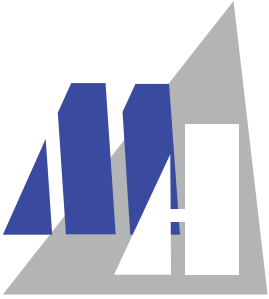


ISSN 2078-5631(Print)
ISSN 2949-2807(Online)

Издаётся с 2002 года. Включен в Перечень ВАК

Серии научно-практических рецензируемых журналов



Медицинский АЛФАВИТ

№ 30/2024



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 «Альфмед»

+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

Руководитель проекта «Современная функциональная диагностика»

Sfd.ma@list.ru

Руководитель отдела продвижения, распространения и выставочной деятельности

Борис Борисович Будович

medalfavit_pr@mail.ru

Журнал включен в Перечень ВАК (IIQ).

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.

К публикации принимаются статьи,
подготовленные в соответствии
с правилами редакции. Редакция не несет
ответственности за содержание рекламных
материалов.

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, теле-, радиовещания
и средств массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации средства
массовой информации
ПИ № 77-11514 от 04.01.2002.

Подписка: на портале www.medalfavit.ru,
e-mail: podpiska.ma@mail.ru, «Почта России»,
«Урал-Пресс», индекс 014517.

Периодичность: 36 выпусков в год.

Подписано в печать 22.11.2024.

Формат А4. Цена договорная.

© Медицинский алфавит, 2024

Содержание

- 9 Об итогах научно-практической конференции
«Актуальные вопросы функциональной и ультразвуковой диагностики»
в городе Иваново 25–26 октября 2024 года
- 10 Альтернатива комплекса QRS и зубца Т –
новый электрокардиографический паттерн при синдроме
удлиненного интервала QT
*Л.М. Макаров, А.Г. Акопян, Е.В. Заклязьминская, В.Н. Комятова,
Д.А. Беспорточный*
- 16 Оптимизация способа наложения грудных электродов
при регистрации электрокардиограммы у новорожденных и детей
массой тела менее 4000 г
Н.В. Харламова, М.Ю. Ласкина, Н.А. Шилова, М.Ю. Блохин
- 21 Нарушения сердечного ритма и проводимости у детей с брадиаритмиями
при длительном мониторинге ЭКГ
Е.Б. Полякова, Т.А. Трофимова, М.А. Школьников
- 28 Электрокардиография при легочной гипертензии:
поиск новых диагностических возможностей (обзор литературы)
А.В. Соболев, Е.В. Блинова, Т.А. Сахнова, Д.В. Дроздов
- 36 Клиническое значение деформации миокарда левого желудочка у детей
с гипертрофической кардиомиопатией
А.А. Тарасова, О.С. Грознова, Н.Ю. Черных
- 42 Нагрузочные тесты без велоэргометра и тредмила:
методы и интерпретация
Д.В. Шутлов, А.К. Пром
- 49 Влияние упражнений йоги с произвольными изменениями вентиляции
легких на интракраниальный артериальный кровоток
А.В. Фролов, С.А. Ермолаева, М.Д. Дидур

Журнал «Медицинский алфавит» включен
в перечень научных рецензируемых изданий, ре-
комендуемых Высшей аттестационной комис-
сией Минобрнауки России для опубликования
основных научных результатов диссертаций на со-
искание 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 Стоматология (медицинские науки);
- 3.1.9 Хирургия (медицинские науки);
- 3.1.12 Анестезиология и реаниматология (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 расши-
рением его индексирования в наукометрических
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 цере-
бропротекции у полиморбидного пациента, перенес-
шего 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 Siniitska

Alfmed Publishing

+7 (495) 616-48-00

medalfavit@mail.ru

Box 94, Moscow, 129515, Russia

Editorial Office

Office 720, Bldg. 1, 13
Academician Korolev Str.,
Moscow, Russia

Editor-in-Chief

Sergey Petricov,
Corr. Member of RAS, Doctor of Medical
Sciences (habil.), Professor

"Modern Functional Diagnostics"

Project Manager

Sfd.ma@list.ru

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 (IIQ).

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.

Only articles prepared in accordance with the Editorial Office's rules are accepted for publication.

The Editorial Office is not responsible for the content of ads.

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: 36 issues per year.

Subscription: podpiska.ma@mail.ru
Free price.

