перекресты наблюдались в 24,6% случаев.

В горизонтальной плоскости встречались ВКГ как против часовой (26,3%), так и по часовой стрелке (40,1%), перекресты наблюдались более чем у трети больных (31,6%).

В правой сагиттальной плоскости направление векторной петли было по часовой стрелке (87,7%), против не встречалось, в 12,3% случаев наблюдались перекресты. Таким образом, можно полагать, что наиболее информативной плоскостью для диагностики ПБЛНПГ является правая сагиттальная плоскость, для которой характерно направление формирования векторной петли по часовой стрелке, реже перекрест в виде восьмерки. Однако, направление по часовой стрелке характерно и для здоровых пациентов, но при отсутствии перекрестов. Полученные нами данные соответствуют ранее опубликованной работе Perez-Riera et al. (2019) [14].

Анализ трехмерной ВКГ показал, что при ПБЛНПГ у всех пациентов имеется значительное снижение индекса планарности. Это связано с резким отклонением фронта возбуждения от собственной плоскости при ПБЛНПГ, так как в этих случаях возбуждение миокарда ЛЖ происходит помимо проводящей системы сердца. Это приводит к резкой деформации векторной петли — к ее перегибу за счет резкой смены направления фронта возбуждения в средней и конечной ее части. Наличие перегиба ВКГ отражается также во всех ортогональных плоскостях (рис. 3).

Перегиб пространственной векторной петли совпадает по времени с зазубриной на QRS в левых грудных отведе-

Таблица 2
Параметры ЭКГ и трехмерной ВКГ

Показатели	Здоровые (n=80) M±σ	ПБЛНПГ (n=57) M±σ	p
QRS (мс)	93,6±5,2 80–100	148±14,2 130–198	<0,001
ЭОС в градусах	51,3±29,2 от -12 до +91	7,3±25,9 от -28 до +80	<0,001
QRSmax (мкВ)	1728±407 898–2826	2676±821 1329–5753	<0,001
Sc (мВ²)	1,98±0,98 0,67–6,4	2,35±1,4 0,91–7,6	<0,001
Sn (мВ²)	2,09±101 0,71–6,7	7,14±8,0 1,9–58,5	<0,001
PI (%)	95,3±2,5 90–100	43,5±17,2 9–75	<0,001
RI	0,66±0,19 0,32–1,14	0,35±0,12 0,15–0,87	<0,001

Примечание: p — вероятность различия параметров, определенных методом Стьюдента.

Таблица 3
Направление движения векторных петель в ортогональной системе координат

Группы пациентов	FP			HP			RSP		
	по часовой %	против часовой %	перекресты %	по часовой %	против часовой %	перекресты %	по часовой %	против часовой %	перекресты %
Здоровые n=80	72,5	27,5		0	100	0	100	0	0
ПБЛНПГ n=57	1,7	73,7	24,6	26,3	40,1	31,6	87,7	0	12,3

ниях стандартной ЭКГ. Таким образом, можно утверждать, что зазубрина на QRS в левых грудных отведениях является отражением изменения направления фронта деполяризации при ПБЛНПГ.

Наличие деформации трехмерной петли при ПБЛНПГ подтверждается снижением индекса округлости в сравнении с ВКГ здоровых пациентов.

Характерно для ПБЛНПГ увеличение амплитуды максимального вектора в сравнении со здоровыми лицами.

Проведен анализ графика скорости трассировки пространственной векторной петли (таблица 4).

У всех пациентов с ПБЛНПГ наблюдаются характерные изменения — резкое снижение скорости в средней ее части с формированием клешнеобразной кривой с двумя пиками (R и L) и расщеплением между ними, формируя глубокую инцизуру S в средней части кривой (рис. 3). Первый пик (R) отражает скорость возбуждения правого желудочка по неизменной правой ножке п. Гиса, второй пик (L) отражает скорость возбуждения ЛЖ, которое распространяется по миокарду ЛЖ без участия левой ножки п. Гиса. Чаше пик L ниже R, но в некоторых случаях амплитуда L соответствует R, или даже его превышает (отношение R/L составило от 0,78 до 3,05, среднее значение $1,71 \pm 0,47$ ($M \pm \sigma$)). Это говорит о том, что при ПБЛНПГ в конечной части QRS комплекса не всегда наблюдается замедление трассировки векторной петли, как это утверждает Perez-Riera et al. (2019) [14].

Инцизура S возникает за счет снижения скорости возбуждения левого желудочка, по времени совпадает с зазубриной на восходящей части QRS в левых отведениях ЭКГ и переломом векторной пространственной петли.

Необходимо также отметить, что в целом, в сравнении со здоровыми лицами при ПБЛНПГ определяется снижение скорости формирования векторной пространственной петли во всех ее отделах. Так средняя максимальная скорость у здоровых лиц составила $5,4 \pm 1,4$ мВ/с ($M \pm \sigma$), а у пациентов с ПБЛНПГ — $4,16 \pm 1,4$ мВ/с ($M \pm \sigma$), ($p < 0,001$).

Таким образом, по данным трехмерной ВКГ для ПБЛНПГ характерны следующие признаки:

- перелом пространственной векторной петли за счет изменения направления фронта возбуждения в средней ее части;
- снижение индекса планарности менее 80%;

- резкое, в 2 и более раза снижение скорости трассировки пространственной векторной петли в средней ее части с формированием клешнеобразной кривой с двумя пиками R и L.

Для иллюстрации использования трехмерной ВКГ в дифференциальной диагностике «истинной» и «ложной» ПБЛНПГ приводим клинические примеры.

Клинический случай № 1. Пациент Ц., 66 лет, мужчина.

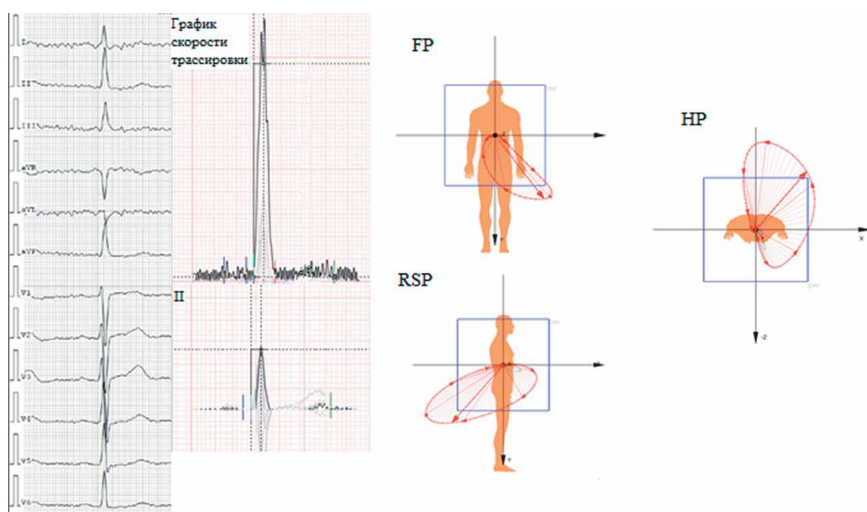
Диагноз: Гипертоническая болезнь II стадии, 2 степень АГ, Гиперлипидемия. Риск ССО 3 (высокий). Стабильная стенокардия напряжения II ФК. Нарушение проводимости: ПБЛНПГ. ХСНнФВ II А ст. II ФК. Ожирение I степени.

На рисунке 3 представлена ЭКГ в стандартных отведениях с признаками ПБЛНПГ по критериям D. G. Strauss et al. (2011) — широкий комплекс QRS (144 мс), наличие зазубрины в средней части QRS в левых отведениях. График скорости трассировки пространственной векторной петли имеет клешнеобразную форму с двумя пиками R и L, где преобладает пик R, так как отражает скорость возбуждения по неизменной правой ножке пучка Гиса. В средней части кривой скорости определяется резкое ее снижение (инцизура S), по времени совпадающий с зазубриной на QRS в I, V5, V6 отведениях и с переломом векторной петли, который выделен зеленой линией в трех ортогональных отведениях. Значительно снижен индекс планарности до 44%.

Клинический случай № 2. Пациент Н., 57 г., мужчина.

Диагноз: ДКМП. Гипертоническая болезнь II стадии, 2 степень АГ. Нарушение проводимости: БПВЛНПГ, умеренная легочная гипертензия, ХСН ПА, ФК II.

Рисунок 2. ЭКГ и ВКГ здоровой пациентки Г., 32 г. QRS=84 мс, $QRS_{max}=1980$ мкВ, $Sc=3,1$ мВ², $Ri=0,78$, $Pl=98\%$.



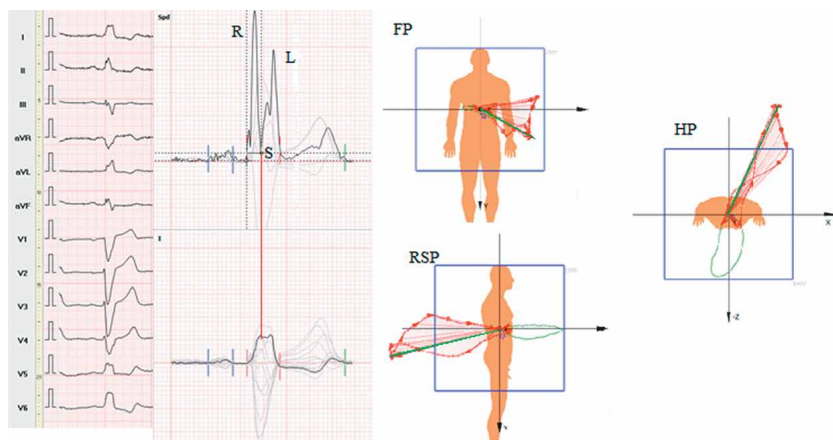


Рисунок 3. ЭКГ и ВКГ пациента с ПБЛНПП. QRS=144 мс, $QRS_{max}=1889$ мкВ, $Sc=1,6$ мВ², R/L=1,36, R/S=32,7, RI=0,44, PI=44%, R>L

На рисунке 4 показаны данные ЭКГ и ВКГ пациента с ГЛЖ и БПВЛНПП.

Основные параметры ЭКГ: QRS=132 мс, ЭОС= -47°, корнельский индекс 2,9 мВ, корнельское произведение 382,8 мВхмс.

Трехмерная ВКГ: $QRS_{max}=2481$ мкВ, $Sc=3,5$ мВ², RI=0,57, PI=97%.

Пациенту проведена эхокардиоскопия: конечный диастолический размер ЛЖ (КДР) — 8,2 см; конечный систолический размер ЛЖ (КСР) — 6,8 см; толщина задней стенки ЛЖ (ТЗСЛЖ) — 0,9 см; толщина межжелудочковой перегородки (ТМЖП) — 1,0 см; индекс массы миокарда ЛЖ (ИММЛЖ) 233 г/кв.м; фракция изгнания (ФИ) — 33%.

На основании общепринятых критериев ПБЛНПП (широкий комплекс QRS=132 мс, пик R=63 мс в V5/V6, смещение переходной зоны влево, отсутствие зубцов q в левых отведениях) можно предполагать наличие ПБЛНПП. В тоже время, по данным трехмерной ВКГ имеются признаки ГЛЖ ($QRS_{max}=2481$ мкВ, $Sc=3,5$ мВ²), которые подтверждаются данными ЭХОКС (ИММЛЖ=233 г/кв.м). Установлена БПВЛНПП в соответствии с критериями трехмерной ВКГ, опубликованными нами ранее наличие двух экстремумов векторной петли во фронтальной плоскости (показаны зелеными стрелками), второй направлен вверх, вправо и назад, нормальное значение индекса планарности (97%), замедление формирования пространственной векторной петли в конечной ее части [18]. За счет блокирования проведения по передневерхней ветви левой ножки п. Гиса имеется запаздывание возбуждения выходного отдела левого желудочка.

В связи с этим, патогномичным признаком БПВЛНПП является появление второго экстремума векторной петли во фронтальной плоскости, который формируется в конце комплекса QRS и направлен вверх, вправо и назад. Также, при БПВЛНПП скорость распространения возбуждения миокарда выходного отдела ЛЖ снижена, что отражается в значительном снижении (в 2–3 раза) скорости формирования пространственной петли QRS в конечной ее части. Таким образом, можно полагать, что в данном случае мы имеем «ложную» ПБЛНПП, при которой изменения на ЭКГ связаны сочетанием ГЛЖ и БПВЛНПП.

Представленный нами клинический пример демонстрирует сложность диагностики ПБЛНПП при наличии выраженной гипертрофии ЛЖ или его дилатации, так как расширение QRS может быть связано с ГЛЖ, а левограмма и смещение переходной зоны влево связаны с передневерхним полублоком, как и показано на данном примере. Трехмерная ВКГ убедительно показала различие ПБЛНПП и сочетания ГЛЖ с БПВЛНПП, так как при ПБЛНПП наблюдается перелом фронта возбуждения, что снижает индекс планарности и формирует зазубрину на восходящей части QRS в левых грудных отведениях стандартной ЭКГ. Скорость распространения пространственной петли демонстрирует характерную клешнеобразную форму кривой с инцизурой, совпадающей с зазубриной на QRS, т.е. в средней ее части. При ГЛЖ с БПВЛНПП перелома фронта возбуждения не происходит, соответственно, индекс планарности не снижается (более 90%), скорость трассировки пространственной петли снижается только в конечной ее части, без формирования клешнеобразной кривой.

Выводы

Трехмерная ВКГ позволяет достоверно определить «истинную» ПБЛНПП на основании «перелома» пространственной векторной петли со снижением PI менее 80% и значительным снижением скорости трассировки векторной петли в средней ее части с формированием «клешнеобразной» кривой и провести дифференциальную диагностику с «ложной» ПБЛНПП, при которой изменения на ЭКГ определяются сочетанием гипертрофии левого

Таблица 4
Скорость формирования пространственной векторной петли

Группы пациентов	Кол-во пиков	Пик R M±σ		Инцизура S M±σ		Пик L M±σ		R/L M±σ	R/S M±σ
		Максимальная скорость, мВ/с	Время от начала QRS, мс	Максимальная скорость, мВ/с	Время от начала QRS, мс	Максимальная скорость, мВ/с	Время от начала QRS, мс		
Здоровые n=80	1					5,4±1,4	31,1±5,4		
ПБЛНПП n=57	2	4,16±1,4	38,1±8,3	0,57±0,4	66,6±11,1	2,48±0,7	103,2±18,8	1,71±0,47 0,78–3,05	10,6±8,9 2,8–53,4

желудочка и передневерхнего полу- блока, когда отсутствует «перелом» петли и снижение PI, а скорость трас- сировки снижается в конечной части петли без формирования «клешне- образной» кривой.

Список литературы / References:

1. Кузнецов В.А. Сердечная ресинхронизирующая терапия: избранные вопросы. Москва 2007; 128 С.
2. Vardas P., Auricchio A., Blanc J., Daubert J. et al. Guidelines for cardiac pacing and cardiac resynchronization therapy. The Task Force for Cardiac Pacing and Cardiac Resynchronization Therapy of the European Society of Cardiology. Developed in Collaboration with the European Heart Rhythm Association // Eur Heart J. 2007. Sep;28(18):2256–95. doi: 10.1093/eurheartj/ehm305.
3. Francia P., Balla C., Paneni F., Volpe M. Left Bundle-Branch Block — Pathophysiology, Prognosis, and Clinical. Clin. Cardiol. 2007 Mar;30(3):110–5. doi: 10.1002/cic.20034.
4. Zannad F., Huvelle E., Dickstein K., van Veldhuisen D. J., Stellbrink C., Køber L., Cazeau S., Ritter P., Maggioni A. P., Ferrari R., Lechat P. Left bundle branch block as a risk factor for progression to heart failure. Eur J Heart Fail. 2007 Jan;9(1):7–14. doi: 10.1016/j.ejheart.2006.04.011.
5. Imanishi R., Seto S., Ichimaru S., Nakashima E., Yano K., Akahoshi M. Prognostic significance of incident complete left bundle branch block observed over a 40-year period. Am J Cardiol. 2006 Sep 1;98(5):644–8. doi: 10.1016/j.amjcard.2006.03.044.
6. Schneider J., Thomas J., Kreger B. et al. Newly acquired left bundle branch block: the Framingham study. Ann Intern Med 1979; 90:303–10.
7. Khan K., Good K., Cleland J. et al. Prevalence of ECG abnormalities in an international survey of patients with suspected or confirmed heart failure at death or discharge // Eur J Heart Failure 2007; Vol. 9:491–501.
8. Strauss D. G., Selvester R. H., Wagner G. S. Defining left bundle branch block in the era of cardiac resynchronization therapy. Am J Cardiol 2011; 107:927–934.
9. Breithardt G., Breithardt O. A. Left bundle branch block, an old-new entity. J Cardiovasc Transl Res. 2012; 5(2):107–116.
10. Strauss D. G. Differentiation between left bundle branch block and left ventricular hypertrophy: Implications for cardiac resynchronization therapy. Journal of Electrocardiology. 2012 Nov-Dec;45(6):635–9. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2012.09.001.
11. Strauss D. G., Selvester R. H. The QRS complex—a biomarker that “images” the heart: QRS scores to quantify myocardial scar in the presence of normal and abnormal ventricular conduction. Journal of Electrocardiology. 2009 Jan-Feb;42(1):85–96. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2008.07.011.