Signed for press: 22th November 2024.
© 2024 Medical Alphabet

Contents

- 9 **On the results of the scientific and practical conference «Current issues of functional and ultrasound diagnostics» in the city of Ivanovo on October 25–26, 2024**
- 10 **The QRS and T wave alternans – a new ECG pattern in Long QT syndrome**
L.M. Makarov, A.G. Akopyan, E.V. Zaklyazminskaya, V.N. Komoliatova, D.A. Besportochny
- 16 **Optimization of the method of applying thoracic electrodes during registration electrocardiograms in newborns and children weighing less than 4000 g**
N.V. Kharlamova, M.Yu. Laskina, N.A. Shilova, M.Yu. Blokhin
- 21 **Cardiac rhythm and conduction disturbances in children with bradyarrhythmias during long-term ECG monitoring**
E.B. Polyakova, T.A. Trofimova, M.A. Shkolnikova
- 28 **Electrocardiography in pulmonary hypertension: search for new diagnostic possibilities (literature review)**
A.V. Sobolev, E.V. Blinova, T.A. Sakhnova, D.V. Drozdov
- 36 **Clinical significance of myocardial deformation of a left ventricle in children with hypertrophic cardiomyopathy**
A.A. Tarasova, O.S. Groznova, N.Yu. Chernykh
- 42 **Stress test protocols applied without treadmill and bicycle ergometer: procedures and interpretation**
D.V. Shutov, A.K. Prom
- 49 **The influence of yoga exercises with voluntary pulmonary ventilation changes on intracranial arterial blood flow**
Artem V. Frolov, Sargylana A. Ermolaeva, Michael D. Didur

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);
- 3.1.6 Oncology, radiation therapy (Medical sciences);
- 3.1.7 Dentistry (Medical sciences);
- 3.1.9 Surgery (Medical sciences);
- 3.1.12 Anesthesiology and resuscitation (Medical sciences);
- 3.1.18 Internal medicine (Medical sciences);
- 3.1.20 Cardiology (Medical sciences);
- 3.1.23 Dermatovenereology (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);

- 3.1.17 Psychiatry and Narcology (Medical sciences);
- 3.1.19 Endocrinology (Medical sciences);
- 3.1.21 Pediatrics (Medical sciences);
- 3.1.22 Infectious Diseases (Medical sciences);
- 3.1.25 Radiation Diagnostics (Medical sciences);
- 3.1.30 Gastroenterology and Dietology (Medical sciences);
- 3.1.33 Rehabilitation Medicine, Sports Medicine, Exercise Therapy, Balneology and Physiotherapy (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 скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ» (Москва)

Редакционный совет журнала

Акимкин Василий Геннадьевич («Эпидемиология, инфекционные болезни, 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., заслуженный врач РФ, профессор кафедры, почетный зав. кафедрой анестезиологии и неотложной медицины ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России (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., советник директора ФГБУ Научный медицинский исследовательский центр акушерства, гинекологии и перинатологии имени В.И. Кулакова (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 ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента России (Москва)

Орлова Наталья Васильевна («Современная поликлиника»), д.м.н., проф., кафедра поликлинической терапии лечебного факультета ФГАОУ ВО «Российский Национальный Исследовательский Медицинский Университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава РФ (Москва)

Остроумова Ольга Дмитриевна, д.м.н., проф., зав. кафедрой терапии и полиморбидной патологии имени академика М.С. Вовси ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, проф. кафедры клинической фармакологии и пропедевтики внутренних болезней ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» (Сеченовский Университет) Минздрава России, проф. кафедры терапии, кардиологии и функциональной диагностики с курсом нефрологии ФГБУ ДПО «Центральная государственная медицинская академия» Управления делами Президента 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 имени Патриса Лумумбы» (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)

Каманева 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)

Нарцисова 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., Doctor of Medical Sciences (habil.), professor, director of Research Institute of Emergency Care n.a. N.V. Sklifosovsky (Moscow, Russia)

Editorial Board

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

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

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

Balan V.E. (*Modern Gynecology*), DM Sci (habil.), 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 (habil.), professor, Research Institute for Complex Problems of Cardiovascular Diseases (Kemerovo, Russia)

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

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

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

Kruglova L.S. (*Dermatology*), DM Sci (habil.), professor, Central State Medical Academy (Moscow, Russia)

Kuznetsova I.V. (*Modern Gynecology*), DM Sci (habil.), professor, Scientific Medical Research Center for Obstetrics, Gynecology and Perinatology n.a. V.I. Kulakov (Moscow, Russia)

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

Minushkin O.N. (*Practical Gastroenterology*), DM Sci (habil.), professor, Central State Medical Academy (Moscow, Russia)

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

Ostroumova O.D., DM Sci (habil.), prof., Russian Medical Academy for Continuing Professional Education, First Moscow State Medical University n.a. I.M. Sechenov, Central State Medical Academy of the Administrative Department of the President of Russia (Moscow, Russia)

Padyukov I.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 (habil.), professor, Peoples' Friendship University of Russia n.a. Patrice Lumumba (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 I.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)

Об итогах научно-практической конференции «Актуальные вопросы функциональной и ультразвуковой диагностики» в городе Иваново 25–26 октября 2024 года

В тихие осенние дни октября в старинном русском городе Иваново на площадке «Солярис» состоялась VIII Всероссийская научно-практическая конференция «Актуальные вопросы функциональной и ультразвуковой диагностики».

Организаторами конференции совместно с Российской ассоциацией специалистов функциональной диагностики выступили Министерство здравоохранения Ивановской области, Ивановский государственный медицинский университет, а также ФМБА России, МОНИКИ им. М.Ф. Владимирского, РМАНПО и Российское общество холтеровского мониторирования (РОХМиНЭ).