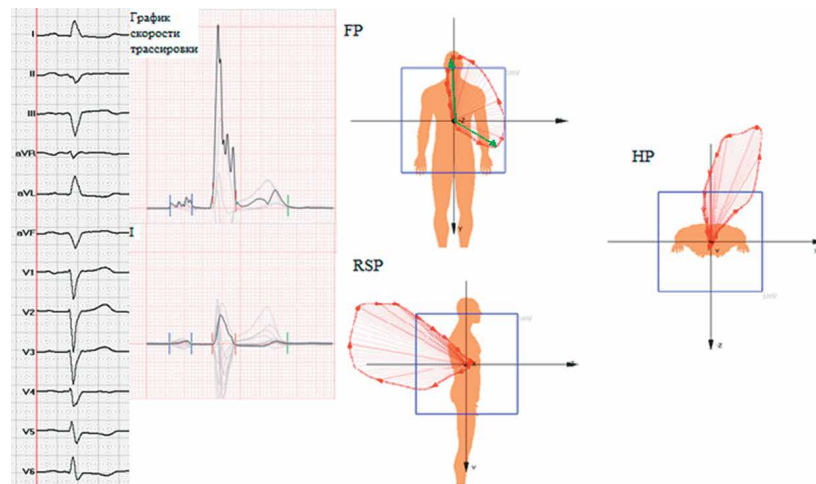


Рисунок 4.ЭКГ и ВКГ пациента с ГЛЖ и БПВАНПГ

12. Jastrzębski M., Kukla P., Kisiel R., Fijorek K., Moskal P. and Czarnecka D. Comparison of four LBBB definitions for predicting mortality in patients receiving cardiac resynchronization therapy. Ann Noninvasive Electrocardiol. 2018 Sep;23(5):e12563. doi: 10.1111/anec.12563.
13. Galeotti L., van Dam P. M., Loring Z., Chan D., & Strauss D. G. (2013). Evaluating strict and conventional left bundle branch block criteria using electrocardiographic simulations. Europace, 2013 Dec;15(12):1816–21. doi: 10.1093/europace/eut132.
14. Pérez-Riera A. R., Barbosa-Barros R., de Rezende Barbosa M. P. C., Daminiello-Raimundo R., de Abreu L. C., Nikus K. Left bundle branch block: Epidemiology, etiology, anatomic features, electrovectorcardiography, and classification proposal Ann Noninvasive Electrocardiol. 2019 Mar;24(2):e12572. doi: 10.1111/anec.12572.
15. Pastore C. A., Samesima N., Pereira Filho H. G., Tobias N. M. M. O., Madaloso B. A., Facin M. E. Applicability of the Electro-Vectorcardiogram in Current Clinical Practice. Arq Bras Cardiol. 2019 Jun 27;113(1):87–99. doi: 10.5935/abc.20190095.
16. Титомир Л. И., Руткай-Недешкий И. Анализ ортогональной электрокардиограммы. М.: Наука, 1990. 198 с.
17. Sedaghat G., Ghafoori E., Waks J. W., Kabir M. M., Shvilkin A., Josephson M. E., Tereshchenko L. G. Quantitative Assessment of Vectorcardiographic Loop Morphology. J Electrocardiol. 2016 Mar-Apr;49(2):154–63. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2015.12.014.
18. Терегулов Ю. Э., Ацель Е. А., Ганиева С. Ф., Терегулова Е. Т., Максимова М. С., Терегулов А. Ю., Камалетдинова З. А. Трёхмерный векторный анализ ЭКГ в диагностике блокады передневерхней ветви левой ножки пучка Гиса. Медицинский алфавит. Современная функциональная диагностика. 2023; (15): 28–34. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-15-28-34>

Сведения об авторах

Терегулов Юрий Эмилевич, д.м.н., доцент, заведующий кафедрой функциональной диагностики^{1,2,4}
Максимова Мария Сергеевна, к.м.н., доцент кафедры функциональной диагностики¹
Терегулова Елена Теодоровна, к.м.н., доцент кафедры функциональной диагностики^{1,4}
Чувашева Фарида Рамзиевна, ассистент кафедры функциональной диагностики^{1,4}
Терегулов Андрей Юрьевич, к.м.н., доцент кафедры хирургических болезней постдипломного образования института фундаментальной медицины и биологии КФУ³
Милиутина Ольга Игоревна, врач-рентгенолог⁵
Милиутина Ирина Игоревна, лаборант кафедры функциональной диагностики^{1,4}

¹ Казанская государственная медицинская академия — филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, г. Казань

² ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Казань

³ ФГАОУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Россия, РТ, г. Казань

⁴ Государственное автономное учреждение здравоохранения «Республиканская клиническая больница» Министерства здравоохранения Республики Татарстан, г. Казань

⁵ Государственной бюджетное учреждение здравоохранения «Детская городская клиническая больница №13 им. Н.Ф. Филатова» Департамента здравоохранения г. Москвы, г. Москва

Автор для переписки:

Терегулов Юрий Эмилевич, e-mail: tereg2@mail.ru

About authors

Teregulov Yu. E., Head of the Department of Functional Diagnostics, Assistant Professor of the Department of hospital therapy, MD^{1,2,4}

Maksimova M. S., Assistant Professor of the Department of Functional Diagnostics, PhD¹

Teregulova E. T., Assistant Professor of the Department of Functional Diagnostics, PhD¹

Chuvashayeva F. R., Assistant Lecturer of the Department of Functional Diagnostics^{1,4}

Teregulov A. Yu., Assistant Professor, Department of Surgical Diseases of Postgraduate Education^{3,4}

Milyutina O. I., radiologist⁵

Milyutina I. I., laboratory assistant Department of Functional Diagnostics¹

¹ KSMA-Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE MOH Russia, Kazan, Russian Federation

² FSBEI HE Kazan SMU MOH Russia, Kazan, Russian Federation

³ Kazan Federal University, Kazan, Russian Federation

⁴ Republican Clinical Hospital Ministry of Health Republic of Tatarstan, Kazan, Russian Federation

⁵ State budgetary health care institution “Children’s City Clinical Hospital No. 13 named after N. F. Filatov” of the Department of Health of Moscow, Moscow

Corresponding author:

Teregulov Yu. E., E-mail: tereg2@mail.ru

Статья поступила / Received 23.10.2023
 Получена после рецензирования / Revised 28.10.2023
 Принята в печать / Accepted 20.11.2023

Для цитирования: Терегулов Ю. Э., Максимова М. С., Терегулова Е. Т., Чувашева Ф. Р., Терегулов А. Ю., Милиутина О. И., Милиутина И. И. Трёхмерная векторкардиография в диагностике полной блокады левой ножки пучка Гиса. Медицинский алфавит. 2023; (32):27–34. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-27-34>

For citation: Teregulov Yu. E., Maksimova M. S., Teregulova E. T., Chuvashayeva F. R., Teregulov A. Yu., Milyutina O. I., Milyutina I. I. Three-dimensional vector ECG analysis in the diagnosis of the left bundle branch block. Medical alphabet. 2023; (32):27–34. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-27-34>



Стандартизация методик ультразвуковой эластометрии печени и трансторакальной эхокардиографии при синхронном применении у пациентов с хронической сердечной недостаточностью

А. И. Скутарь, А. В. Борсуков

ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Смоленск

РЕЗЮМЕ

Цель. Разработать стандартизированный подход к диагностике субклинического течения хронической сердечной недостаточности с использованием комбинации трансторакальной эхокардиографии, эластометрии печени и нагрузочной пробы у кардиологических пациентов.

Материалы и методы: Все пациенты ($n=97$) обследованы по единому диагностическому алгоритму: физикального обследования, трансторакальной эхокардиографии и ультразвуковой эластометрии печени. Помимо основных исследований для пациентов группы № 2 с сомнительными (пограничными) результатами по данным инструментальных исследований был дополнительно проведен нагрузочный тест для определения латентного течения сердечной недостаточности. Все 3 группы пациентов были также динамически обследованы через 3 и 6 месяцев.

Результаты: У пациентов 1 и 3 групп результаты и инструментальных исследований динамически не различались в 3 исследуемых точках: 0 мес. — 3 мес. — 6 мес.: у пациентов с ХСН 1 ст. по данным эластографии показатели находились в пределах F0-F1, что соответствовало отсутствию клинически значимого фиброза, для пациентов 3 группы показатель оставался в пределах F3-F4, что свидетельствовало о длительном течении заболевания, а также о венозном застое и/или истинном кардиальном фиброзе с последующим переходом в цирроз. В группе № 2 (ХСН 2А-Б, II-IIIФК), где был проведен тест с нагрузочной пробой, результаты в динамике статистически значимо различались в зависимости от разницы показателей эластометрии до и после физической нагрузки: у пациентов с разницей менее 15% через полгода результат оставался в пределах прежних значений, у когорты пациентов с разницей 15–25% в динамике отмечалось увеличение результатов эластометрии печени, в группе с разницей >25% наблюдалось выраженное увеличение показателей эластометрии печени и снижение фракции выброса левого желудочка по данным эхокардиографии; кроме того, из них 45% перешли в стадию декомпенсации.

Заключение. Для динамического контроля функционального состояния печени, а также выявления субклинических форм течения ХСН у кардиологических пациентов использование комбинированного метода ТТЭ+2D-SWE+тест с нагрузочной пробой является информативным и обеспечит дифференциальный подход к диагностике течения ХСН у пациентов на разных стадиях заболевания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сердечная недостаточность, печень, ультразвуковая эластометрия, трансторакальная эхокардиография, нагрузочный тест.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Standardization of liver ultrasound elastometry and transthoracic echocardiography techniques for simultaneous use in patients with chronic heart failure

A. I. Skutar', A. V. Borsukov

Smolensk State Medical University, Smolensk, Russia

SUMMARY

Objective. To develop a standardized approach to the diagnosis of the subclinical course of chronic heart failure using a combination of transthoracic echocardiography, liver elastometry and stress test in cardiac patients.

Materials and methods: All patients ($n=97$) were examined according to a single diagnostic algorithm: physical examination, transthoracic echocardiography and ultrasound elastometry of the liver. In addition to the main studies for patients of group No. 2 with questionable (borderline) results, according to instrumental studies, a stress test was additionally conducted to determine the latent course of heart failure. All 3 groups of patients were also dynamically examined after 3 and 6 months.

Results: In patients of groups 1 and 3, the results of instrumental studies did not differ dynamically at 3 study points: 0 months — 3 months — 6 months: in patients with CHF 1 according to elastography, the indicators were within F0-F1, which corresponded to the absence of clinically significant fibrosis, for patients of group 3, the indicator It remained within F3-F4, which indicated a prolonged course of the disease, as well as venous stagnation and/or true fibrosis with subsequent transition to cirrhosis. In group No. 2 (CHF 2A-B, II-IIIФК), where a stress test was performed, the results in dynamics differed statistically significantly depending on the difference in elastometry indicators before and after physical activity: in patients with a difference of less than 15% after six months, the result remained within the same values, in a cohort of patients with a difference of 15–25% in dynamics, there was an increase in the results of liver elastometry, in the group with a difference of >25%, there was a marked increase in liver elastometry and a decrease in the left ventricular ejection fraction according to echocardiography; in addition, 45% of them have passed into the decompensation stage.

Conclusion. For dynamic control of the functional state of the liver, as well as the detection of subclinical forms of CHF in cardiac patients, the use of the combined TTE+2D-SWE+test with a load test is an interesting and promising alternative to invasive manipulations, which will provide a differential approach to the diagnosis of CHF in patients at different stages of the disease.

KEYWORDS: heart failure, liver, cardio-hepatic syndrome, ultrasound elastometry, transthoracic echocardiography, stress test.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare that there is no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

Хроническая сердечная недостаточность (ХСН) — клинический мультифакторный синдром, представляющий собой серьёзную актуальную проблему, приводящую к повторным госпитализациям, ухудшению качества жизни трудоспособного населения. По данным ВОЗ, на 2020 год 5,3% пациентов имели верифицированный диагноз ХСН, по данным российского попу-

ляционного исследования ЭПОХА-ХСН — до 8,2% [1,2].

ХСН — многоуровневый процесс, поражающий различные органы и системы, среди которых печень является наиболее уязвимым органом виду особенностей ее метаболической активности и гемодинамики [2–4]. Сердечно-печеночное взаимодействие привело к появлению в клинической практике термина сердечно-печеночный синдром (СПС) [5].

СПС — совокупность клинических, лабораторных и инструментальных параметров, свидетельствующих о кардиогенном поражении паренхимы печени [6–8]. По данным различных научно-исследовательских групп, к повреждению печени приводит комбинация факторов: гипоперфузия ткани, повышенное кровенаполнения печеночных долек за счёт застоя по большому кругу кровообращения и ишемия гепатоцитов вследствие снижения сердечного выброса [9–11]. Все эти факторы в совокупности приводят к гепатоцеллюлярному некрозу, который на более поздних стадиях сменяется образованием коллагена и фиброзированием (так называемый «кардиальный цирроз») [12, 13].

Очевидно, что закономерный переход из венозного полнокровия печени в фиброзирование паренхимы, а также темп его развития — важные предикторы кардиогенного поражения печени и перехода ХСН на более тяжёлую стадию, независимо от ее этиологии [14, 15]. Поэтому изучение скорости прогрессирования изменения паренхимы печени при ХСН — актуальная медицинская, социальная, экономическая проблема, а диагностика его на ранних стадиях играет прогностически значимую роль в оценке течения ХСН, своевременном корректировании лечения и улучшении качества жизни пациента [1, 2, 5].

К основным рутинным инструментальным методам диагностики застоя венозной крови в печени относятся ультразвуковое исследование (УЗИ) печени и ультразвуковая эластография [15–18]. При помощи УЗИ можно оценить размеры печени, края и контуры органа, диаметр, коллабирование и кровоток в нижней полой вене (НПВ) и печеночных венах. Однако наиболее достоверным методом в вопросе жёсткости паренхимы является эластография печени [19, 20, 22, 23].

Эластография — метод оценки упруго-эластических свойств ткани по сдвиговым характеристикам. По мнению ряда авторов, на сегодняшний день эластография сдвиговых волн является одним из наиболее точных неинвазивных методов верификации патологии печени, в некоторых случаях — методом, заменяющим «золотой стандарт» — биопсию печени [19–24]. При этом стоит иметь в виду, что у пациентов с ХСН достаточно часто наблюдается недостаточность правых отделов сердца, что закономерно приводит к венозному полнокровию печени, которое может имитировать повышенную жесткость ткани [5–8]. При ХСН возможности применения биопсии ограничены по нескольким причинам: нарушение гемодинамики, венозный застой в печени, повышенный риск кровотечения.

При трансторакальной эхокардиографии (ТТЭ) такое нарушение работы сердца выражается в дилатации правых камер, недостаточности трикуспидального клапана, регургитации на

нем, а также расширении НПВ. При такой эхокардиографической картине с большой вероятностью можно говорить о ложноположительном результате эластографии [19, 21, 22, 24].

Однако существует когорта пациентов со скрытым течением заболевания, когда данные ТТЕ сомнительны, фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) в диапазоне нормы (>50%) или промежуточных границах (40–49%) [25, 26], а показатели эластометрии печени пограничны при исключении внекардиальной патологии печени (F2-F3 по шкале METAVIR). Для таких пациентов был разработан специальный тест с нагрузочной пробой, демонстрирующий дифференциальный подход к диагностике заболевания.

Цель работы

Разработать стандартизированный подход к диагностике субклинического течения хронической сердечной недостаточности с использованием комбинации трансторакальной эхокардиографии, эластографии печени и нагрузочной пробы у кардиологических пациентов.

Материалы и методы

На клинической базе Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии» ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России в период с января 2023 по июль 2023 гг. проведено исследование с участием 97 пациентов кардиологического отделения, из них 56 женщин (57,7%) и 41 мужчин (41,8%), средний возраст 64 ($\pm 2,76$).

Критерии включения, невключения в исследование, а также критерии исключения из исследования пациентов представлены в таблице 1.

Все пациенты, принимавшие участие в исследовании, прошли 3 этапа диагностического алгоритма:

1 этап: сбор анамнеза, физикальный осмотр с определением тяжести общего состояния, наличия набухания яремных вен, периферических отеков нижних конечностей по критериям стандартов обследования кардиологических больных [2].

2 этап: трансторакальная эхокардиография с определением объемов камер сердца, сократимости миокарда, ФВ ЛЖ по Симпсону (%), гемодинамических внутрисердечных нарушений, систолического давления в легочной артерии (мм рт.ст.) по методике Сандрикова В. М. и соавт. [27].

3 этап: ультразвуковая двумерная эластография печени (2D-SWE) на аппаратах Canon Aplio i800 (Canon, Япония) и Ангиомед (Bioss, Россия) конвексным датчиком 3,5–5 МГц (рис. 1) с количественным определением жесткости ткани в ки-

Таблица 1
Критерии включения, невключения, исключения пациентов основной исследуемой группы

Критерии включения	Критерии невключения	Критерии исключения
— возраст старше 18 лет; — информированное согласие на участие в исследовании; — наличие установленного диагноза ХСН по данным клинико-лабораторно-инструментальным методам обследования; (физикальный метод исследования, биохимический анализ крови, оценка результатов УЗИ, ТТЭ и др.); — согласие на проведение ультразвуковой эластографии печени с количественным определением жесткости ткани	— неспособность пациента находиться в положении лежа на спине на протяжении 5 минут; — неспособность пациента пройти адекватную подготовку к ультразвуковому исследованию (голод на протяжении 4 ч); — установленный диагноз гепатита любой этиологии, цирроза печени; — установленное диффузное заболевание печени другой этиологии; — беременность	— отказ от участия в исследовании после подписания информированного согласия; — нарушение со стороны опорно-двигательной системы, затрудняющее проведение исследования в положении пациента лежа на спине (перелом, вывих, резкий болевой синдром, др.); — собственное желание пациента быть исключенным из исследования



Рисунок 1. Методика проведения ультразвуковой двумерной эластометрии печени (2D-SWE). А — схематичное изображение расположения датчика по отношению к исследуемым сегментам печени; Б — УЗ-скан

лопаскалях (кПа) с последующим определением степени фиброза по шкале METAVIR (F0 — отсутствие портального фиброза, F1 — незначительный портальный фиброз, F2 — умеренный портальный фиброз (одиночные нарушения цитоархитектоники печеночных долек), F3 — значительный портальный фиброз (много септ, но без признаков цирроза), F4 — цирроз) [16].

По результатам инструментального исследования все пациенты были разделены на следующие группы:

1 группа: (n=35, 36%) — пациенты с хронической сердечной недостаточностью I стадии (ФК I);

2 группа (n=44, 45%) — пациенты с хронической сердечной недостаточностью II А-Б стадии (ФК II–III);

3 группа (n=18, 19) — пациенты с хронической сердечной недостаточностью III стадии (ФК IV).

Общая характеристика пациентов, принимавших участие в исследовании, представлена в таблице 1.

Классическими проявлениями ХСН по данным ТТЭ [28] (Сандриков В. А., Кулагина Т. Ю., 2022) являются: расширение НПВ (>20 мм, для астеников — 25 мм), печеночных вен (>10 мм) и ретроградный кровоток в них, увеличение объема камер сердца, преимущественно правых отделов (правое предсердие: S до 18 мм², правый желудочек до 42 мм), регургитация на трикуспидальном и митральном клапанах. (рис. 2).

В группе № 2 у большинства пациентов (38 чел. — 86%) были выявлены умеренные изменения по данным ТТЭ (митральная и/или трикуспидальная недостаточность I–II степени, умеренное увеличение полостей сердца, сохраненная (>50%) или промежуточная (40–49%) ФВ ЛЖ). При ультразвуковой эластометрии печени диапазон значений у данной группы был в пределах F2–F3, что могло свидетельствовать как об истинном фиброзе, так и о ложноположительном результате эластометрии как признаке венозного застоя в печени.

Ввиду неярко выраженной картины субклинического течения сердечной недостаточности для возможности оценки рисков прогрессирования заболевания и определения предикторов ухудшения качества жизни пациентам был предложен персонализированный комбинированный тест с нагрузочной пробой: после стандартного проведения ТТЭ и эластометрии 2D-SWE исследуемым пациентам была проведена электрокардиография с оценкой нарушения проводимости и ритма, было измерено артериальное давление (мм рт. ст.), пульс (уд./мин) и насыщение крови кислородом (%). Затем была предложена

физическая нагрузка, которая заключалась в прохождении по коридору 200 метров в приемлемом для больного темпе с пульсоксиметром, фиксировавшим сатурацию и частоту сердечных сокращений на протяжении всего исследования. Нагрузку прерывали досрочно при повышении пульса более 100 уд./мин., а также при появлении следующих жалоб: боль в груди, головокружение, выраженная одышка, нарушения со стороны опорно-двигательного аппарата (боль в спине, нижних конечностях). Методика стандартизирована на основе общепринятых Клинических Рекомендаций по диагностике и лечению хронической сердечной недостаточности [2].

Распределение пациентов (n=9), досрочно прервавших тест с нагрузочной пробой в зависимости от вышеперечисленных причин, представлено на рисунке 3.

После физической нагрузки пациентам была повторно проведена ТТЭ и эластометрия печени 2D-SWE и зафиксированы изменения интересующих показателей.

Известно, что физическая нагрузка способна завышать показатели жесткости печени в норме у здоровых людей, поэтому при подготовке к исследованию пункт «отсутствие физической нагрузки за последний час» является важным критерием достоверности результата эластографии [17, 18, 19, 20]. Однако в доступной для анализа литературе нет четкой градации, в которой было бы отражено повышение показателей эластографии, характерное для нормы, и повышение показателей, свидетельствующее о скрытом субклиническом течении и являющееся предиктором ухудшения состояния по ХСН в ближайшие 6 месяцев [17, 18, 21, 22, 23, 24]. Таким образом, нет четких границ, в пределах которых показатель эластографии мог бы стать предиктором в прогрессировании сердечной недостаточности и переходе заболевания на следующую стадию.

Повторное динамическое инструментальное исследование (ТТЭ+2D-SWE) в 3 исследуемых группах были проведены через 3 и 6 месяцев.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе проведенного исследования были обследованы пациенты (n=97) с клиническим диагнозом «Хроническая сердечная недостаточность» на различных стадиях. Все пациенты были разделены на 3 группы в зависимости от стадии ХСН по результатам лабораторно-инструментальной диагностики.

В каждой группе дополнительно была проведена эластография печени, результаты исследования представлены на рисунке 4.

Во 2 группе дополнительно был проведен тест с нагрузочной пробой, по результатам которого были выделены 3 подгруппы

Таблица 2
Общая характеристика пациентов с ХСН, принимавших участие в исследовании (n=97)

Группы	Всего		Мужчины		Женщины		Средний возраст, года
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	
1-я (пациенты с СН I стадии, ФК I)	35	36,0	15	15,2	20	20,4	57±1,09
2-я (пациенты с СН II А-Б стадии, ФК II–III)	44	45,3	17	17,2	27	29,6	65±2,03
3-я (пациенты с СН III стадии, ФК III–IV)	18	18,7	11	11,3	7	7,2	68±2,54
Всего	97	100	43	43,7	54	57,2	66±2,43

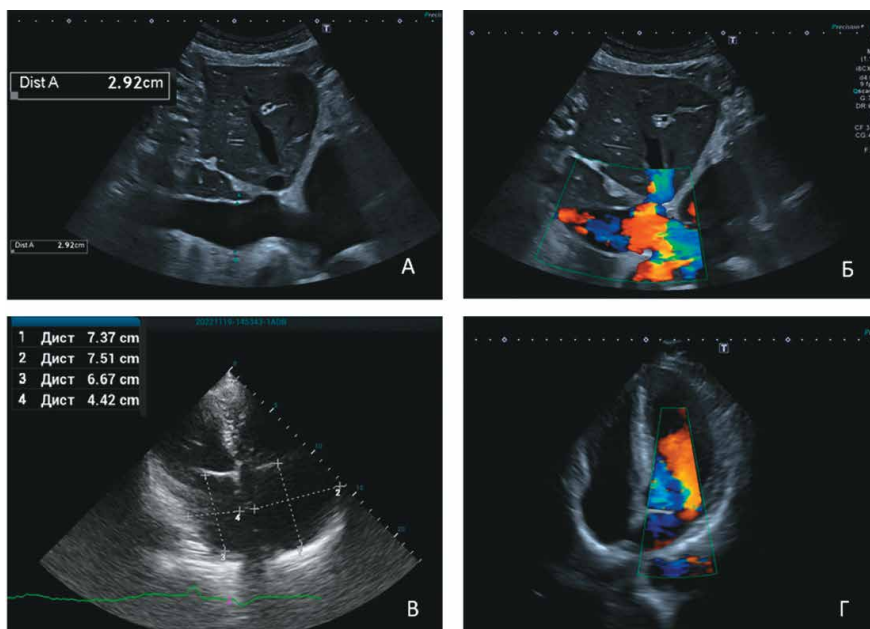


Рисунок 2. А — расширенная нижняя полая вена; Б — ретроградный кровоток в нижней полой и печеночных венах; В — увеличение левого и правого предсердий; Г — регургитация на митральном клапане

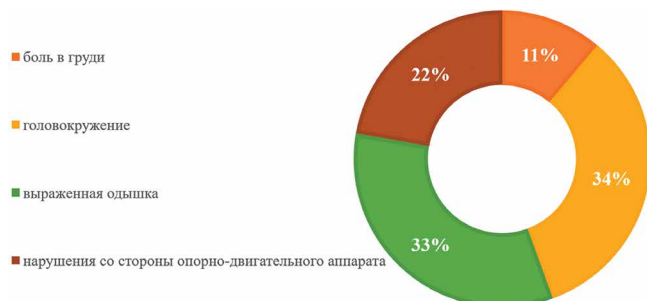
в зависимости от величины изменения показателей эластографии до и после физической нагрузки (рис. 5).

Несмотря на то что данная когорта пациентов относилась к одной группе (ХСН 2А-Б, ФК II–III), результаты 2D-SWE до и после физической нагрузки у пациентов существенно различались, что косвенно могло свидетельствовать о субклинических различиях в течении основного заболевания и скорости его прогрессирования при последующем динамическом наблюдении.

Повторное исследование ТТЭ+2D-SWE было проведено через 3 и 6 месяцев в исследуемых группах. В 1 и 3 группах существенной динамики не наблюдалось: результат эластографии пациентов 1 группы (ХСН I ст.) находился в диапазоне F0-F1 во всех точках исследования (0 мес. — 3 мес. — 6 мес.), что соответствовало отсутствию признаков фиброза. В 3 группе по результатам эластографии диапазон значений оставался в пределах F3-F4, что подтверждало длительное течение заболевания и свидетельствовало о венозном застое и/или истинном фиброзе (рис. 6). 4 пациента из группы № 3 не дожили до окончания исследования с связи с прогрессированием декомпенсации ХСН.

Наибольший интерес представляла группа № 2, в которой отмечались значимые изменения результатов эластографии при динамическом наблюдении.

Рисунок 3. Распределение пациентов (n=9), досрочно прервавших тест с нагрузочной пробой с зависимости от вышеперечисленных причин



Обнаружено, что в I подгруппе пациентов, где результаты после физической нагрузки изменились незначительно (до 15%), результат 2D-SWE и ФВ ЛЖ оставались в диапазоне прежних значений в последующих точках (0 мес. — 3 мес. — 6 мес.).

Во II подгруппе с разницей 15–25% при повторном исследовании через 3 и 6 месяцев соответственно наблюдалось умеренное повышение результатов эластографии по сравнению с первым измерением в покое. По результатам ТТЭ через 3 и 6 месяцев отмечалось незначительное снижение ФВ ЛЖ.

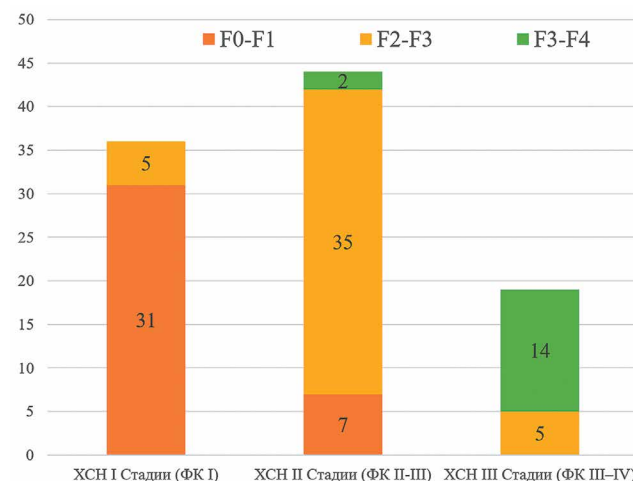
В III подгруппе (>25%) через 3 месяца у пациентов отмечалось выраженное повышение жесткости печени по сравнению с первым измерением, через 6 месяцев — последующее прогрессирование по результатам 2D-SWE. Кроме того, 45% пациентов III подгруппы перешли в стадию декомпенсации ХСН по данным физикального обследования и лабораторно-инструментальных исследований.

Результаты динамического исследования представлены в таблице 3.

При интерпретации количественных результатов 2D-SWE в подгруппах I, II и III прослеживается следующая тенденция: чем больше разница показателей эластографии до и после физической нагрузки, тем вероятнее прогрессирование ХСН в ближайшие 6 месяцев с последующим переходом в более тяжелую стадию заболевания. В таком случае для пациентов III подгруппы на начальном этапе обследования предпочтительно проведение Speckle Tracking эхокардиографии — инновационного чувствительного информативного метода отслеживания частиц по двумерным сонограммам, позволяющий обнаружить ранние нарушения деформации миокарда, спрогнозировать вероятное ухудшение течения заболевания в ближайшие 6 месяцев и скорректировать медикаментозную терапию [27, 28, 29].

По мнению экспертов (“How to perform shear wave elastography”, 2022), методика эластографии лучше всего подходит для исключе-

Рисунок 4. Распределение 3 исследуемых групп (n=97) в зависимости от стадии ХСН и результатов эластографии печени по шкале METAVIR



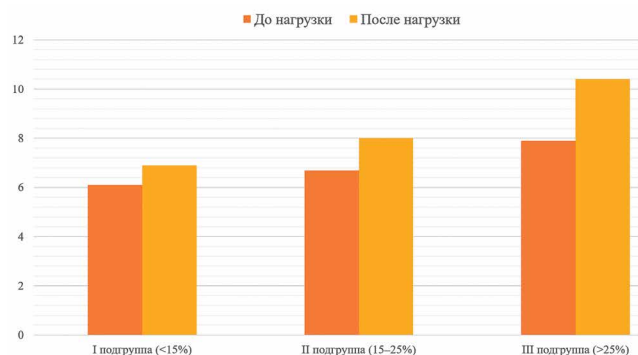


Рисунок 5. Распределение пациентов 2 исследуемой группы на подгруппы в зависимости от изменения показателей эластографии до и после физической нагрузки

ния цирроза печени; эластография эффективна в качестве первой линии оценки тяжести фиброза, но менее надежна в оценке промежуточных стадий фиброза [19]. В научных работах Т. Taniguchi et al. (2014) [30] отмечено, что повышение жесткости печени по данным ультразвуковой эластографии является предиктором неблагоприятного прогноза вне зависимости от степени повышения лабораторных маркеров печени и признаков декомпенсации ХСН. Кроме того, показатели жесткости печени более 6,9 кПа имеют прямую корреляцию с ростом ФК ХСН. По мнению отечественных авторов Соловьевой А. Е. с соавт. (2018) [9], эластография печени при ХСН является достаточно информативным методом и играет важную роль в оценке кардиального поражения печени на различных стадиях заболевания.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, тест с нагрузочной пробой у пациентов с латентным течением хронической сердечной недостаточности позволяет своевременно спрогнозировать возможность и скорость прогрессирования основного заболевания. Поскольку на сегодняшний день прослеживается тенденция к низкой комплаентности пациента на проведение инвазивных вмешательств, зачастую биопсию печени провести невозможно, а в случае кардиологической этиологии заболевания печени — не всегда целесообразно. Для динамического контроля функционального состояния печени, а также выявления субклинических форм течения ХСН у кардиологических пациентов использование комбинированного метода ТТЭ + 2D-SWE + тест с нагрузочной пробой представляется интересной и перспективной альтернативой инвазивным манипуляциям, что обеспечит дифференциальный подход к диагностике течения ХСН у пациентов на разных стадиях заболевания.

Список литературы / References:

- Поляков Д. С., Фомин И. В., Беленков Ю. Н. и др. Хроническая сердечная недостаточность в Российской Федерации: что изменилось за 20 лет наблюдения? Результаты исследования ЭПОХА-ХСН. Кардиология. 2021; Т. 61, (4): 4–14. Polyakov D. S., Fomin I. V., Belenkov YU. N. i dr. Hronicheskaya serdechnaya nedostatochnost' v Rossijskoj Federacii: chto izmenilos' za 20 let nablyudeniya? Rezul'taty issledovaniya EPOHA-HSN. Kardiologiya. 2021; T. 61, (4): 4–14.
- Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020 [Электронный ресурс]. URL: <https://diseases.medelement.com/disease/хроническая-сердечная-недостаточность-у-взрослых-кр-рф-2020/17131>. Hronicheskaya serdechnaya nedostatochnost'. Klinicheskie rekomendacii 2020 [Elektronnyj resurs]. URL: <https://diseases.medelement.com/disease/hronicheskaya-serdechnaya-nedostatochnost'-u-vzroslyh-kr-rf-2020/17131>.

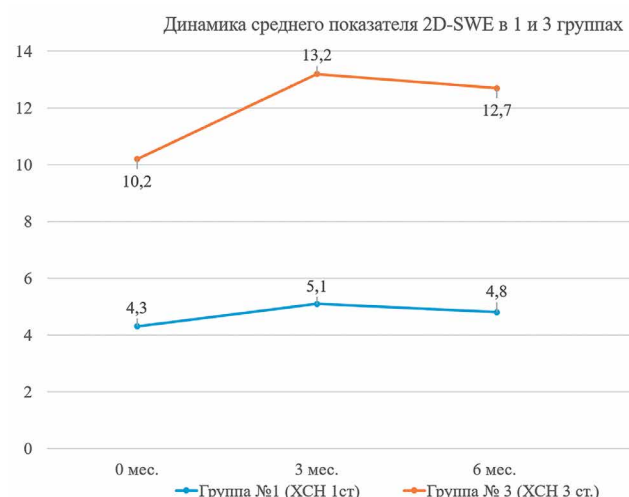


Рисунок 6. Распределение пациентов 1 и 3 групп по результатам эластографии через 3 и 6 месяцев динамического наблюдения

Таблица 3
Результаты динамического наблюдения группы № 2 (ХСН IIА-Б, ФК II–III)

Группа № 2	0 мес.		3 мес.		6 мес.	
	ФВ ЛЖ	2D-SWE	ФВ ЛЖ	2D-SWE	ФВ ЛЖ	2D-SWE
I подгруппа (<15% разница по результатам эластографии после нагрузочной пробы)	64,8±11,8	6,1±3,4	63,7±9,2	5,8±4,1	61,2±10,3	6,3±3,9
II подгруппа (15–25% разница по результатам эластографии после нагрузочной пробы)	56,4±12,6	6,7±3,9	53,2±10,4	7,4±4,8	51,9±9,6	7,9±5,1
III подгруппа (>25% разница по результатам эластографии после нагрузочной пробы)	50,2±8,8	7,8±3,7	48±6,7	9,1±3,6	46,1±9,2	10,2±3,4

- Chon Y. E., Choi E. H., Song K. J. et al. Performance of transient elastography for the staging of liver fibrosis in patients with chronic hepatitis B: a meta-analysis. PLoS One. 2012; (7), pp. 44–93.
- Giallourakis C. C. Liver complications in patients with congestive heart failure. Gastroenterol Hepatol (NY). 2013; (9): 244–246.
- Аришева О. С., Гармаш И. В., Сарлыков Б. К. Распространенность и прогностическое значение поражения печени при хронической сердечной недостаточности. Клиническая фармакология и терапия. 2021; (30): 70–74.
- Arisheva O. S., Garmash I. V., Sarlykov B. K. Rasprostranennost' i prognosticheskoe znachenie porazheniya pecheni pri hronicheskoy serdechnoy nedostatochnosti. Klinicheskaya farmakologiya i terapiya. 2021; (30): 70–74.
- Васильева Л. Н., Ксенофонтова А. Г., Баюкова С. В. Сердечно-печеночный синдром: инновационная диагностика методом ультразвуковой эластографии. Acta medica Eurasica. 2022; (1) 9–18. Vasil'eva L. N., Ksenofontova A. G., Bayukova S. V. Serdechno-pechenochnyj sindrom: innovacionnaya diagnostika metodom ul'trazvukovoj elastografii. Acta medica Eurasica. 2022; (1) 9–18.
- Диомидова В. Н., Васильева Л. Н., Валева О. В. и др. Возможности ультразвуковой эластографии в оценке поражения печени при хронической сердечной недостаточности. Практическая медицина. 2021; Т. 19 (5): 27–32.
- Diomidova V. N., Vasil'eva L. N., Valeeva O. V. i dr. Vozmozhnosti ul'trazvukovoj elastografii v ocenke porazheniya pecheni pri hronicheskoy serdechnoy nedostatochnosti. Prakticheskaya medicina. 2021; T. 19 (5): 27–32.
- Кобалава Ж. Д., Виллевалде С. В., Соловьева А. Е. Сердечно-печеночный синдром при сердечной недостаточности: распространенность, патогенез, прогностическое значение. Кардиология. 2016; Т. 56 (12): 1–9. Kobalava ZH. D., Villeval'de S. V., Solov'eva A. E. Serdechno-pechenochnyj sindrom pri serdechnoy nedostatochnosti: rasprostranennost', patogenez, prognosticheskoe znachenie. Kardiologiya. 2016; T. 56 (12): 1–9.