С приветственным словом перед участниками конференции выступили заместитель председателя правительства Ивановской области, директор Департамента здравоохранения А.В. Арсентьев и ректор Ивановского Государственного медицинского университета профессор Иванова И.В., главный внештатный специалист по функциональной диагностике и председатель регионального отделения РАСФД Ивановской области профессор Л.Л. Ярченкова.

Всего за два дня конференции 25–26 октября 2024 г. в конференц-залах и аудиториях центра «Солярис» было заслушано 72 научных и образовательных доклада, проведено 8 мастер-классов. В конференции приняли участие 247 специалистов, а к онлайн-трансляции присоединились 324 человек. На конференции была развернута выставка медицинского диагностического оборудования отечественных и зарубежных компаний.

РАСФД выражает признательность всем организаторам, участникам и слушателям конференции, а также Генеральному партнеру компании Нейрософт, компаниям-партнерам Mediase, официальному партнеру Samsung, партнерам спонсорных симпозиумов компании Mindray и Моснейро.

Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики с нетерпением ждет всех коллег и друзей – специалистов в области инструментальной диагностики и смежных специальностей на наши новые встречи!



Альтернация комплекса QRS и зубца Т – новый электрокардиографический паттерн при синдроме удлинненного интервала QT

Л.М. Макаров^{1, 2, 3}, А.Г. Акопян¹, Е.В. Заклязьминская^{4, 5}, В.Н. Комолятова^{1, 2}, Д.А. Беспорточный¹

¹ ФГБУ Федеральный научно-клинический центр детей и подростков ФМБА России

² ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ Минздрава России

³ ФГБУ ФНКЦ Академия постдипломного образования ФМБА России

⁴ ГНЦ ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского»

⁵ ФГБНУ «МГНЦ им. акад. Н.П. Бочкова»

РЕЗЮМЕ

Представлен случай нового ЭКГ паттерна, у больной 6 лет с синдромом удлинненного интервала QT (СУИQT). На ЭКГ покоя удлинение корригированного интервала QT (QTc) до 568 мс. Проведенное молекулярно-генетическое исследование выявило мутацию *de novo* в гене SCN5A (p.Val141Met), патогенный класс V, характерную для третьего молекулярно-генетического варианта СУИQT (LQT3). При холтеровском мониторингировании отмечена «гиперадаптация» интервала QT (slope QT/RR 0.37 при норме до 0,24). Во время ночного сна, в периоды, соответствующие «быстрому сну» при классической полисомнографии, зарегистрированы эпизоды сочетанной альтернации зубца Т и альтернация комплекса QRS (AT/AQRS). Данный паттерн ранее не описывался у больных с СУИQT. Назначен Атенолол 1 мг/кг. На фоне терапии через 2 месяца феномен AT/AQRS не регистрировался. Обсуждаются возможные механизмы и прогностическое значение выявленного ЭКГ паттерна, вопросы лечения больных с LQT3. Заключение: Сочетанная альтернация зубца Т и комплекса QRS (AT/AQRS) является новым, ранее не описанным, ЭКГ феноменом у больных с СУИQT, высоковероятно повышающим риск развития сердечных событий. «Гиперадаптация» интервала QT может быть одним из электрокардиологических признаков LQT3. Возникновение паттерна AT/AQRS в фазу «быстрого сна», делает этот период, возможно, наиболее уязвимым по развитию сердечных событий у больных с LQT3.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: синдром удлинненного интервала QT, LQT 3, альтернация зубца Т и комплекса QRS, «гиперадаптация» интервала QT, период сна.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The QRS and T wave alternans — a new ECG pattern in Long QT syndrome

L.M. Makarov^{1, 2, 3}, A.G. Akopyan¹, E.V. Zaklyazminskaya^{4, 5}, V.N. Komoliatova^{1, 2}, D.A. Besportochny¹

¹ Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents of the Federal Medico Biological Agency

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education, Russian Medical Academy of Postgraduate Education of the Ministry of Health of the Russian Federation

³ Federal State Budgetary Institution, Federal Scientific and Clinical Center, Academy of Postgraduate Education of the Federal Medico Biological Agency

⁴ State Scientific Center, Federal State Budgetary Scientific Institution, Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky

⁵ Federal State Budgetary Scientific Institution, Medical and Biological Center named after Academician N.P. Bochkov

SUMMARY

We present a case of a new ECG phenomenon that has not been described previously in patients with long QT syndrome (LQTS). Prolongation of the QT interval (QTc) to 568 ms were revealed in girl 6 years old on the resting ECG. There were no symptoms, syncope or family history of sudden death. A molecular genetic study revealed mutation «*de novo*» in the SCN5A gene (p.Val141Met), a pathogenic class V that typical for the third molecular genetic variant of LQTS (LQT3). During Holter monitoring a «hyperadaptation» of the QT interval was noted (slope QT/RR 0.37 with normal limit till 0,24). New ECG pattern of the combination T wave alternans and QRS alternans (AT/AQRS) at the night sleep (possibly in REM sleep) were recorded. This pattern has not been described previously in patients with LQTS. Atenolol 1 mg/kg was prescribed. During therapy, AT/AQRS did not record after 2 months. Possible mechanisms and prognostic significance of the identified ECG pattern, issues of treatment of patients with LQT3 are discussed. Conclusions: Combined of T wave alternans and QRS alternans (AT/AQRS) is a new ECG pattern in patients with LQTS that is likely to increase the risk of cardiac events. «Hyperadaptation» of the QT interval may be one of the electrocardiological features of LQT3. The emergence of the AT/AQRS pattern during REM sleep makes this period perhaps the most dangerous for the development of cardiac events in patients with LQT3.