9. Соловьева А.Е., Кобалава Ж.Д., Виллевалде С.В. и др. Прогностическое значение плотности печени при декомпенсации сердечной недостаточности: результаты проспективного наблюдательного исследования, основанные на данных непрямо́й эластометрии. *Кардиология*. 2018; Т. 58 (10): 20–32.
10. Solov'eva A.E., Kobalava ZH.D., Villeva'le S.V. i dr. Prognosticheskoe znachenie plotnosti pecheni pri dekompensacii serdechnoj nedostatochnosti: rezul'taty prospektivnogo nablyudatel'nogo issledovaniya, osnovannye na dannyh nepryamoj elastometrii. *Kardiologiya*. 2018; Т. 58 (10): 20–32.
11. Felder L., Mund A., Parker Jg. Liver function tests in chronic congestive heart failure. *Circulation*. 1950; vol. 2(2): 286–297.
12. Fuhrmann V., Jager B., Zubkova A., Drolz A. Hypoxic hepatitis — epidemiology, pathophysiology, and clinical management. *Wien Klin. Wochenschr*. 2010; vol. 122(5–6): 129–139.
13. Giallourakis C. C. Liver complications in patients with congestive heart failure. *Gastroenterol Hepatol (NY)*. 2013; vol. 9: 244–246.
14. Poelzl G., Auer J. Cardiohepatic syndrome. *Curr Heart Fail Rep.* 2015; (12): 68–78.
15. Poelzl G., Ess M., Mussner-Seeber C. Liver dysfunction in chronic heart failure: prevalence, characteristics and prognostic significance. *Eur J Clin Invest*. 2012. vol. 42(2): 153–163.
16. Tkach S. M. Заболевания печени и печеночная дисфункция у больных с сердечной недостаточностью. Серцева недостатність та коморбідні стани. 2017; (3): 90–96.
17. Tkach S. M. Zabolevaniya pecheni i pechenochnaya disfunkciya u bol'nyh s serdechnoj nedostatochnost'yu. Serceva nedostatnist' ta komorbidni stani. 2017; (3): 90–96.
18. Камалов Ю. Р., Хуторной И. В., Крыжановская Е. Ю. и др. Точечная эластография сдвиговой волной (ARFI-эластометрия) при хронических диффузных заболеваниях печени невирусной этиологии. Ультразвуковая и функциональная диагностика. 2018; (4): 33–45.
19. Kamalov YU.R., Hutornoj I. V., Kryzhanovskaya E.YU. i dr. Tochechnaya elastografiya sdvigovoj volnoj (ARFI-elastometriya) pri hronicheskikh diffuznyh zabolevaniyakh pecheni nevirusnoj etiologii. Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika. 2018; (4): 33–45.
20. Борсуков А. В., и соавт. Ультразвуковая эластография: как делать правильно. Учебно-методическое пособие — Смоленск, 2023. — 120 с.
21. Borsukov A.V., i soavt. Ul'trazvukovaya elastografiya: kak delat' pravil'no. Uchebno-metodicheskoe posobie — Smolensk, 2023. — 120 s.
22. Мунхцэцэг Б. Клинико-прогностическое значение непрямо́й эластометрии печени при декомпенсации сердечной недостаточности: дис. ... канд. мед. наук. М., 2019. 115 с.
23. Munhceceg B. Kliniko-prognosticheskoe znachenie nepryamoj elastometrii pecheni pri dekompensacii serdechnoj nedostatochnosti: dis. ... kand. med. nauk. M., 2019. 115 s.
24. Борсуков А. В., Ковалев А. В. Ультразвуковая эластография селезенки: диапазон возможностей при спленомегалии. — Смоленск: «Смоленская городская типография», 2020 г. — 200 с.
25. Borsukov A.V., Kovalev A. V. Ul'trazvukovaya elastografiya selezyonki: diapazon vozmozhnostej pri splenomegalii. — Smolensk: "Smolenskaya gorodskaya tipografiya", 2020 g. — 200 s.
26. Giovanna Ferrioli, Richard G Barr, André Farrokh et al. How to perform shear wave elastography. Part I. *Med Ultrason* 2022; Vol. 24 (1): 95–106.
27. Postnova N. A., Borsukov A. V., Morozova T. G. i dr. Компрессионная эластография печени: методика, особенности получения эластограмм, анализ ошибок и артефактов (лекция). *Радиология*. 2015; (2): 45–54.
28. Postnova N.A., Borsukov A. V., Morozova T. G. i dr. Kompresionnaya elastografiya pecheni: metodika, osobennosti polucheniya elastogramm, analiz oshibok i artefaktov (lekciya). *Radiologiya*. 2015; (2): 45–54.
29. Рытик П. И., Рябова Е. Н., Шахотина И. В. и др. Возможности применения ARFI-эластографии при диагностике фиброза печени. *Медицинский альманах*. 2017; (1): 62–65.
30. Ryhtik P.I., Ryabova E. N., SHahotina I.V. i dr. Vozmozhnosti primeneniya ARFI-elastografii pri diagnostike fibroza pecheni. *Medicinskij al'manah*. 2017; (1): 62–65.
31. Диомидова В. Н., Васильева Л. Н., Валеева О. В. и др. Возможности ультразвуковой эластографии в оценке поражения печени при хронической сердечной недостаточности. *Практическая медицина*. 2021; Т. 19 (5): 27–32.
32. Diomidova V.N., Vasil'eva L.N., Valeeva O. V. i dr. Vozmozhnosti ul'trazvukovoj elastografii v ocenke porazheniya pecheni pri hronicheskoy serdechnoj nedostatochnosti. *Prakticheskaya medicina*. 2021; Т. 19 (5): 27–32.
33. Борсуков А. В. Эластография сдвиговых волн: анализ клинических случаев. М.: СИМК, 2022. 468 с.
34. Borsukov A. V. Elastografiya sdvigovyh voln: analiz klinicheskikh sluchaev. M.: SIMK, 2022. 468 s.
35. Васильев А. Ю., Шахов Б. Е., Петрова Е. Б. Современная эхокардиографическая оценка состояния миокарда при ИБС. М.: ИКАР, 2022. 268 с.
36. Vasil'ev A.YU., SHahov B.E., Petrova E. B. Sovremennaya ehokardiograficheskaya ocenka sostoyaniya miokarda pri IBS. M.: IKAR, 2022. 268 s.
37. Richard G. Barr, Staphanie R. Wilson, Deborah Rubens et al. Update to the Society of Radiologists in Ultrasound Liver Elastography Consensus Statement. *Radiology* 2020; Vol. 296 (2): 96–104.
38. Сандриков В. А., Кулагина Т. Ю. Эхокардиография в кардиохирургии. Векторный анализ и внутрисердечные потоки крови. М.: Наш мир, 2022. 608 с.
39. Sandrikov V.A., Kulagina T.YU. Ehokardiografiya v kardiokirurgii. Vektornyj analiz i vnutriserdechnye potoki krovi. M.: Nash mir, 2022. 608 s.
40. Алехин М. Н., Бартош-Зеленая С. Ю., Сандриков В. А. и др. Стандартизация проведения трансторакальной эхокардиографии у взрослых: консенсус экспертов Российской Ассоциации специалистов ультразвуковой диагностики в медицине (РАСУ-ДМ) и Российской Ассоциации специалистов функциональной диагностики (РАСФД). *Ультразвуковая и функциональная диагностика*. 2021; (2): 63–79.
41. Alekhin M.N., Bartosh-Zelenaya S.YU., Sandrikov V. A. i dr. Standartizatsiya provedeniya transtorakal'noj ehokardiografii u vzroslykh: konsensus ekspertov Rossijskoj Associacii specialistov ul'trazvukovoj diagnostiki v medicine (RASUDM) i Rossijskoj Associacii specialistov funktsional'noj diagnostiki (RASFD). Ul'trazvukovaya i funktsional'naya diagnostika. 2021; (2): 63–79.
42. Кулагина Т. Ю., Беленков Ю. Н., Сандриков В. А. Новые алгоритмы оценки функции миокарда по данным эхокардиографии. *Кардиология*. 2019; Т. 59, (11): 48–55.
43. Kulagina T.YU., Belenkov YU.N., Sandrikov V. A. Novye algoritmy ocenki funktsii miokarda po dannym ehokardiografii. *Kardiologiya*. 2019; Т. 59, (11): 48–55.
44. Taniguchi T., Sakata Y., Ohtani T et al. Usefulness of Transient Elastography for Noninvasive and Reliable Estimation of Right-Sided Filling Pressure in Heart Failure. *The American Journal of Cardiology*. 2014; vol. 113: 552–558.

Сведения об авторах

Скутарь А. И., аспирант Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии», ORCID 0009-0005-4381-2900

Борсуков А. В., д.м.н., профессор, директор Проблемной научно-исследовательской лаборатории «Диагностические исследования и малоинвазивные технологии», ORCID 0000-0003-4047-7252

ФГБОУ ВО «Смоленский государственный медицинский университет» Минздрава России, г. Смоленск

Автор для переписки: Скутарь А. И. E-mail: nastya.skutar.96@mail.ru

About authors

Skutar' A. I., post-graduate student of of Medical Sciences, Senior Scientist, Fundamental research laboratory "Diagnostic research and minimally invasive techniques", ORCID 0009-0005-4381-2900

Borsukov A. V., Doctor of Medical Sciences, Professor, the Head, Fundamental research laboratory "Diagnostic research and minimally invasive techniques", ORCID 0000-0003-4047-7252

Smolensk State Medical University, Smolensk, Russia

Corresponding author: Skutar' A. I. E-mail: nastya.skutar.96@mail.ru

Статья поступила / Received 14.10.2023

Получена после рецензирования / Revised 24.10.2023

Принята в печать / Accepted 10.11.2023

Для цитирования: Скутарь А. И., Борсуков А. В. Стандартизация методик ультразвуковой эластометрии печени и трансторакальной эхокардиографии при синхронном применении у пациентов с хронической сердечной недостаточностью. *Медицинский алфавит*. 2023;(32):35–40. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-35-40>

For citation: Skutar' A. I., Borsukov A. V. Standardization of liver ultrasound elastometry and transthoracic echocardiography techniques for simultaneous use in patients with chronic heart failure. *Medical alphabet*. 2023;(32):35–40. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-35-40>



Ультразвуковая нагрузочная вело-стрессовая диагностика ранней цереброваскулярной дисфункции у пациентов с артериальной гипертензией

А. Б. Тривоженко¹, В. А. Авхименко²

¹ Академия последипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России

² ФГБУ «Сибирский федеральный научно-клинический центр Федерального медико-биологического агентства России», г. Северск

РЕЗЮМЕ:

Цель. Оценить ранние проявления цереброваскулярной дисфункции в процессе ультразвукового вело-стрессового исследования динамического изменения скоростно-резистентных параметров мозгового кровообращения у пациентов с артериальной гипертензией.

Методы: Обследована группа пациентов с артериальной гипертензией I-II степени (№ 1, n=23) и группа условно здоровых лиц (№ 2, n=27) сопоставимого возраста 53 [47–58] года. В процессе доплеровского исследования средней мозговой артерии (СМА) регистрировалась пиковая скорость кровотока (V_{ps}), индекс резистентности (RI) в положении лёжа, сидя и в течение велоэргометрии (ВЭМ).

Результаты: В положении лежа V_{ps} была равной 79 [77–82] см/с и 82 [79,5–85] см/с, соответственно, при одинаковом RI 0,62 [0,58–0,64]. В положении сидя на велоэргометре V_{ps} снижалась в основной группе на 13,5% [11,2–15,5], а в группе контроля — на 5% [3,8–7,2]. В процессе ВЭМ средней интенсивности, которая соответствовала 70% пороговой мощности, рост V_{ps} у пациентов с АГ составил 30% [27,4–32,6] от исходных ортостатических значений, а в группе контроля — 44% [38–48,2] ($p < 0,0001$). Аналогично возросло и периферическое сосудистое сопротивление, RI увеличился на 15,8% [13,9–20,8] и на 18,8% [15–22,6], соответственно. На пике ВЭМ наблюдалось уменьшение V_{ps} в основной группе на 15% [7,2–10] от максимальных значений, а в группе контроля — на 11% [8,4–12,2], при этом RI существенно не изменялся.

Заключение. Адекватное увеличение пиковой скорости кровотока в средней мозговой артерии в ответ на физическую нагрузку составляет не менее 30%, малопродуктивный нагрузочный рост у пациентов с артериальной гипертензией I-II степени указывает на снижение вазомоторной цереброваскулярной функции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: велоэргометрия; доплер средней мозговой артерии; пиковая скорость, вазомоторная цереброваскулярная функция.

Ultrasonic bicycle exercises diagnostics of early cerebrovascular dysfunction at patients with an arterial hypertension

A. B. Trivozhenko¹, V. A. Avkhimenko²

¹ Academy of postdegree formation of FSBI FSKC of FMBA of Russia

² FSBI «Siberian Federal Scientific and Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency», Seversk

SUMMARY:

Purpose. To estimate early decrease of cerebrovascular function in the course of ultrasonic bicycle exercise dynamic change of peak velocity and resistant index of brain blood circulation at patients with an arterial hypertension.

Methods: The group of patients with an arterial hypertension of the I-II degree (No. 1, n=23) and group of conditionally healthy faces (No. 2, n=27) comparable age is examined 53 [47–58] years. In the course of the Doppler research of the middle brain artery the peak velocity (V_{ps}) and resistant index (RI) in a supine position was registered, sitting also during bicycle exercise.

Results: In a supine position of V_{ps} was equal 79 [77–82] cm/s and 82 [79,5–85] cm/s, respectively, RI was identical — 0,62 [0,58–0,64]. In a sitting position on the stationary bicycle V_{ps} decreased in the main group by 13,5% [11,2–15,5], and in group of control — for 5% [3,8–7,2]. In the course of bicycle exercise of average intensity, which corresponded to 70% of threshold power, growth of V_{ps} at patients with AG was 30% [27,4–32,6] of reference orthostatic values, and in group of control — 44% [38–48,2] ($p < 0,0001$). Similarly also peripheral vascular resistance increased, RI increased by 15,8% [13,9–20,8] and for 18,8% [15–22,6], respectively. At peak of bicycle exercise reduction of V_{ps} in the main group for 15% [7,2–10] of the maximum values, and in group of control — for 11% [8,4–12,2] was observed, at this RI significantly did not change.

Conclusion. Adequate increase peak velocity in an middle brain artery not less than 30% in the course of exercises, unproductive increase peak velocity at patients with an arterial hypertension of the I-II degree indicates decrease in vasomotor cerebrovascular function.

KEYWORDS: bicycle exercises, Doppler middle brain artery, peak velocity, vasomotor cerebrovascular function.

ВВЕДЕНИЕ

Артериальная гипертензия (АГ) представляет собой социально-значимую проблему здравоохранения экономически развитых стран, учитывая существенное распространение заболевания с тенденцией вовлечения жителей не только старших, но и средних возрастных групп. Паталогический процесс характеризуется поражением периферического артериального русла с пролиферацией гладких мышечных клеток, дезорганизацией клеточных элементов, приводящей к повышению жесткости и снижению эластичности сосудистых стенок [1]. Наиболее чувствительным является цереброваскулярный компонент системного кровообращения, который в первую очередь страдает от повышенного артериального давления (АД).

В национальных рекомендациях по диагностике и лечению АГ предложено оценивать состояние сосудистых стенок,

базируясь на следующих показателях: толщина комплекса интима-медиа более 0,9 мм, скорость распространения пульсовой волны от сонной к бедренной артерии >12 м/с [2, 3].

Однако на первоначальном этапе развития АГ сосудистая ригидность имеет функциональный характер и проявляет себя лишь недостаточным увеличением региональной перфузии в стресс — индуцированных условиях. Нарушение ауторегуляции мозгового кровообращения может быть обнаружено в процессе проведения ультразвуковых исследований кровотока в средних мозговых артериях (СМА) при изменении газового состава крови. Параметры мозговой перфузии оцениваются в условиях гипероксии (ингаляции кислородом) и гиперкапнии (ингаляции смеси воздуха с углекислым газом). Методика имеет авторские модификации, связана с установкой и применением газового и капнографического оборудования,

а также с многочисленными усложненными расчетами всевозможных скоростно-объемных индексов, гендерно-возрастных коэффициентов, громоздких формул и многоуровневых интерпретационных критериев [4, 5, 6]. Несмотря на высокую информативность, практическое применение данных технологий в кабинетах функциональной диагностики ЛПУ представляется весьма проблематичным. Более адаптированной для утилитарного использования является аналогичная оценка мозговой ауторегуляции в процессе физической нагрузки или ортостатической пробы, расчет индекса Линдегаарда-Ааслида [7, 8, 9].

Функциональная ригидность вазомоторного статуса мозгового кровообращения при АГ вполне очевидна, но при этом закономерным вопросом является степень снижения нагрузочной сосудодвигательной реактивности на ранних стадиях заболевания, когда возможна эффективная медикаментозная и физиотерапевтическая коррекция латентного нарушения цереброваскулярной функции. Таким образом, совокупность вышеизложенных аргументов позволила определить цель настоящего исследования.

Цель. Оценить ранние проявления цереброваскулярной дисфункции в процессе ультразвукового вело-стрессового исследования динамического изменения скоростно-резистентных параметров мозгового кровообращения у пациентов с артериальной гипертензией.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ. В Сибирском федеральном научно-клиническом центре ФМБА России обследованы две группы пациентов. Первая группа включала 23 человека, 13 мужчин и 10 женщин в возрасте от 44 до 60 лет (Me 53 [47–56]) с артериальной гипертензией I–II по классификации ВОЗ/МОГ (ACC/ANA-2017 Hypertension Guidelines). Вторая группа состояла из 27 условно здоровых лиц, 18 мужчин и 9 женщин в возрасте от 43 до 60 лет (Me 56 [50–58]) с нормальным уровнем АД.