KEYWORDS: long QT syndrome, LQT 3, alternation of the T wave and QRS complex, QT interval hyperadaptation, sleep period.

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

Электрокардиография является основным методом диагностики синдрома удлинненного интервала QT (СУИQT) [1, 2]. Так как единственным, а часто первым, клиническим проявлением болезни являются жизнеугрожающие желудочковые тахикардии и аритмо-

генные синкопе, переходящие в остановку сердца и внезапную смерть [3], крайне важно найти их доклинические ЭКГ критерии индивидуального прогноза конкретного пациента. Представляем случай нового, ранее не описываемого, ЭКГ-паттерна у больных СУИQT.

Материал и методы

Обследована девочка 6 лет. Жалоб нет. При плановом ЭКГ обследовании перед школой на 12-канальной ЭКГ покоя выявлено удлинение интервала QT. При осмотре и обследовании 15.02.2024 (вместе с матерью), жалоб не предъявляла, терапию не получает, случаи синкопе, внезапной смерти в семье мать ребенка отрицает. При осмотре по органам без особенностей, артериальное давление, эхокардиография в норме, общие анализы крови, мочи, биохимический анализ крови, электролиты крови, гормоны щитовидной железы в референсных диапазонах. На 12-канальной ЭКГ покоя (рис. 1) ЧСС 94 уд/мин (возрастная норма 80–105 уд/мин) [4] скорректированный интервал QT (QTc), рассчитанный по формуле Базетта QT/\sqrt{RR} , составил 568 мс (норма у детей до 440 мс [4]). На ЭКГ родителей и младшей сестры интервал QT в норме.

При холтеровском мониторировании, (ХМ) проведенном на аппарате SeerLigh и программном обеспечении MARS (GE, США) (частота дискретизации ЭКГ 125 Гц, разрядность аналого-цифрового преобразователя 10 бит, динамический диапазон 16 мВ, полоса пропускания сигнала 0,05–40 Гц), зарегистрировано 5 суправентрикулярных экстрасистол, среднесуточная ЧСС 98 уд/мин, циркадный

индекс – 1,38, среднесуточный скорректированный интервал QT (QTc) – 559 мс. При оценке «QT динамики» коэффициент линейной регрессии QT/RR (Slope) составил 0,37 (рис. 2) при норме до 0,24 [5].

Во время ночного сна при ХМ периодически регистрировались короткие эпизоды макроскопической альтернации зубца Т (АТ) и альтернации комплекса QRS (АQRS), в виде циклического изменения от сокращения к сокращению морфологии зубца Т и амплитуды комплекса QRS, без признаков преждевременности сокращений (рис. 3).

Эпизоды АТ/АQRS регистрировались исключительно во сне, в т. н. «периоды повышенной дисперсии» ритма сердца (рис. 4), которые соответствуют фазе «быстрого сна» при классической полисомнографии [6].

Поставлен диагноз «Синдром удлиненного интервала QT», назначена терапии бета-блокаторами (Атенолол 1 мг/кг/сутки в два приема). Даны рекомендации избегать приема препаратов, удлиняющих интервал QT (www.crediblemeds.org). Больной было выполнено полноэкзомное секвенирование с биоинформатическим поиском мутаций в генах, ответственных за первичные аритмогенные синдромы. В гене SCN5A была выявлена гетерозиготная мутация NM_000335: c.1231G>A (p.Val1411Met),



Рисунок 1. 12-канальная ЭКГ больной 6 лет. Ритм синусовый. ЧСС 94 уд/мин (интервал R-R 638 мс), ЭОС 68°, PR интервал 134 мс, ширина комплекса QRS 78 мс, интервал QT 454 мс. Корректированный интервал QT (QTc) по формуле Базетта (QT/\sqrt{RR}) – 568 мс. Морфология зубца Т (интервала QT) во II отведении с длинной изолинией сегмента ST

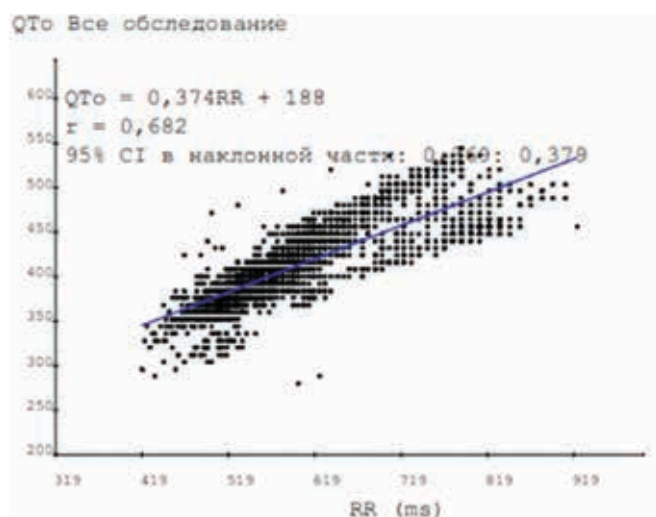


Рисунок 2. Среднесуточная «QT-динамика» при холтеровском мониторировании у больной 6 лет с диагнозом синдром удлиненного интервала QT (LQT 3). Коэффициент линейной регрессии (Slope) QT/RR 0,37, интерсепт 188, коэффициент корреляции r QT/RR = 0,68

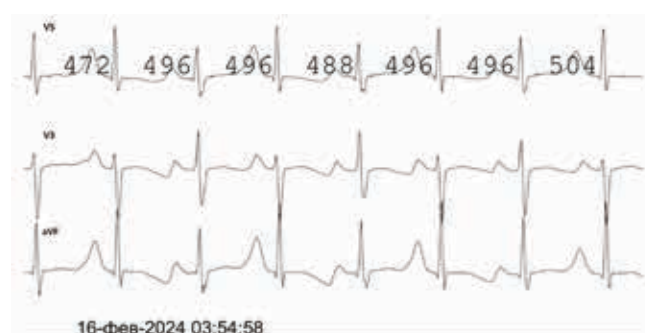


Рисунок 3. Альтернация зубца Т (циклическое чередование морфологии зубца Т) и альтернация комплекса QRS (циклическое чередование амплитуды комплекса QRS со второго по пятое сокращение) во всех отведениях во время ночного сна (03:54) у больной 6 лет с диагнозом синдром удлиненного интервала QT (LQT 3). В отведении V5 обозначены интервалы RR в мс

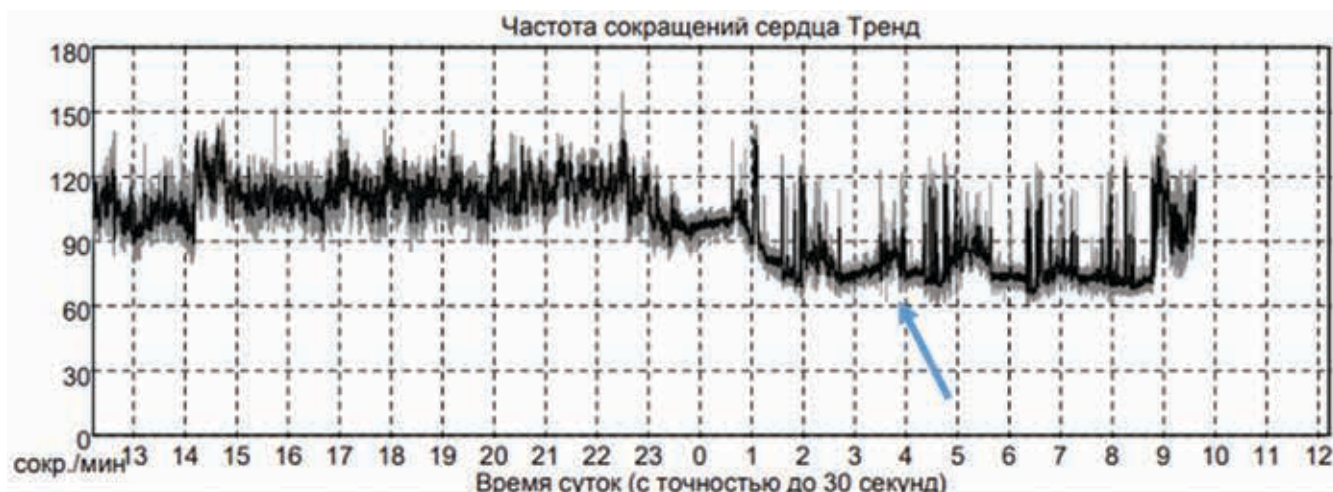


Рисунок 4. Время возникновения на тренде ЧСС сочетанной альтернативы зубца Т и комплекса QRS (см. рис. 3) во время ночного сна в «период повышенной дисперсии» ритма сердца в 03:54 (стрелка) у больной 6 лет с диагнозом синдром удлиненного интервала QT (LQT 3)

(Класс патогенности V, Патогенная). Окончательный диагноз «I 49.5 Синдром удлиненного интервала QT, тип 3 (LQT3)».

Контрольное ХМ проведено через 1 и 2 месяца после назначения атенолола показало, что основная динамика ритма сердца и интервала QT сохранялась со снижением среднесуточной ЧСС к третьему исследованию (98, 97 и 80 уд/мин соответственно). Периоды AT/AQRS сохранялись на втором ХМ через месяц от начала терапии, но на третьем, через 2 месяца, уже не регистрировались.