Клинические проявления АГ в основной группе пациентов представляли собой эпизоды головных болей различной интенсивности и продолжительности (n=17, 74%), одышку при физической нагрузке (n=10, 43%), дискомфорт в грудной клетке на фоне высокого АД (n=5, 22%). Избыточная масса тела определялась у 8 (35%) человек первой группы и 9 (33%) человек группы контроля, повышенный уровень холестерина крови был обнаружен у 3 (13%) пациентов с АГ и у 4 (15%) условно здоровых лиц.

Противопоказаниями для включения в исследование были: технические и клинические препятствия для транскраниального дуплексного исследования мозговых артерий и проведения ВЭМ, инструментально подтвержденная ИБС, значимые нарушения ритма и/или проводимости, острые нарушения мозгового кровообращения в анамнезе, хроническая сердечная недостаточность, черепно-мозговые травмы, сахарный диабет или системные заболевания с поражением периферического артериального русла.

Для проведения диагностических исследований использовалась специализированная рабочая станция, включающая ультразвуковой аппарат экспертного класса (GE VIVID E9, США), велоэргометр (AEROBIKE, Япония), компьютерный электрокардиограф (Альтоника, Россия).

В соответствии с отраслевым стандартом оказания медицинской помощи, каждому пациенту было выполнено обследо-

вание, включающее эхокардиографию (ЭхоКГ) и сосудистый ультразвук брахицефальных (сонных и позвоночных) артерий.

Транскраниальное дуплексное сканирование мозговых артерий осуществлялось с помощью секторального датчика 2,5–4 мГц через темпоральный доступ. Исследование выполнялось в положении пациента лежа, затем сидя на велоэргометре и на каждой ступени ВЭМ. Регистрировалась пиковая скорость кровотока (Vps), а также индекс резистентности (RI) в сегменте M1 средней мозговой артерии.

Дополнительно, каждому пациенту проводилось вычисление индекса прессорно-скоростного отношения (ИПСО) по формуле: $\text{ИПСО} = \text{САД} / \text{Vps-СМА}$, где САД — систолическое артериальное давление, Vps-СМА — пиковая скорость кровотока в средней мозговой артерии.

Велоэргометрия осуществлялась в режиме ручного тари-рования нагрузки, в виде ступенчато возрастающей пробы с мощностью 30–60–90–120 Вт по 5 минут на каждой ступени (рекомендации ВКНЦ по проведению ВЭМ для определения ТФН). Проба прекращалась в момент достижения субмаксимальной возрастной ЧСС = $0,85 \times (220 - \text{возраст пациента})$, и/или достижения САД = 220 ммHg, при появлении нарушений ритма, изменений конечной части желудочкового комплекса на ЭКГ или в случае чрезмерной усталости, одышки, мышечного истощения.

Расчет пороговой мощности ВЭМ осуществлялся по методу Т.В. Тавровской для субмаксимальных тестов [10]. Для женщин она составляла 1,4 Вт/кг массы тела, а для мужчин — 2 Вт/кг массы тела. При этом нагрузка средней интенсивности соответствовала 70% данной расчетной величины.

Права пациентов обеспечивались информационным и юридическим сопровождением исследования, включая подробное разъяснение сути метода с документальным оформлением формуляра информированного согласия, составленного в соответствии с Хельсинкской декларацией ВМА для медико-биологических исследований.

Для статистической обработки информации использовался программный продукт MedCalc V 20.104 (Бельгия). Учитывая относительно малое количество наблюдений в выборках, анализ распределения переменных не проводился, а данные представлялись в виде минимальных и максимальных значений, медианы (Me) и интерквартильного диапазона в формате Me [LQ-UQ], где LQ — нижний квартиль, UQ — верхний квартиль. Для определения достоверности различий независимых выборок применялся непараметрический U-критерий Манна-Уитни. Нулевые гипотезы отвергались при уровне значимости $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ. В процессе предварительно проведенных ЭКГ и ЭхоКГ существенных кардиологических изменений обнаружено не было. У троих (13%) пациентов основной группы регистрировались признаки гипертрофии левого желудочка (ЛЖ) в виде повышенного индекса Соколова-Лайона с малой инверсией асимметричной «волны Т». Масса миокарда левого желудочка (ЛЖ), вычисленная по формуле ASE (American Society of Echocardiography, Guidelines 2015) для парастеральных сечений, индексировалась в виде отношения к площади поверхности тела [11]. Индекс массы миокарда у больных АГ находился в пределах от 85 до 110 г/кв.м (Me 102 [100–108]), в контрольной группе условно-здоровых добровольцев — от 74 до 96 г/кв.м (Me 88 [84–92]) ($p < 0,0001$), однако

незначительная гипертрофия ЛЖ с индексом 110–112 г/кв.м была зарегистрирована только у 2 (9%) мужчин, остальные пациенты с АГ показали лишь тенденцию к увеличению массы сердечной мышцы. Расчет относительной толщины сосудистых стенок ЛЖ не проводился.

Аналогичное наблюдение просматривалось и при измерении диаметра левого предсердия, который не выходил за пределы физиологических значений, но оказался чуть выше у пациентов первой группы (Ме 38 [36–38]) и (Ме 36 [34–38]), соответственно, $p=0,015$. Данное наблюдение исключало нецелесообразное дополнительное определение объема левого предсердия.

Давление заклинивания в легочной артерии у пациентов основной группы, измеренное по стандартной формуле соотношения трансмитрального кровотока к смещению фиброзного кольца клапана регистрировалось в пределах 9–13 mmHg (Ме 11 [10–13]), у пациентов группы контроля — 8–11 mmHg (Ме 10 [9–10]), диастолической ХСН (капиллярно-венозной легочной гипертензии) так же не наблюдалось. Следует добавить, что фракция выброса была удовлетворительной у всех обследуемых лиц, без межгрупповых различий: 66% [61–73] и 72% [64–77], соответственно, $p=0,17$.

При исследовании сонных артерий у 3 (13%) человек основной группы и у 2 (3%) человек группы контроля были обнаружены признаки атеросклероза в виде единичных, не протяженных локальных бляшек, сужающих сосудистые просветы не более чем на 10–20%, не вызывающих ускорений и дезорганизации кровотока.

Диаметры внутренних сонных артерий (ВСА) измерялись в пределах 4,2–5,5 мм (Ме 4,7 [4,4–5,2]) без межгрупповых различий, гипертонической эктазии ВСА и признаков патологической извитости обнаружено не было, толщина комплекса интима-медиа была в диапазоне 0,7–1,0 мм. Линейные параметры магистрального церебрального кровообращения выглядели нормальными. Пиковая скорость кровотока в ВСА (V_{ps} -ВСА) у пациентов с АГ находилась в пределах 60–75 см/с (Ме 67 [63–72]), у обследуемых лиц контрольной группы — в диапазоне 57–77 см/с (Ме 65 [60–74]), межгрупповых различий обнаружено не было. Аналогичные наблюдения были и при расчетах резистентных индексов (RI-ВСА), которые в основной группе измерялись от 0,55 до 0,68 (Ме 0,62 [0,57–0,67]), а в группе контроля — 0,57–0,7 (Ме 0,63 [0,65–0,68]).

Средние мозговые артерии были визуализированы в 100% случаев с высоким качеством отображенных сигналов.

В положении лежа V_{ps} -СМА у пациентов с АГ измерялась в пределах 75–85 см/с (Ме 79 [77–82]), у обследуемых группы контроля скоростной параметр оказался выше и регистрировался в диапазоне 76–90 см/с (Ме 82 [79,5–85]), $p=0,0024$. Цереброваскулярная резистентность по данным кровообращения в основном ответвлении ВСА существенно не различалась, RI-СМА наблюдался в диапазоне 0,55–0,68 (Ме 0,62 [0,58–0,64]), межгрупповых различий обнаружено не было. В положении сидя на велоэргометре V_{ps} -СМА снижалась в основной группе на 13,5% [11,2–15,5], а в группе контроля — на 5% [3,8–7,2], вертикальное положение вызывало закономерное перераспределение кровотока, при этом RI-СМА существенно не изменялся и находился в пределах 0,57–0,68 (Ме 0,64 [0,62–0,65]). У обследуемых лиц без АГ ортостатическое

снижение мозговой перфузии происходило в меньшей степени, но в обеих группах наблюдалась спектральная трансформация кровотока в СМА с появлением дикротических вырезок различной степени выраженности.

Все пациенты успешно выполнили ВЭМ, ни в одном случае значимых осложнений нагрузочной пробы не наблюдалось, регистрировалась лишь редкая суправентрикулярная экстрасистолия у 2 (9%) лиц основной группы и у 3 (11%) пациентов группы контроля. Аналогично не было отмечено изменений конечной части желудочкового комплекса на ЭКГ, а также ультразвуковых эквивалентов скрытой коронарной недостаточности. Толерантность к физической нагрузке в обеих группах была средней, определялась без существенных различий и оказалась равной 92 Вт [84–96] и 98 Вт [90–108], соответственно.

Не пике физической нагрузки систолическое АД у пациентов основной группы регистрировалось в пределах от 190 до 220 mmHg (Ме 210 [206–220]) и оказалось достоверно выше ($p<0,0001$), чем у пациентов контрольной группы, которые продемонстрировали значения данного параметра в пределах 165–200 mmHg (Ме 180 [175–185]). Однако процентный рост систолического АД наблюдался без статистических различий, в основной группе составил 52% [47–55], а в группе контроля — 48% [39–52], (Манн-Уитни $p=0,079$). Данный феномен объяснялся исходными различиями обозначенного показателя ЦГД.

В процессе ВЭМ средней интенсивности (70% возрастной ЧСС), V_{ps} -СМА закономерно увеличивалась у пациентов основной группы обозначенный максимальный рост составил 30% [27,4–32,6] от исходных ортостатических значений, а в группе контроля — 44% [38–48,2] ($p<0,0001$). Аналогично возросло сосудистое сопротивление в СМА за счет закономерной симпатoadренальной реакции на физическую нагрузку, причем в основной группе RI-СМА увеличился на 15,8% [13,9–20,8], а в группе контроля — на 18,8% [15–22,6], при этом межгрупповых различий обнаружено не было.

На пике ВЭМ наблюдалось уменьшение V_{ps} -СМА в основной группе на 15% [7,2–10] от максимальных значений, а в группе контроля — на 11% [8,4–12,2], при этом RI-СМА существенно не изменялся.

Обнаруженный феномен снижения V_{ps} на пике ВЭМ, последующий за ростом скоростного показателя в ответ на нагрузку средней интенсивности, объяснялся включением системы мозговой ауторегуляции (по В. П. Куликову и соавт. [6]), а также закономерной нагрузочной децентрализацией кровообращения с увеличением мышечной перфузии. Позиционные и нагрузочные изменения пиковой скорости кровотока и резистентного индекса в средней мозговой артерии, у пациентов обеих групп представлены в таблице 1.

Визуально, кровоток в СМА у здоровых добровольцев характеризовался полноценным ростом спектрального массива на этапах ВЭМ, у пациентов с АГ нагрузочное преобразование спектрального потока выглядело менее выраженным. Сравнительный анализ типичных спектральных трансформаций условно здоровых лиц и пациентов с АГ представлен на рисунках 1 и 2.

Графически степень нагрузочного увеличения пиковой скорости кровотока и резистентного индекса в СМА представлена на рисунке 3.

Таблица 1
Позиционные и нагрузочные изменения пиковой скорости кровотока и резистентного индекса в средней мозговой артерии, у пациентов обеих групп в виде Ме [LQ-UQ]: (* $p<0,05$; ** $p<0,005$ для Vps)

Группы Состояние	I группа n=23		II группа n=27		Различия (p) Vps; RI
	Vps см/с	RI	Vps см/с	RI	
В положении лежа	79 [77–82]	0,62 [0,58–0,62]	82* [79,5–82]	0,62 [0,57–0,63]	0,024*; 0,8
В положении сидя на велоэргометре	69 [66,2–72]	0,62 [0,6–0,64]	78** [76–80]	0,64 [0,62–0,65]	0,0001**; 0,05
ВЭМ средней интенсивности	90 [86–94]	0,69 [0,67–0,72]	108** [105–110]	0,7 [0,69–0,75]	0,0001**; 0,64
Субмаксимальная ВЭМ	76 [74–80]	0,7 [0,68–0,72]	96** [90–99]	0,72 [0,7–0,73]	0,0001**; 0,68

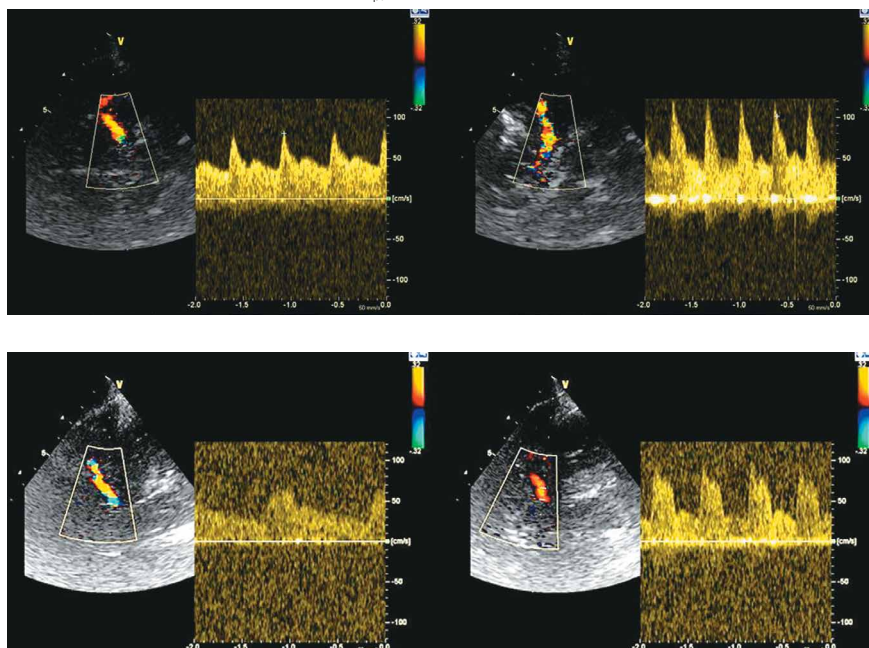
Индексы прессорно-скоростного отношения (САД/Vps-CMA) у пациентов с АГ вычислялись с размахом 2,0–2,65 (Ме 2,4 [2,28–2,44]), а здоровых лиц — 1,47–1,8 (Ме 1,65 [1,58–1,72]) и статистически достоверно различались ($p=0,0001$). Данный расчетный показатель рассматривался в качестве дополнительного критерия ранней цереброваскулярной дисфункции у пациентов с АГ. Нормальными значениями ИПСО признавались переменные, не превышающие порогового значения равного 2,0; при более высоких индексах, нагрузочная реактивность мозговой гемодинамики в ответ на физическую нагрузку считалась сниженной.

Обсуждение. Цереброваскулярная недостаточность представляет собой неотъемлемый компонент артериальной гипертензии, представляя собой одно из самых распространенных и наиболее грозных осложнений заболевания. На поздних стадиях патологического процесса, при развитии органических поражений мозговых сосудов в виде склерозирования сосудистых стенок и частичной облитерации мелких артерий, нарушения мозговой перфузии имеют характерные клинические проявления. В сочетании с атеросклеротическим процессом и нарушениями реологических свойств крови, на фоне высоко АД возможно развитие ишемических повреждений коры и подкорковых структур головного мозга. Однако в начальной стадии заболевания предиктором обозначенных осложнений АГ является динамическое нарушение вазомоторной функции церебрального сосудистого русла, которое в состоянии покоя не имеет клинических проявлений и не распознается стандартными диагностическими методами.

Современное развитие ультразвуковой медицинской техники позволяет осуществлять визуально контролируемые доплеровские исследования в сосудах малого диаметра. Оптимальным средством анализа церебральной гемо-

Рисунок 2. Реактивность кровотока в СМА у пациента с АГ на вело-стрессовую нагрузку средней интенсивности (90 Вт, мужчина), исходные параметры: V_{ps} -CMA = 65 см/с, RI-CMA = 0,62; нагрузочные параметры: V_{ps} = 85 см/с (+30%), RI-CMA = 0,7 (+13%)

Рисунок 1. Физиологическая реактивность кровотока в СМА на вело-стрессовую нагрузку средней интенсивности (90 Вт, мужчина), исходные параметры: V_{ps} -CMA = 82 см/с, RI-CMA = 0,52; нагрузочные параметры: V_{ps} -CMA = 115 см/с (+40%), RI-CMA = 0,62 (+16%)



динамики представляется динамическая регистрация линейных параметров перфузии в СМА, которая представляется наиболее крупным сосудом артериального русла, снабжающим большой объем функционально активной коры и подкорковых структур головного мозга. Исследование показало возможность регистрации доплеровских показателей кровотока в 100% случаев при использовании оборудования экспертного уровня, что согласуется с литературными сведениями [7, 8].

Для повышения утилитарности разработанной методики, было принято решение отказаться от любых технологических усложнений измерительных манипуляций орто-позиционного вело-стрессового исследования. По этой причине не проводилась корректировка угла доплеровской инсонации, учитывая его малые значения («луч-гемодинамическое отклонение» менее 30 градусов). Также представлялось нецелесообразным измерение усредненных по времени пиковой и средней скорости кровотока, требующих проведения аппаратно-искажаемой или мануально-неточной спектральной трассировки. Обозначенный упрощенный подход повышал воспроизводимость метода для его применения в качестве средства диагностического контроля эффективности терапевтических мероприятий.

Учитывая ничтожно малое количество женщин фертильного возраста в обследуемой когорте, зависимость мозговой реактивности фаз менструального цикла не принималась во внимание.