Обсуждение

Диагноз СУИQT ставится на основании критериев шкалы Шварца, в которые входят балльная оценка скорректированного интервала QTc ($QTc > 480$ мс имеет значимость в 3 балла; QTc от 460 до 479 мс – 2 балла; QTc от 450 до 459 мс – 1 балл), типичная для СУИQT, полиморфная желудочковая тахикардия «Torsade de Pointes» (2 балла), нарушения морфологии зубца Т в виде альтернативы (1 балл) или двугорбых зубцов Т (1 балл), данные личного и семейного анамнеза [2, 3]. При наличии суммы баллов более 3,5 диагноз СУИQT считается высоковероятным, фактически подтвержденным. У нашей больной сумма баллов по шкале Шварца составила 4 (интервал QTc 568 мс – 3 балла, альтернатива зубца Т – 1 балл).

Подтверждает диагноз, независимо от длины QT, выявление патогенных мутаций СУИQT при молекулярно-генетическом исследовании [7]. У нашей больной выявлен третий вариант СУИQT (LQT3). В основе патогенеза LQT3 лежит мутация в гене SCN5A, приводящая к «усилению функции» натриевого канала кардиомиоцита, увеличивая входящий натриевый ток (I_{Na}) [8, 9]. Этот вариант обосновано заподозрен еще до результатов генетического теста, на основании выявленных электрокардиологических изменений. Прежде всего, по типичному для LQT3 фенотипу ЭКГ, с длинной изолинией ST сегмента с отклонением в конечной части зубца Т [10]. Мы определили еще один неинвазивный признак, который считаем типичным для LQT3 – высокие значения коэф-

фициента линейной регрессии между QT и RR интервалами ($slope\ QT/RR$), который составил 0,37 при норме у детей до 0,24 [5]. В математической интерпретации такой паттерн «QT динамики» подразумевает значительное, более нормы, укорочение интервала QT при тахикардии, но чрезмерное удлинение QT на брадикардии [11]. В наших, более ранних, работах мы предложили использовать термин «гиперадаптация QT», для оценки высоких значений $slope\ QT/RR$ у новорожденных детей, как более физиологически обоснованный [12]. Известный британский ученый в области электрокардиологии М. Malik поддержал нашу концепцию, как полезный подход при оценке «QT динамики» и в других категориях больных [13]. По концепции «гиперадаптации QT», чрезмерное удлинение интервала QT происходит на брадикардии. Но именно для LQT3 типично возникновение сердечных событий (синкопе/остановка сердца / внезапная смерть) в ночное время, когда брадикардия максимально выражена [14]. Соответственно, чрезмерное удлинение QT ночью при «гиперадаптации QT» может быть одним из факторов, предрасполагающих к запуску желудочковой тахикардии Torsade de Pointes.

В нашем наблюдении у больной были зарегистрированы периоды альтернативы зубца Т (AT) в ночное время (рис. 3). AT определяется как циклическое чередование зубцов Т различной морфологии в следующих друг за другом сердечных циклах. Впервые термин «альтернатива» в электрокардиографии появился в 1908 году, когда Н. Hering описал случай изменения полярности зубца Т на фоне эмоциональной нагрузки [15]. Т. Lewis [16] показал, что AT возможна в здоровом сердце при учащенном сердечном ритме, либо в поврежденном сердце при нормальном ритме. Н. Kalter и М. Schwartz [17] выявили AT на пяти из 6059 снятых ЭКГ (0,08%) и указали на увеличение вероятности внезапной смерти при ее регистрации. На протяжении десятилетий AT считалась крайне редким ЭКГ феноменом. В большой обзорной работе В. Surawicz [18] по сердечной альтернативе 1992 года, единственным клиническим примером раз-

вития тахикардии Torsade de Pointes после периода АТ, была иллюстрация из работы французских авторов 1974 года [19]. При более широком применении методов ЭКГ, АТ стала выявляться чаще, прежде всего, у больных с СУИQT. В работе W. Zareba [20] АТ была выявлена у 30 из 2442 больных СУИQT (1.2%) на 12 канальной ЭКГ покоя. При ХМ мы выявили АТ в 5,5% при обследовании 54 больных СУИQT [21]. Выделяют монофазную и бифазную АТ [20]. Монофазная АТ – это циклическая изменчивость морфологии зубца Т только выше, или только ниже изолинии (более и менее высокий или глубокий Т). Бифазная АТ – это циклическое чередование положительного и отрицательного зубца Т (рис. 3), она отражает более обширную степень региональной гетерогенности реполяризации [20]. В нашем наблюдении у девочки была выявлена именно бифазная АТ. У 83% больных СУИQT в исследовании W. Zareba [20] АТ регистрировалась при интервале QTc более 500 мс, при этом, сердечные события (остановки сердца/синкопе/внезапная смерть) регистрировались достоверно чаще в группе больных с АТ, чем у больных с таким же интервалом QT без АТ. Это говорит о том, что этот ЭКГ феномен тесно ассоциирован с повышением аритмогенности миокарда и риском развития опасных аритмий сердца.

Наряду с АТ, в этих же сердечных циклах, нами был отмечен еще один ЭКГ феномен, ранее не описываемый у больных с СУИQT – альтернация комплекса QRS (AQRS). AQRS описывалась еще в начале 20 века, но считалась крайне редким феноменом (1 случай на 10 000 снятых ЭКГ) [22]. Р. White в 1938 году так описывает AQRS: «Альтернация амплитуды комплекса QRS без других изменений ЭКГ (чередующихся изменений формы или временных интервалов)» [23]. В первой отечественной монографии А.М. Сигала 1935 года, целиком посвященной нарушениям ритма сердца [24], AQRS посвящена отдельная глава, в которой он, в частности, пишет: «Альтернация принадлежит к сравнительно малоизученным вопросам кардиологии... Заключается она в том, что на электрокардиограмме при правильном ритмичном следовании всех комплексов и зубцов, отмечаются колебания в их величине и размерах. ...Тип этих желудочковых комплексов и ширина QRS, остается при этом почти неизменным. Происходит чередование более крупных комплексов QRS с меньшими... Часто появляется за несколько дней или часов до смерти».

Среди потенциальных технических причин AQRS может рассматриваться интерференция ритма QRS пациента с периодом измерений сигнала аналого-цифрового преобразователя. Данное предположение с учетом постоянного чередования двух морфологических вариантов комплексов QRS представляется крайне маловероятным по совокупности параметров дискретизации сигнала и полосы пропускания.

Выделяют «механическую» и «электрическую» AQRS [18]. «Механическая» AQRS регистрируется при перикардитах, тампонадах, за счет колебаний жидкости в перикарде при каждом последующем сокращении сердца. Для объяснения патогенеза «электрической» AQRS,

не связанной с перикардальной перфузией, нет сегодня окончательного объяснения. Предлагаются механизмы временной задержки проводимости или блока в терминальной части системы Гиса – Пуркинье [25], возникновение атриовентрикулярной ретроградной блокады 2:1 [26, 27]. Надо отметить, что такой блок 2:1 является одним из механизмов развития именно LQT3, который и был выявлен у нашей больной [9]. «Электрическая» AQRS в настоящее время чаще всего описывается в залпах гетерогенной пароксизмальной тахикардии, как с узким, так и с широким комплексом QRS [28, 29]. Нам не встретилось современных клинических описаний «электрической» AQRS на синусовом ритме, тем более, в сочетании с АТ. Только в одной экспериментальной работе, на модели LQT3 у собак, авторами отмечалась сочетанная АТ/AQRS перед развитием желудочковой тахикардии Torsade de Pointes [30]. Является ли паттерн АТ/AQRS типичным именно для LQT3, предстоит выяснить в ходе последующего наблюдения и исследований.

Как уже говорилось выше, при LQT3 сердечные события (синкопе / остановка сердца / внезапная смерть) в 64% случаев происходят в ночное время [14]. У нашей больной симптомов не было, но эпизоды сочетанной АТ/AQRS были зарегистрированы именно во сне, в «периоды повышенной дисперсии» ритма сердца (рис. 4), соответствующие периоду «быстрого сна» при классической полисомнографии [6]. «Быстрый сон» является наиболее нестабильным периодом сна, где могут возникать большинство нарушений ритма сердца [31]. «Периоды повышенной дисперсии» и структура сна в целом, хорошо видны на тренде ночной ЧСС на любых коммерческих системах ХМ, предложены алгоритмы оценки у детей [6], но этот подход еще недостаточно активно используется у детей с кардиологической патологией. Вполне вероятно, что описанный нами новый ЭКГ паттерн (АТ/AQRS) мог быть и у других больных СУИQT, в группе которых ХМ является обязательно частью обследования. Однако, отсутствие соответствующих автоматических алгоритмов регистрации АТ/AQRS в современных коммерческих системах ХМ требует от врача-эксперта, проводящего исследование, соответствующих знаний и нацеленности на его выявление.

Выводы

Сочетанная альтернация зубца Т и комплекса QRS (АТ/AQRS) является новым, ранее не описанным, электрокардиографическим паттерном больных с третьим вариантом синдрома удлиненного интервала QT (LQT3). С учетом того, что АТ и AQRS являются доказанными прогностически неблагоприятными признаками электрической нестабильности миокарда, паттерн сочетанной АТ/AQRS высоковероятно повышает риск сердечных событий у больных СУИQT. Возникновение паттерна АТ/AQRS в фазу наиболее нестабильного «быстрого сна», делает этот период, возможно, наиболее угрожаемым по развитию опасных аритмий сердца у больных с LQT3. «Гиперадаптация» интервала QT может быть одним из электрокардиологических признаков третьего варианта СУИQT (LQT3).