Общеизвестно, что нагрузочная трансформация параметров мозговой гемодинамики подчинено определенным закономерностям, базирующимся на ауторегуляции

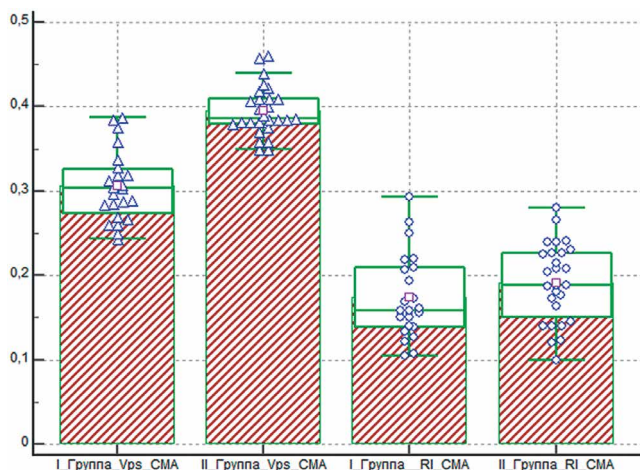


Рисунок 3. Степень нагрузочного увеличения (ось Y) пиковой скорости кровотока (V_{ps}) и резистентного индекса (RI) в средней мозговой артерии, I группа — пациенты с АГ, II группа — условно здоровые ($p < 0,0001$)

скоростно-объемных параметров мозговой перфузии. При физических нагрузках средней интенсивности кровотоки возрастают, а с дальнейшим ростом мышечных усилий — снижается в обратной пропорции, что обусловлено включением защитно-приспособительных механизмов, препятствующих чрезмерной гиперемии головного мозга и децентрализацией кровообращения в пользу скелетной мускулатуры [4, 7]. Исследование подтвердило приверженность индивидуальных паттернов трансформации мозгового кровотока общему правилу. Однако у пациентов с АГ амплитуда сосудодвигательных реакций оказалась менее выраженной, чем у здоровых обследуемых лиц сопоставимого возраста, что, предположительно, объяснялось функциональной ригидностью сосудистых стенок, не исключая начальную стадию органических изменений микроциркуляторного русла [1].

Выводы.

Ультразвуковая нагрузочная вело-стрессовая методика может быть использована в качестве дополнительного критерия раннего выявления цереброваскулярной дисфункции у пациентов с артериальной гипертензией.

Адекватное увеличение пиковой скорости кровотока в средней мозговой артерии в ответ на физическую нагрузку

у здоровых лиц составляет не менее 30% от исходных значений.

Малопродуктивный нагрузочный рост пиковой скорости кровотока в средней мозговой артерии (менее 30% от исходных значений), у пациентов с артериальной гипертензией I–II степени указывает на снижение вазомоторной цереброваскулярной функции.

Список литературы / References:

- Беленков Ю. Н., Привалова Е. В., Данилогорская Ю. А. и др. Ремоделирование сосудистого русла у больных артериальной гипертензией: возможности диагностики и коррекции // Кардиология 2012; 52 (6): 67–72.
- Олейников В. Э., Хромова А. А., Бурко Н. В. и др. Комплексная оценка показателей ригидности артерий и традиционных факторов риска как предикторов синдрома раннего сосудистого старения // Российский кардиологический журнал 2018, 3 (155): 31–36 DOI: 10.15829/1560-4071-2018-3-31-36
- Naqvi TZ, Lee MS. Carotid intima-media thickness and plaque in cardiovascular risk assessment // J Am Coll Cardiol Img 2014;7:1025–38. doi: 10.1016/j.jcmg.2013.11.014.
- Куликов В. П., Кузнецова Д. В., Заря А. Н. Цереброваскулярная и кардиоваскулярная CO₂ реактивность в патогенезе артериальной гипертензии // Артериальная гипертензия. 2017;23(5):433–446. DOI: 10.18705/1607-419X-2017-23-5-433-446
- Рипп Т. М., Реброва Н. В. Значение оценки цереброваскулярно реактивности при артериальной гипертензии и коморбидной патологии. Артериальная гипертензия. 2021;27(1):51–63. DOI: 10.18705/1607-419X-2021-27-1-51-63.
- Патент № 2515751 C2 Российская Федерация, МПК A61B 8/06. Способ оценки цереброваскулярной реактивности: № 2012129125/14: заявлен 10.07.2012: опубликован 20.05.2014 / В. П. Куликов, Д. В. Кузнецова; заявитель ГБОУ ВПО «Алтайский государственный медицинский университет».
- Куликов В. П., Гатальский К. К., Доронина Н. А. и др. Реакция мозговой гемодинамики на физическую нагрузку умеренной интенсивности. Российский физиологический журнал им. И. М. Сеченова. 2007; 93 (2):161–168.
- Щуров В. А. Скорость мозгового кровотока и работоспособность человека. Российский журнал биомеханики. 2016; 20(4): 352–357. DOI: 10.15593/RZhBiomeh/2016.4.07.
- Атюнина И. В., Ощепкова Е. В., Рогоза А. Н. Особенности церебральной ауторегуляции и реактивности у больных артериальной гипертензией старших возрастных групп с ортостатическими гипотензивными реакциями. Системные гипертензии. 2020; 17 (2): 48–55. DOI: 10.26442/2075082X.2020.2.00214.
- Тавровская Т. В. Велоэргометрия. Санкт-Петербург: ИНКАРТ. 2007; 208 с.
- Lang R. M., Badano L. P., Bierig M., Mor-Avi V., Spencer K. T., Tsang W. et al. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging // J Am Soc Echocardiogr. 2015; 28: 1–39. DOI: 10.1016/j.echo.2014.10.003

Сведения об авторах

Тривоженко Александр Борисович, д.м.н., заведующий отделением функциональной диагностики, профессор кафедры клинической физиологии и функциональной диагностики¹, <https://orcid.org/0000-0001-6449-9523>
Виктор Александрович Авхименко, к.м.н., генеральный директор², <https://orcid.org/0000-0002-2178-601X>

¹ Академия последипломного образования ФГБУ ФНКЦ ФМБА России

² ФГБУ Сибирского федерального научно-клинического центра Федерального медико-биологического агентства России

Автор для переписки:

Тривоженко Александр Борисович, e-mail: borisah@yandex.ru

About authors

Alexandr B. Trivozhenko, Doctor of Medical Sciences, manager of functional diagnostics department, professor¹, <https://orcid.org/0000-0001-6449-9523>
Viktor A. Avkhimenko, PhDs in Medicine, Director General², <https://orcid.org/0000-0002-2178-601X>

¹ Academy of postdegree formation of FSBI FSKC of FMBA of Russia

² FSBI «Siberian Federal Scientific and Clinical Center of Federal Medical and Biological Agency», Sever'sk

Corresponding author:

Alexandr B. Trivozhenko, e-mail: borisah@yandex.ru

Статья поступила / Received 22.10.2023

Получена после рецензирования / Revised 30.10.2023

Принята в печать / Accepted 02.11.2023

Для цитирования: Тривоженко А. Б., Авхименко В. А. Ультразвуковая нагрузочная вело-стрессовая диагностика ранней цереброваскулярной дисфункции у пациентов с артериальной гипертензией. Медицинский алфавит. 2023;(32):42–46. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-42-46>

For citation: Trivozhenko A. B., Avkhimenko V. A. Ultrasonic bicycle exercises diagnostics of early cerebrovascular dysfunction at patients with an arterial hypertension. Medical alphabet. 2023;(32):42–46. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-42-46>



Ультразвуковая визуализация нейролипоматоза срединного нерва: обзор литературы и описание клинического случая

Т. Е. Халилова¹, Д. С. Дружинин²

¹ Медицинский центр «Жемчужина Подолья», Подольск

² ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Ярославль

РЕЗЮМЕ:

Нейролипоматоз — редко встречающаяся доброкачественная опухоль периферических нервов. Чаще вовлекаются нервы верхних конечностей, в большинстве случаев — срединные нервы в области запястного канала. Страдают в основном дети и люди молодого возраста. В статье описан случай фибролипоматозной гамартромы срединного нерва у пациента 24 лет, сопоставлено ультразвуковое изображение с результатами интраоперационного наблюдения. Несмотря на характерную клиническую и патоморфологическую картины этого состояния, вопросы диагностики и дифференциальной диагностики остаются актуальными. Особая роль отводится ультразвуку как неинвазивному, широко распространенному методу прижизненной диагностики состояния периферических нервов. Срединный нерв, благодаря своему поверхностному расположению, доступен для визуализации, а понимание ультразвуковой семиотики фибролипоматозной гамартромы позволит своевременно определять ее на этапе начальных клинических проявлений и избежать ненужных и усугубляющих неврологический дефицит методов обследования, таких как биопсия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нейролипоматоз, синдром карпального канала, фибролипоматозная гамартрома, макродактилия.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов при подготовке данного сообщения.

СОГЛАСИЕ ПАЦИЕНТА. От пациента было получено письменное согласие на публикацию этого случая и любых сопроводительных изображений.

Ultrasound imaging of median nerve neurolipomatosis: literature review and clinical case description

T. E. Khalilova¹, D. S. Druzhinin²

¹ Medical Center "Gemchuzhina Podolia", Podolsk, Russia

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Medical University" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Yaroslavl, Russia

SUMMARY:

Neurolipomatosis is a rare benign tumor of peripheral nerves. The nerves of the upper extremities are more often involved, in most cases, the median nerves in the carpal canal. Children and young people suffer mainly. The article describes a case of fibrolipomatous hamarthroma of the median nerve in a 24-year-old patient, the ultrasound image is compared with the results of intraoperative observation. Despite the characteristic clinical and pathomorphological picture of this condition, the issues of diagnosis and differential diagnosis remain relevant. A special role is given to ultrasound as a non-invasive, widespread method of lifetime diagnosis of the condition of peripheral nerves. The median nerve, due to its superficial location, is available for visualization, and understanding the ultrasound semiotics of fibrolipomatous hamartoma will allow timely determination of it at the stage of initial clinical manifestations and avoid unnecessary and aggravating neurological deficits of examination methods such as biopsy.

KEYWORDS: neurolipomatosis, carpal tunnel syndrome, fibrolipomatous hamarthroma, macrodactyly.

CONFLICT OF INTEREST. The authors declare no conflict of interest.

PATIENT CONSENT. Written consent was obtained from the patient for publication of this case and any accompanying images.

ВВЕДЕНИЕ. Нейролипоматоз (липоматоз нерва) — редко встречающееся заболевание, относящееся к доброкачественным мезенхимальным опухолям, характеризующееся пролиферацией жировой и фиброзной ткани в эпиневрии между и вокруг пучков периферических нервов [1]. В литературе встречается множество терминов, которыми обозначают нейролипоматоз: фибролипоматозная гамартрома, липофиброма, невральная фибролипома, жировая инфильтрация нерва, периневральная липома. В классификации опухолей мягких тканей ВОЗ от 2002 г. все эти названия объединены в липоматоз нерва [1, 2, 3].

Впервые это поражение описал хирург — ортопед М.Л. Мейсон в 1953 году в обзоре опухолей кисти как веретенообразный отек периферического нерва [4]. Это медленно прогрессирующее заболевание. Встречается преимущественно у детей и молодых людей в первые три десятилетия жизни [4, 5]. До 80% случаев — это нейролипоматоз срединного нерва в области запястья, ладонной поверхности предплечья и кисти [5, 6]. Также описаны случаи нейролипоматоза локтевого, лучевого, подошвенного, малоберцового, седалищного, икроножного нервов и плечевого сплетения [5, 7–11]. Чаще это одностороннее поражение, но встречаются случаи дву-

сторонней гамартромы [5, 12, 13]. Возможно развитие липоматоза нескольких нервов одной конечности [14].

Клинический случай. Пациент М., 24 года — обращение по поводу онемения и слабости в I–III пальцах левой кисти, нарушения мелкой моторики в левой кисти, слабости приведения большого пальца левой кисти, гипотрофии мышц основания большого пальца. С раннего детского возраста частые эпизоды парестезий в пальцах во время нагрузки на кисть (катание на велосипеде и др). Жалобы прогрессировали вплоть до подросткового возраста, усилились ночные парестезии, присоединилась неловкость в пальцах левой кисти, нарушение мелкой моторики, недержание предметов в левой руке, а также тупая ноющая боль в области левого запястья. Функция поверхностного и глубокого сгибателей пальцев, лучевого и локтевого сгибателей запястья сохранна. Таким образом, клиническая картина соответствовала вовлечению срединного нерва на уровне запястья. При проведении электромиографии обнаружено падение амплитуды вызванного моторного ответа до 1,3 мВ, потенциал действия срединного нерва при антидромной методике стимуляции с II пальца не зарегистрирован, дистальная латентность при расстоянии 80 мм — 5,6 мс — электрофизиологическая картина, указывающая на локальное

нарушение проведения по срединному нерву на уровне запястья (рис. 1). В анамнезе у пациента не было обнаружено традиционных факторов риска для развития синдрома карпального канала. При проведении УЗ-исследования выявлено значительное увеличение площади поперечного сечения срединного нерва примерно 80–110 мм² с измененной структурой — единичные гипэхогенные (анаэхогенные) округлые зоны, окруженные гиперэхогенной прослойкой. Протяженность изменений примерно +100 мм проксимальнее уровня запястной складки, выше средней трети предплечья срединный нерв имеет нормальную сонографическую картину, дистальнее запястной складки под ладонным апоневрозом, срединный нерв имеет плавное сужение до нормальных величин. С учетом изменения сонографической структуры нерва, наличия клинических признаков поражения нерва на уровне карпального канала, медленном прогрессировании состояния — принято решение о проведении декомпрессии нерва путем иссечения общего удерживателя сгибателя запястья. Во время хирургической декомпрессии при макроскопической оценке срединного нерва выявлено значительное увеличение его размеров относительно сухожилий с гиперемией эпинеургии (рис. 2). Нерв не имел спаянности с окружающими тканями и инфильтративного роста. Состояние параневральных тканей было удовлетворительным. Проведено иссечение запястной связки, а также сопутствующая эпиневриотомия. В диагностических целях взята биопсия срединного нерва. Гистопатологическое исследование показало наличие в образце зрелых адипоцитов на фоне пролиферации соединительной ткани.

В ранний послеоперационный период пациент отметил уменьшение парестезий и болевого синдрома в области запястья.

Обсуждение. Клиническая картина нейролипоматоза складывается из нарушения моторной и сенсорной функции соответствующего нерва, что нередко напоминает компрессионную нейропатию. Так как это медленно прогрессирующее заболевание, симптомы могут длительное время ограничиваться отеком мягких тканей в месте расположения гамартмы без неврологического дефицита [15]. В 30–60% случаев фибролипоматозная гамартома сочетается с макродактилией (макродактилия 1 типа) — диффузным разрастанием костей и/или мягких тканей сегмента конечности в зоне иннервации пораженного нерва [16, 17]. Макродактилия 1 типа всегда сочетается с липоматозом нерва, поэтому в литературе эти термины могут встречаться как синонимы [17].

Этиология нейролипоматоза на сегодняшний день не уточнена. Предполагается как врожденный, так и приобретенный характер

заболевания. [5, 18]. Сторонники теории приобретенной этиологии фибролипоматозной гамартмы предполагают в основе заболевания наличие острой или хронической травмы нервов [18]. В пользу врожденного характера заболевания свидетельствуют начало в детском и молодом возрасте, а также выявление случаев связи нейролипоматоза с мутациями гена PIK3CA, в независимости от наличия или отсутствия макродактилии [17, 18]. Но есть описания случаев нейролипоматоза с макродактилией с отсутствием мутаций в гене PIK3CA, что не исключает вовлеченность в патогенез заболевания других генов [19]. Исследования в этой области ограничены его редкой встречаемостью [19].

Диагностика. Золотым стандартом визуализации нейролипоматоза считается МРТ [15]. Но длительное время проведения, высокая стоимость, серьезные артефакты и сложность реконструкции нерва ограничивают его широкое использование. В то же время ультразвуковое исследование высокого разрешения является недорогим и легко доступным методом, обеспечивающим динамическую визуализацию [20].

Ультразвуковая семиотика фибролипоматозной гамартмы описана как увеличенных размеров периферический нерв (площадь поперечного сечения может превышать нормальные значения в 10 раз). На аксиальном срезе имеет вид «коаксиального кабеля» или «печенья с кусочками шоколада», который представляет собой утолщенные пучки аксонов с гипэхогенным сигналом, разделенные вкраплениями гиперэхогенного жира, вместе покрытые толстым эпиневрием; иногда не имеют четко выраженной капсулы и плохо отделяемы от окружающих тканей. На продольном — нервные гипэхогенные волокна чередуются с гиперэхогенной жировой тканью и напоминают «спагетти» [16, 19]. Характерная нейровизуализационная картина заболевания, выявляемая на УЗИ и подтвержденная МРТ, в большинстве случаев позволяет избежать проведения биопсии с диагностической целью [3, 21, 22].

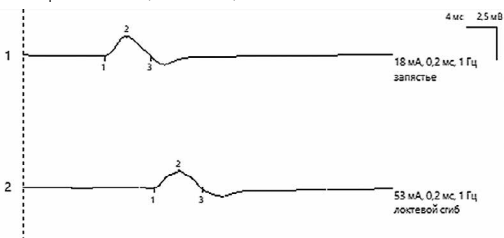
Дифференциальная диагностика. Учитывая массивные разрастания, дифференциальная диагностика проводится с липосаркомой, которая имеет отличную ультразвуковую картину и часто инфильтративный рост, и нервно — мышечной хористой, характеризующейся наличием мышечной ткани в эпинеургии [19].

Лечение. При выявлении нейролипоматоза, как правило, выполняются вмешательства по декомпрессии нерва, что ведет к уменьшению выраженности симптомов [3, 19, 21]. В связи с прогрессирующим характером заболевания возможно развитие рецидивов, требующих повторных вмешательств [3]. В части случаев

Рисунок 1. Исследование проведения по левому срединному нерву

СРВ моторная

лев., Abductor pollicis brevis, Medianus, C8 T1



Параметры М-ответа (амплитуда: негативный пик)

№	Точка стимуляции	Расст., мм	Лат., мс	Ампл., мВ	Норма ампл., мВ	Откл. ампл., %	Длит., мс	Скор., м/с	Норма скор., м/с	Откл. скор., %
нр., Abductor pollicis brevis, Medianus, C8 T1										
1	Запястье	80	5,6	1,3	7,0	-79,0	6,2			
2	Локтевой сгиб	210	17,6	1,1	7,0	-82,0	6,5	42,0	60,0	-30,0

СРВ сенсорная; Антидромно

лев., n. Medianus



Потенциал действия нерва (амплитуда: негативный пик)

№	Точка стимуляции (отведения)	Расст., мм	Лат., мс	Ампл., мВ
лев., n. Medianus				
1	Запястье	0		0

выполняется внутриневральная диссекция для уменьшения объема нерва, что может привести к развитию выраженного неврологического дефицита [3]. Описаны случаи иссечения срединного нерва с последующей реконструкцией трансплантатом икроножного нерва, имеющих хорошее восстановление [2]. Но резекция нерва также не предотвращает рецидив, так как в долгосрочном наблюдении отмечено прогрессирование заболевания в местах проксимальной и дистальной резекции [3, 23]. Таким образом, в подавляющем большинстве случаев хирургического лечения нейролипоматоза предпочтение отдается операции по декомпрессии нерва [3], более радикальные вмешательства возможны только в случае рецидивирующего течения, а также наличия прогрессирующего грубого моторного дефицита [3, 4], и должны рассматриваться индивидуально в каждом конкретном случае.

Пациентам с макродактилией проводится уменьшение объема мягких тканей, эпифизиодез для остановки продольного роста и ампутация нефункциональных пальцев [17].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Мы представили случай липоматоза срединного нерва у молодого пациента, который электрофизиологически был подтвержден как синдром карпального канала. Мы обратили внимание на характерную ультразвуковую картину, описанную в литературе как «коаксиальный кабель» или «печенье с кусочками шоколада» при аксиальном и «спагетти» при продольном сканировании. Несмотря на отсутствие возможности радикального лечения данного поражения его ранняя диагностика позволяет облегчить состояние путем проведения своевременной декомпрессии нерва.

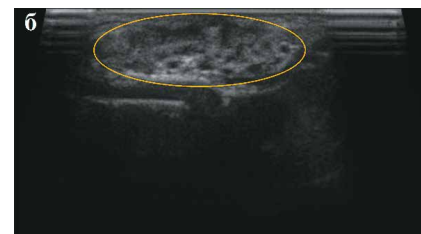


Рисунок 2. Сопоставление интраоперационной макроскопической картины и ультразвукового изображения срединного нерва на уровне запястья: а — срединный нерв слева (интраоперационная фотография); б — УЗ-изображение срединного нерва на уровне запястья

Список литературы / References:

- Fletcher C. D. M., Krishnan K., & Mertens U. F. (2002). Pathology and Genetics of Tumours of Soft Tissue and Bone.
- Prabhu A., Anil R., & Kumar N. (2020). Fibrolipomatous Hamartoma of the Median Nerve: An Outcome of Surgical Management in Six Consecutive Cases. *Nigerian Journal of Surgery: Official Publication of the Nigerian Surgical Research Society*, 26(2).
- Marek T., Spinner R. J., Syal, A., Wahood W., & Mahan M. A. (2019). Surgical Treatment of Lipomatosis of Nerve: A Systematic Review. *In World Neurosurgery* [Vol. 128]. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.04.110>.
- Okubo T., Saito T., Mitomi H., Takagi T., Torigoe T., Suehara Y., Katagiri H., Murata H., Takahashi M., Ito I., Yao T., & Kaneko K. (2012). Intraneural lipomatous tumor of the median nerve: Three case reports with a review of literature. *In International Journal of Surgery Case Reports* [Vol. 3, Issue 9]. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2012.05.007>.
- Senger J. L., Classen D., Bruce G., & Kanthan R. (2014). Fibrolipomatous hamartoma of the median nerve: A cause of acute bilateral carpal tunnel syndrome in a three-year-old child: A case report and comprehensive literature review. *In Canadian Journal of Plastic Surgery* [Vol. 22, Issue 3]. <https://doi.org/10.1177/229255031402200307>.
- Osterloh J., Agaimy A., Fried F., Stoehr R., Janka R., Arkudas A., & Horch R. E. (2023). PIK3CA mutation testing as a valuable molecular surrogate for lipomatosis of the median nerve: clinicopathological and molecular analysis of six cases. *Virchows Archiv*. <https://doi.org/10.1007/s00428-023-03540-7>.
- Ebner B. A., Eschbacher K. L., Jack M. M., Dragana M., Spinner R. J., & Giannini C. (2022). Brachial plexus lipomatosis with perineural pseudodion bulb formation: Result of a mosaic PIK3CA mutation in the para-axial mesoderm state. *In Brain Pathology* [Vol. 32, Issue 4]. <https://doi.org/10.1111/bpa.13057>.
- Khadda S., Adhikari P., Regmi P. R., Timilsina B., Thapa A. S., Panta B. R., & Bhandari S. (2022). Lipofibromatous hamartoma of sciatic nerve: A case report. *Annals of Medicine and Surgery*, 81. <https://doi.org/10.1016/j.amsu.2022.104542>.
- Dhinsa B. S., Lidder S., & Abbasian A. (2016). Atypical Presentation of Fibrolipomatous Hamartoma of Superficial Peroneal Nerve. *Journal of Foot and Ankle Surgery*, 55(5). <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2016.01.007>.
- Parihar A., Verma S., Senger M., Agarwal A., Bansal K., & Gupta R. (2014). Fibrolipomatous hamartoma of sural nerve: A new site of an unusual lesion. *Malaysian Journal of Pathology*, 36(1).
- Yadav T., Mirza G., Khara P., & Garg P. (2020). Macrodystrophia lipomatosa with fibrolipomatous hamartoma of medial plantar nerve and lipomatosis of thigh. *Sudanese Journal of Paediatrics*. <https://doi.org/10.24911/sjp.106-1570297771>.
- Michel C. R., Dijanic C., Woernle M., Ferricola J., & Grossman J. (2021). Carpal Tunnel Syndrome Secondary to Fibrolipomatous Hamartoma of the Median Nerve. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.15363>.
- Meyer B. U., Röricht S., & Schmitt R. (1998). Bilateral fibrolipomatous hamartoma of the median nerve with macrocheiria and late-onset nerve entrapment syndrome. *Muscle and Nerve*, 21(5). [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4598\(199805\)21:5<656::AID-MUS16>3.0.CO](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4598(199805)21:5<656::AID-MUS16>3.0.CO).
- Parry A. H., Wani H. A., & Shaheen F. A. (2021). Fibrolipomatous Hamartoma of Median and Ulnar Nerve: A Rare Combination. *Neurology India*, 69(1). <https://doi.org/10.4103/0028-3886.310107>.
- Ranjana R., Kumar R., Jeyaraman M., & Kumar S. (2021). Fibrolipomatous Hamartoma (FLH) of Median Nerve: A Rare Case Report and Review. *In Indian Journal of Orthopaedics* [Vol. 55]. <https://doi.org/10.1007/s43465-020-00149-9>.
- Francken K., Jager T., Vanlauwe J., de Mey J., Shahabpour M., & de Maeseneer M. (2022). Ultrasound of Lipomatosis of Nerve Associated with Macroductyly: 'Spaghetti and Chocolate Cookie' Appearance. *Journal of the Belgian Society of Radiology*, 106(1). <https://doi.org/10.5334/jbsr.2849>.
- Blackburn P. R., Milosevic D., Marek T., Folpe A. L., Howe B. M., Spinner R. J., & Carter J. M. (2020). PIK3CA mutations in lipomatosis of nerve with or without nerve territory overgrowth. *Modern Pathology*, 33(3). <https://doi.org/10.1038/s41379-019-0354-1>.
- Soffar M. M., Fadall G., Ghalab M. A., & Abouzaid A. M. (2021). Lipofibromatous hamartoma of digital nerve: A case report. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*, 9(12). <https://doi.org/10.1097/GOX.00000000000003981>.
- Marek T., Mahan M. A., Carter J. M., Howe B. M., Bartos R., Amrami K. K., & Spinner R. J. (2021). What's known and what's new in adipose lesions of peripheral nerves? *In Acta Neurochirurgica* [Vol. 163, Issue 3]. <https://doi.org/10.1007/s00701-020-04620-2>.
- Xu P., Lu B., Deng H. P., Mi Y. R., Yin C. X., Ding Y., Shao X. Z., Zhang G. S., & Xiu X. F. (2020). Ultrasonographic Diagnosis of Lipomatosis of Nerve: A Review of Ultrasonographic Finding for 8 Cases. *World Neurosurgery*, 139. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2020.04.116>.
- Saida T., Sasaki K., Yoshida M., Kamimaki T., & Nakajima T. (2023). Fibrolipomatous hamartoma with macroductyly and carpal tunnel syndrome. *Radiology Case Reports*, 18(1). <https://doi.org/10.1016/j.radcr.2022.10.085>.
- Whittle C., Schonsted V., & Schiappacasse G. (2014). Fibrolipomatous hamartoma and its ultrasound diagnosis case series and review of the literature. *In Ultrasound Quarterly* [Vol. 30, Issue 4]. <https://doi.org/10.1097/RUQ.0000000000000051>.
- Mahan M. A., Amrami K. K., Niederhauser B. D., & Spinner R. J. (2013). Progressive nerve territory overgrowth after subtotal resection of lipomatosis of the median nerve in the palm and wrist: A case, a review and a paradigm. *In Acta Neurochirurgica* [Vol. 155, Issue 6]. <https://doi.org/10.1007/s00701-013-1707-z>.

Сведения об авторах

Халилова Татьяна Евгеньевна, заведующая отделением неврологии и психиатрии¹, ORCID: 0009-0005-7699-910X

Дружинин Д. С., д.м.н., доцент кафедры нервных болезней с медицинской генетикой и нейрохирургией², ORCID: 0000-0002-6244-0867

¹ Медицинский центр «Жемчужина Подолья», Подольск

² ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Автор для переписки:

Халилова Татьяна Евгеньевна, E-mail: tatyana.khalilova@mail.ru

About authors

Tatiana Evgenievna Khalilova, Head of the Department of Neurology and Psychiatry¹, ORCID: 0009-0005-7699-910X

Druzhinin D. S., Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Department of Nervous Diseases with Medical Genetics and Neurosurgery², ORCID: 0000-0002-6244-0867

¹ Medical Center "Gemchuzhina Podolia", Podolsk, Russia

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Yaroslavl State Medical University" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Yaroslavl, Russia

Corresponding author:

Tatiana Evgenievna Khalilova, E-mail: tatyana.khalilova@mail.ru

Статья поступила / Received 17.10.2023

Получена после рецензирования / Revised 24.10.2023

Принята в печать / Accepted 25.10.2023

Для цитирования: Халилова Т. Е., Дружинин Д. С. Ультразвуковая визуализация нейролипоматоза срединного нерва: обзор литературы и описание клинического случая. Медицинский алфавит. 2023;(32):47–49. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-47-49>

For citation: Khalilova T. E., Druzhinin D. S. Ultrasound imaging of median nerve neurolipomatosis: literature review and clinical case description. Medical alphabet. 2023;(32):47–49. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-47-49>

Использование инфракрасной термографии в реабилитации после пластики передней крестообразной связки

М. Н. Величко¹, А. В. Штурмин¹, А. Ю. Терсков¹, А. С. Самойлов¹, А. М. Белякова²

¹ ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А. И. Бурназяна ФМБА России

² ООО «Центр изучения систем здравоохранения»

РЕЗЮМЕ:

Цель исследования: провести аналитический обзор современных источников научной литературы, посвященных вопросам использования инфракрасной термографии в реабилитации после пластики передней крестообразной связки.

Описание материалов и методов: проведен анализ зарубежных и отечественных источников по данной теме.

Результаты: проведенный нами анализ свидетельствует о том, что при помощи метода инфракрасной термографии возможно эффективно провести количественную оценку ассимиляции нагрузки с возможностью ее оперативно регулировать, что является актуальным вопросом послеоперационного ведения пациентов после пластики передней крестообразной связки и требует дальнейшего изучения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инфракрасная термография, передняя крестообразная связка, послеоперационная реабилитация.

The use of infrared thermography in rehabilitation after anterior cruciate ligament surgery

M. N. Velichko¹, A. V. Shturmin¹, A. Y. Terskov¹, A. S. Samoilov¹, A. M. Belyakova²

¹ Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency

² LLC "Center for the Study of Health Systems"

SUMMARY:

The aim of the research: to conduct an analytical review of modern scientific literature on the use of infrared thermography in rehabilitation after anterior cruciate ligament surgery.

Materials and methods: an analysis of foreign and domestic sources on this topic was carried out.

Results: our analysis indicates that using the infrared thermography method it is possible to effectively quantify load assimilation with the ability to quickly regulate it, which is a pressing issue in the postoperative management of patients after anterior cruciate ligament surgery and requires further study.

KEY WORDS: infrared thermography, anterior cruciate ligament, postoperative rehabilitation.

В настоящее время имеется весьма ограниченный перечень работ, посвященных использованию термографии, в реабилитации после пластики ПКС. Между тем метод привлекателен именно количественной оценкой ассимиляции нагрузки с возможностью ее оперативно регулировать.

Самая крупная работа в указанном направлении, являющаяся докторской диссертацией [1] включала всего 25 человек. Результаты реабилитации были отслежены в течение 18 месяцев после хирургического вмешательства. Основные выводы данной работы сводились к следующему. В оперированной конечности температура повышалась в ходе короткого периода реабилитации только по задней поверхности области коленного сустава. Разница температур травмированной и не травмированной конечностей сохраняется после процесса реабилитации, особенно в задней части коленного сустава, где температура не травмированной ноги значимо выше. Температура нижних конечностей через 1.5 года после окончания реабилитации выше, чем сразу после нее. Более того, через 18 месяцев после реабилитации происходит восстановление температурной симметрии. Иными словами, через 18 месяцев после окончания реабилитации температура обеих ног стала одинаковой.

В одной публикации, посвященной проблемам термографии в практической медицине [2] была представлена эволюция термографической картины после пластики передней крестообразной связки у регбиста со дня травмы до возвращения в спорт. Уникальность этого случая, по мнению авторов, заключалась

в том, что в течение всего процесса регбист находился под пристальным наблюдением с помощью инфракрасной термографии. Перед операцией (с 12 по 94 день) испытуемый следовал прогрессивной тренировочной программе пять дней в неделю с изометрическими и концентрическими упражнениями для подготовки мышц конечностей и повышения общего физического статуса. После операции программа реабилитации включала постепенную адаптацию к увеличению количества движений и преследовала цель уменьшить воспаление, усилить мышцы, и обрести уверенность в движениях. Оценка результатов термографического контроля велась в три этапа. На первом, с момента травмы до операции наблюдали регулярные вариации разницы кожных температур между конечностями, от наибольшей (+1,20 °C на 1-й день) до наименьшей разницы (+0,08 °C на 82-й день). На втором, после операции (95-й день) авторы обнаружили уменьшение боли, в сочетании с сильной зависимостью кожной температуры в течение первых недель реабилитации от выполняемых упражнений. На третьем этапе, за несколько недель до возвращения в спорт (день 175), спортсмен снова почувствовал "хруст" в коленном суставе во время своей первой игровой тренировки. Разница температур в пользу травмированной ноги увеличилась до +1,36 °C. Боль усилилась, но, к счастью, трансплантат передней крестообразной связки поврежден полностью не был. Это позволило возобновить реабилитацию, которая завершилась на 242-й день. Авторы заключили, что результаты термографического исследования были особенно полезны в принятии решения о возврате в спорт. Они

отметили, что в виду того, что тип температурных изменений после повторной травмы сразу был отнесен к реактивному воспалению, он помог врачам оптимизировать процесс реабилитации. Кроме того, сам пациент сообщил, что термография помогла ему визуализировать эволюцию восстановления и мотивировала его продвигаться, несмотря на повторную травму.

Таким образом, усвоение тренировочной нагрузки с изучением теплового отклика на тренировку является наиболее перспективным направлением инфракрасной термографии. Если мы сможем узнать, какие упражнения и в какой степени вызывают термографический отклик, например, коленного сустава, то в сочетании с другими индикаторами нагрузки, такими как реактивный отек, субъективное болевое восприятие, компьютерная шагометрия и измерение общих реакций, например, частоты сердечных сокращений, может дать нам индивидуальный подход к построению восстановительной программы спортсмена. Другими словами, если будет известно какой термографический отклик дает та или иная реабилитационная процедура, то можно будет индивидуально подойти к коррекции реабилитационной программы.

Особый интерес в связи с вышесказанным, всегда представляла термографическая оценка воспаления в коленном суставе.

В одном из самых ранних исследований с помощью прообраза современной термографии — радиометрии, удалось продемонстрировать эффект противовоспалительного препарата, вводимого перорально. Радиометрия оказалась достаточно точным средством измерения выраженности воспаления и противовоспалительного эффекта лекарств. Она позволяла получать результат быстрее и с меньшими затратами, чем другие методы количественной оценки воспаления у человека и животных [3].

Ring E.F.J., Collins A.J. и Cosh J.A. (1970) [4] выполнили замеры физических признаков воспаления, наблюдаемых у пациентов с ревматоидным артритом и другими формами воспалительных заболеваний суставов. Они проводили измерение температуры кожи над пораженным суставом с помощью радиометрии и сравнивали результаты с некоторыми биохимическими характеристиками суставного выпота. В то время, на заре использования метода, авторы лишь предполагали, что будет возможно получить инфракрасное изображение воспаленной области, отображаемое в цвете рутинным образом [5].

Упомянутое выше исследование показало, что даже относительно примитивный метод радиометрической фиксации температуры кожи воспаленной области, делает возможным отслеживание физических и биохимических изменений в суставе.

Повышение температуры над областью сустава из-за воспалительного процесса может частично объясняться метаболическими изменениями, причем основным фактором, способствующим этому, является местное увеличение кровотока. В связи с этим, метод может применяться не только для скрининга эффективности применения противовоспалительных препаратов, но и в случаях, требующих любого иного измерения местного кровотока.

Клиницисты, изучающие ревматические заболевания, долгое время использовали температуру поверхности суставов как показатель степени синовиальной реакции. Многие термины, используемые в ревматологии, подразумевают оценку температуры в тканях суставов, а именно «острый горячий подагрический сустав», «холодный отек хронического ревматоидного артрита», так называемый «перегрев от трения» суставов при

остеоартрозе после физической нагрузки. Интересно в связи с этим понять, как соотносится температура кожи над суставом с данными внутрисуставной термометрии. В исследовании [6] замеры температуры проводились в суставах здоровых добровольцев и пациентов с артритом. Все исследования проводились в комнате со средней температурой 24 °C. Субъекты отдыхали в течение, по крайней мере, получаса до исследований. Кожу обрабатывали раствором антисептика. Игла 19 размера со шприцем с анестетиком вводилась в суставное пространство через доступ под надколенником. После местной анестезии шприц удаляли и тонкую медную термопару пропускали через иглу на глубину нескольких дюймов, чтобы она располагалась точно в суставе. Выводы свидетельствуют о том, что количество выпота, по-видимому, мало влияет на температуру сустава. Оно влияет на скорость изменения этой температуры. В целом были получены хорошие показатели корреляции ($r=0,65$) внутрисуставной температуры с температурой кожи над суставом, измеренной при помощи инфракрасной термографии. При этом следует понимать, что нормы температуры здоровых коленных суставов до сих пор не определены. Температура кожи, полученная к настоящему времени у «нормальных» субъектов, колеблется от 29,5 °C до 31,9 °C. Внутрисуставные температуры составляют от 31,4 °C до 32,8 °C. При дегенеративных заболеваниях суставов оценить степень активности воспалительного процесса тем более затруднительно. У пациентов с остеоартрозом в большинстве случаев была нормальная температура кожи над суставом, но температура внутри сустава была умеренно повышенной. В случаях хронической подагры и синдрома Рейтера температура кожи также была нормальной, хотя температура внутри суставов была определенно повышена. Данные указывают на то, что чрезвычайно трудно оценить низкую степень клинической активности воспалительного процесса в суставе. При дегенеративных заболеваниях суставов отмеченное повышение температуры суставов, по-видимому, более тесно связано с восприятием пациента и количеством жировой ткани вокруг колена, чем с клинической активностью, определяемой при внешнем осмотре. Однако медленное падение температуры кожи, наблюдаемое при длительном отдыхе у этих пациентов, означает, что локальная гипертермия скорее реальность и связана с «эффектом трения» при остеоартрозе.

Другие авторы [7] измеряли температуру области коленного сустава и получили в среднем показатель 25,83 °C в случае здоровых коленей, в то время как в случае остеоартроза средняя температура составила 28,75 °C. Эта разница почти на 2 °C намного превышает точность измерения при помощи инфракрасной термографии, что может сделать его эффективным средством надежной визуальной диагностики этого заболевания. После нагрузки наблюдается увеличение средней температуры кожи коленных суставов на 1,15 °C для группы с остеоартрозом и на 2,31 °C для группы здоровых людей. Это объясняется тем, что изначально температура поверхности колена была выше у пациентов с остеоартрозом. В течение пятиминутного отдыха указанная разница температур сохранялась.

Bhowmik с соавт. изучали с помощью термографии воспаление в коленных суставах при остеоартрозе и ревматоидном артрите [8]. Они обнаружили, что у пациентов с ревматоидным артритом наблюдалось симультанное двустороннее повышение температуры, в то время как при остеоартрозе наблюдалось повышение температуры кожи больше над одним из суставов.

Denoble с соавт. провели исследование термограмм у пациентов с остеоартрозом коленного сустава [9]. Участники были отобраны в соответствии с рентгенографическими критериями Келлгрена-Лоуренса соответствующими II–III ст. Температура колена, измеренная над надколенником, была выше для пациентов со стадией III (30,5 °C), чем для случаев II стадии (30,1 °C). Хотя результаты не были статистически значимыми, связь между температурой колена и тяжестью патологии была обнаружена, как и в предыдущем исследовании.

Еще один интересный аспект оценки воспаления в суставе, это его взаимосвязь с восприятием боли. Powite с соавт. [10] изучали взаимосвязь между болью и степенью воспаления суставов, измеренную с помощью инфракрасной термографии, у детей от 4 до 16 лет с ювенильным ревматоидным артритом. Боль оценивали с помощью визуальной аналоговой шкалы сами дети, затем их родители и, наконец, детский ревматолог сразу после физического осмотра. Была значительная корреляция между оценкой боли, определенной родителями и врачами, и температурой больного сустава, измеренной с помощью инфракрасной термографии. Hegedüs B. с соавторами оценивали терапевтический эффект лазеротерапии при остеоартрозе коленного сустава с помощью термографии [11]. Это исследование показало значительное изменение температуры кожи коленного сустава, измеренное с помощью термографии у пациентов, которые испытали облегчение боли.

Kwon Y. с соавт. сравнили обезболивающий эффект пчелиного яда с традиционной иглоукалыванием у пациентов с остеоартрозом коленного сустава [12]. Сравнение было основано на инфракрасной термометрии и снижении уровня боли. После 4 недель лечения у пациентов, получавших пчелиный яд, боль в колене и температура кожи были ниже, чем у тех, кто получал традиционное иглоукалывание.

Способность 1% раствора гиалуроновой кислоты уменьшать боль после операции на коленном суставе у пациентов с остеоартрозом исследовалась в Zazirny с соавт. [13]. Интенсивность боли по ВАШ и температура кожи над больным суставом, измеренная с помощью термографии, показали, что 5-недельное лечение препаратами гиалуроновой кислоты улучшило переносимость операции по поводу остеоартроза. В целом, эти исследования показывают, что термография может быть эффективным методом оценки воспалительной реакции и боли в коленных суставах.

Термографическая оценка ответа конечностей на физическую нагрузку представляет особый интерес в реабилитации. Интересные результаты в данном ключе приводит Cuevas I. F. в своей докторской диссертации [14]. Температура кожи, измеренная при помощи термографии, демонстрирует специфическую реакцию на аэробные тренировки. При этом реакция сильно зависит от области исследования.

Влияние аэробных упражнений на температуру кожи суставных областей заметно отличается от реакции мышц. Температура кожи над суставами заметно увеличивается сразу после тренировки, возвращаясь к значениям покоя через 2–4 часа после окончания упражнения, и остается стабильной в течение периода восстановления.

Аэробная нагрузка вызывает изменения температуры кожи над суставами, которые могут длиться до 3 часов. Температурная динамика может быть частью количественной оценки восстановления спортсмена и индикатором ассимиляции нагрузки.

Температура кожи над суставами демонстрирует специфическую реакцию на силовые и скоростные тренировки.

Влияние силовых упражнений на температуру кожи в области суставов гораздо более умеренное, чем в мышцах, без существенных различий между финальным и исходным значениями.

В общем температура кожи над суставами сразу после упражнений при скоростных тренировках имеет тенденцию к снижению независимо от части тела (дистальной или проксимальной) и функции (главных мышц, вспомогательных или суставов).

Диагностика, лечение, восстановление и реабилитация спортсменов перенесших травмы подразумевает большие экономические затраты. К примеру, в Испанской профессиональной футбольной лиге, каждый клуб первого дивизиона тратит в среднем более 7,5 миллионов евро за сезон только на оплату в дни отпуска по болезни, без учета косвенных расходов [15]. В этом смысле, инфракрасная термография является инструментом с огромным потенциалом. С помощью термографии врачи могут получить быструю и объективную информацию о физическом состоянии спортсмена и реабилитационном потенциале [16].

Авторы [14] идут дальше, и предлагают при периодическом термографическом мониторинге спортсмена создавать тепловой профиль как для конкретного субъекта, так и спортивной дисциплины или команды в целом. Другими словами, может быть создана «карта» с нормальными тепловыми характеристиками каждой области интереса, такими как, например, передняя и задняя часть ног футболиста. Любое ненормальное повышение температуры в обеих ногах или одной конкретной области [17,18], а также длительные изменения или более интенсивно выраженные, чем обычно у спортсмена аномалии кожной температуры, могут быть связаны с реактивным воспалительным процессом [19]. Такая ситуация может возникать в результате нагрузки, превышающей ассимиляционные способности спортсмена. Также температурные аномалии могут быть связаны с неправильным течением процесса восстановления, например, недоучетом сбалансированного питания, часов отдыха или специальных физиотерапевтических процедур.

Учитывая концепцию анатомической пропорциональности, тепловой отклик между двумя контралатеральными частями тела, должен быть симметричным [20]. Тепловой мониторинг симметричных частей тела, показывает, что приемлемой разницей температур можно считать разницу до 0,25 °C [21]; 0,4 °C [22]; 0,5 °C [23,24] или 0,62 °C [25]. Разница выше этих значений может указывать на то, что регион с более высокой или более низкой температурой, может содержать источник воспалительных (гипертермия) [26,27,28,29] процессов или дегенерации (гипотермия) [30,31,32,33,34].

У спортсменов часто встречаются изменения, связанные с дегенерацией и ответной реакцией на нее, например, случаи тендинита ахиллова сухожилия у прыгунов; рецидивирующий эпикондилит у теннисистов, более известный как «теннисный локоть», или типичный бурсит плеча у пловцов. Эти поражения могут вызывать изменения температуры кожи, поэтому термография со своей особой чувствительностью к этим паттернам может помочь в мониторинге процесса их лечения [35].

Ранее была предложена шкала «уровня внимания», которой авторы [14] рекомендовали придерживаться в зависимости от зарегистрированных разностей температур коленных суставов (таблица 1).

Таблица 1
Уровень значимости повреждения тканей
в зависимости от разницы температур
между поврежденной и контралатеральной конечностью
или по результатам измерений одной зоны в динамике

Разница температур	Уровень значимости
0.4 °C	Норма
0.5° — 0.7 °C	Требуется мониторинг
0.8° — 1.0 °C	Требуется использования стратегии предупреждения травм
1.1° — 1.5 °C	Тревога
1.6 °C	Значительное повреждение

Закключение. Травмы представляют серьезную проблему в спорте, сопряженную с высокими экономическими затратами на диагностику, лечение и восстановление. Использование инфракрасной термографии в этом контексте несет значительные преимущества, предоставляя врачам быструю и объективную информацию о состоянии спортсменов и последствиях травм. Этот метод особенно полезен в мониторинге лечения внутрисуставных поражений и может эффективно применяться в реабилитации после операций, таких как пластика передней крестообразной связки.

Список литературы / References:

- Cano S.P. Use of infrared thermography as a tool to monitor skin temperature along the recovery process of an anterior cruciate ligament surgery, International Doctorate thesis, Madrid, 2016.
- Quesada J. I. Priego (ed.). Application of Infrared Thermography in Sports Science, Biological and Medical Physics, Biomedical Engineering, DOI 10.1007/978-3-319-47410-6 Springer International Publishing AG 2017.
- Collins A. J., Ring E. F. J. Measurement of inflammation in man and animals by radiometry Pharmacology Group, School of Pharmacy, University of Bath Summary, Br. J. Pharmac. (1972), 44, 145–152.
- Ring, E. F. J. & Cosh, J. A. (1968). Skin temperature measurement by radiometry, Br. med. J., 4, 448. (Received July 20, 1971)
- Hardy, J. D. (1934). The radiation of heat from the human body. J. clin. Invest., 13, 615–620.
- Horvath Steven M., Hollander Joseph L. Intra-articular temperature as a measure of joint reaction, J Clin. Invest. 1949; 28(3):469–473. <https://doi.org/10.1172/JCI102092>
- Arfaoui A., Bouzid A. M., Pron H. Application of Infrared Thermography as a Diagnostic Tool of Knee Osteoarthritis Journal of Thermal Science and Technology, Vol.7, number 1, January 2012 PP. 227–235 DOI: 10.1299/jtst.7.227
- Bhowmik MK, Bardhan S, Das K, Bhattacharjee D, Nath S. Pain related inflammation analysis using infrared images. Proc SPIE 2016;9861:986116.
- Denoble AE, Hall N, Pieper CF, Kraus VB. Patellar skin surface temperature by thermography reflects knee osteoarthritis severity. Clin Med Insights Arthritis Musculoskelet Disord 2010;3:69–75.
- Ilowite NT, Walco GA, Pochaczewsky R. Assessment of pain in patients with juvenile rheumatoid arthritis: relation between pain intensity and degree of joint inflammation. Ann Rheum Dis 1992;51:343–6.
- Hegedűs B, Viharos L, Gervain M, Galfi M. The effect of low-level laser in knee osteoarthritis: a double-blind, randomized, placebo-controlled trial. Photomed Laser Surg 2009;27:577–84.
- Kwon Y, Kim J, Yoon J, Lee J, Han H, Mar W, et al. The analgesic efficacy of bee venom acupuncture for knee osteoarthritis: a comparative study with needle acupuncture. Am J Chin Med 2001;29:1–10.
- Zazirnyi IM, Mahomedov OM, Drobotun OV, Ievseienko VH. Effect of chondroprotectors in the treatment and prophylaxis of the knee joint osteoarthritis. Likars'ka Sprav 2000;7–8:50–2.
- Fernández-Cuevas I. 2012 Effect of endurance, speed and strength training on skin temperature measured by infrared thermography. European doctoral thesis licenciado y master en ciencias de la actividad física y del deporte madrid 2012.
- Fernández-Cuevas I, Gómez-Carmona PM, Sillero-Quintana M, Noya-Salces J, Arnaiz-Lastras J, Pastor-Barrón A. Economic costs estimation of soccer injuries in first and second spanish division professional teams. Paper presented at the 15th Annual Congress of the European College of Sport Sciences ECSS, 2010; Antalya, Turkey.
- Al-Nakhli HH, Petrofsky JS, Laymon MS, Berk LS. The use of thermal infra-red imaging to detect delayed onset muscle soreness. J Vis Exp. 2012; 22:(59). pii: 3551. <http://dx.doi.org/doi:10.3791/3551>
- Hildebrandt, C., Zeilberger, K., Ring, E. F. J., & Raschner, C. The application of medical Infrared Thermography in sports medicine. In K. R. Zaslav (Ed.), An International Perspective on Topics in Sports Medicine and Sports Injury (pp. 534): InTech, 2012
- Brisoschi MC, Macedo JF, Macedo RA. Termometria cutânea: novos conceitos. J Vas Bras. 2003; 2 (2): 151–60.
- Hildebrandt, C.; Raschner, C.; Ammer, K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. Sensors 2010; 10: 4700–15. <http://dx.doi.org/10.3390/s100504700>
- Brisoschi MC, Macedo JF, Macedo RA. Termometria cutânea: novos conceitos. J Vas Bras. 2003; 2 (2): 151–60.
- Verdasca R. Symmetry of temperature distribution in the upper and the lower extremities. Thermology International. 2008;18(4):154.
- Pichot C. Aplicación de la termografía en el dolor lumbar crónico. Rev. Soc. Esp. Dolor. 2001; 8 supl. 2: 43–47.
- Niu HH, Lui PW, Hu JS, Ting CK, Yin YC, Lo YL, Liu L, Lee TY. Thermal symmetry of skin temperature: normative data of normal subjects in Taiwan. Zhonghua Yi Xue Za Zhi (Taipei). 2001;64(8):459–68.
- Uematsu S. Symmetric of skin temperature comparing one side of the body to the other. Thermology. 1985; 1: 4–7.
- Feldman F, Nickoloff EL. Normal thermographic standards for the cervical spine and upper extremities. Skeletal Radiol. 1984;12(4):235–49.
- Albert S. M. Thermography in orthopedics. Ann. N. Y. Acad. Sci. 1964; 121: 157–170.
- Barber-Westin SD, Noyes FR (2011) Factors used to determine return to unrestricted sports activities after anterior cruciate ligament reconstruction. Arthroscopy 27:1697–1705. <http://dx.doi.org>
- Bernard V, Staffa E, Mornstein V, Bourek A (2013) Infrared camera assessment of skin surface temperature — effect of emissivity. Phys Med 29:583–591. doi:10.1016/j.ejpm.2012.
- Claes S, Verdonk P, Forsyth R, et al. The "ligamentization" process in anterior cruciate ligament reconstruction what happens to the human graft? a systematic review of the literature. Am J Sports Med. 2011 Nov; 39(11):2476–83. [PubMed: 21515806]
- Hildebrandt, C., Zeilberger, K., Ring, E. F. J., & Raschner, C. The application of medical Infrared Thermography in sports medicine. In K. R. Zaslav (Ed.), An International Perspective on Topics in Sports Medicine and Sports Injury (pp. 534): InTech, 2012
- Brisoschi MC, Macedo JF, Macedo RA. Termometria cutânea: novos conceitos. J Vas Bras. 2003; 2 (2): 151–60.
- Hildebrandt, C.; Raschner, C.; Ammer, K. An overview of recent application of medical infrared thermography in sports medicine in Austria. Sensors 2010; 10: 4700–15. <http://dx.doi.org/10.3390/s100504700>
- Garagiola U, Giani E. Use of telethermography in the management of sports injuries. Sports Med. 1990;10(4):267–72.
- Pichot C. Aplicación de la termografía en el dolor lumbar crónico. Rev. Soc. Esp. Dolor. 2001; 8 supl. 2: 43–47.
- Garagiola U, Giani E. Use of telethermography in the management of sports injuries. Sports Med. 1990;10(4):267–72.

Сведения об авторах

Величко М. Н., заведующий отделением спортивной травматологии и спортивной медицины¹
Штурмин А. В., врач по лечебной физкультуре отделения спортивной травматологии и спортивной медицины¹
Терсков А. Ю., к.м.н., руководитель центра спортивной травматологии и реабилитации¹
Самойлов А. С., профессор РАН, член-корреспондент РАН, д.м.н., генеральный директор¹
Белякова А. М., к.м.н., младший научный сотрудник²

¹ ФГБУ ГНЦ ФМБЦ им. А.И. Бурназяна ФМБА России

² ООО «Центр изучения систем здравоохранения»

Автор для переписки: Белякова Анна Михайловна, E-mail: md.belyakova@gmail.com

About authors

Velichko M. N., Head of the Department of Sports Traumatology and Sports Medicine¹
Shturmin A. V., Physiotherapy Physician, Department of Sports Traumatology and Sports Medicine¹
Terskov A. Y., PhD, Head of the Center for Sports Traumatology and Rehabilitation of the State Scientific Center¹
Samoilov A. S., Professor of the Russian Academy of Sciences, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, General Director¹
Belyakova A. M., MD, Junior Researcher, LLC "Center for the Study of Health Systems"²

¹ Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency

² LLC "Center for the Study of Health Systems"

Corresponding author: SBelyakova A.M. E-mail: md.belyakova@gmail.com

Статья поступила / Received 11.11.2023

Получена после рецензирования / Revised 12.11.2023

Принята в печать / Accepted 20.11.2023

Для цитирования: Величко М.Н., Штурмин А.В., Терсков А.Ю., Самойлов А.С., Белякова А.М. Использование инфракрасной термографии в реабилитации после пластики передней крестообразной связки. Медицинский алфавит. 2023;(32):50–53. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-50-53>

For citation: Velichko M.N., Shturmin A.V., Terskov A.Y., Samoilov A.S., Belyakova A.M. The use of infrared thermography in rehabilitation after anterior cruciate ligament surgery. Medical alphabet. 2023;(32):50–53. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-32-50-53>