Список литературы / References

1. Schwartz P., Moss A., G.Vincent и R.Cramonio Diagnostic criteria for the long QT syndrome. An update 1993. 88(2):782-4. DOI: 10.1161/01.cir.88.2.782.
2. Crofti L., Celano G., Dagradi F., Schwartz P. Congenital long QT syndrome. Orphanet J Rare Dis 2008 Jul 7;3:18. doi: 10.1186/1750-1172-3-18.
3. Moss A. The Long QT interval syndrome. The American Journal of Cardiology 1997;20:p.17-19. DOI: 10.1016/s0002-9149(97)00116-1.
4. Макаров Л.М., Киселева И.И., Комолятова В.Н., Федина Н.Н., Новые нормы и интерпретации детской электрокардиограммы. Педиатрия им. Г.Н. Сперанского. 2015; 94 (2).
Makarov L.M., Kiseleva I.I., Komolyatova V.N., Fedina N.N., New standards and interpretations of children electrocardiogram. *Pediatrica n.a. G.N. Speransky*. 2015; 94 (2).
5. Макаров Л.М., Комолятова В.Н., Мирошникова Е.Н., Казанцева М.А. Физиологическое значение и нормативные параметры частотной адаптации QT интервала при холтеровском мониторировании у здоровых молодых лиц. Кардиология 2008;48(4):54-8.
Makarov L.M., Komolyatova V.N., Miroshnikova E.N., Kazantseva M.A. Physiological significance and normative parameters of rate adaptation of QT-interval during holter monitoring in healthy persons of young age. *Kardiologiya*. 2008;48(4):54-8. Russian. PMID: 18447842.
6. Макаров Л.М., Школьников М.А., Березницкая В.В., Гиоргобиани Р.З. Структура ритма сердца у здоровых подростков по данным холтеровского мониторирования. Тер. Архив 1999;71(1):19-22.
Makarov L.M., Shkol'nikova M.A., Beresniatskaia V.V., Giorgobiani R.R. *Struktura ritma serdtsa v period sna u zdorovykh podrostkov po dannym kholterovskogo monitorirovaniya EKG* [Cardiac rhythm in sleeping healthy adolescents as recorded by holter ECG monitoring]. *Ter Arkh*. 1999;71(1):19-22. PMID: 10097294.
7. Priori SG, Blomström-Lundqvist C, Mazzanti A, Blom N, Borggrefe M, Camm J, et al. ESC Scientific Document Group. 2015 ESC Guidelines for the management of patients with ventricular arrhythmias and the prevention of sudden cardiac death: The Task Force for the Management of Patients with Ventricular Arrhythmias and the Prevention of Sudden Cardiac Death of the European Society of Cardiology (ESC). Endorsed by: Association for European Pediatric and Congenital Cardiology (AEPCC). *Eur Heart J*. 2015 Nov 1;36(41):2793-2867. doi: 10.1093/eurheartj/ehv316.
8. Bennett PB, Yazawa K, Makita N, George AL Jr. Molecular mechanism for an inherited cardiac arrhythmia. *Nature*. 1995 Aug 24;376(6542):683-5. doi: 10.1038/376683a0.
9. Horne AJ, Eldstrom J, Sanatani S, Fedida D. A novel mechanism for LQT3 with 2:1 block: a pore-lining mutation in Nav1.5 significantly affects voltage-dependence of activation. *Heart Rhythm*. 2011;8(5):770-777. doi:10.1016/j.hrthm.2010.12.041.
10. Moss AJ, Zareba W, Benhorin J, Locati EH, Hall WJ, Robinson JL, Schwartz PJ, Towbin JA, Vincent GM, Lehmann MH. ECG T-wave patterns in genetically distinct forms of the hereditary long QT syndrome. *Circulation*. 1995 Nov 15;92(10):2929-34. doi: 10.1161/01.cir.92.10.2929.
11. Stramba-Badiale M, Locati EH, Martinelli A, Courville J, Schwartz PJ. Gender and the relationship between ventricular repolarization and cardiac cycle length during 24-h Holter recordings. *Eur Heart J*. 1997 Jun;18(6):1000-6. doi: 10.1093/oxfordjournals.eurheartj.a015357.
12. Makarov L, Komolyatova V, Zevald S, Schmidt G, Muller CA, Serebruany V. QT dynamics, microvolt T-wave alternans, and heart rate variability during 24-hour ambulatory electrocardiogram monitoring in the healthy newborn of first to fourth day of life. *J Electrocardiol*. 2010 Jan-Feb;43(1):8-14. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2009.11.001.
13. Malik M. ECG and VT/VF symposium. *J Electrocardiol*. 2010 Jan-Feb;43(1):1-3. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2009.11.003.
14. Schwartz PJ, Priori SG, Spazzolini C, Moss AJ, Vincent GM, Napolitano C, et al. Genotype-phenotype correlation in the long-QT syndrome: gene-specific triggers for life-threatening arrhythmias. *Circulation*. 2001 Jan 2;103(1):89-95. doi: 10.1161/01.cir.103.1.89. PMID: 11136691.
15. Hering H.E. Das Wesen des Herzalternans. *Munchen Med Wochenshr*. 4, (1908)
16. Lewis T. Notes upon alternation of the heart. *Q J Med*. 4, pp. 141-144 (1910).
17. Kalter H.H., Schwartz M.L. Electrical alternans *N Y State J Med*. (1948).
18. Surawicz B, Fisch C. Cardiac alternans: diverse mechanisms and clinical manifestations. *J Am Coll Cardiol*. 1992 Aug;20(2):483-99. doi: 10.1016/0735-1097(92)90122-4.
19. Perno C, Henry M, Debrulle C. Les syndromes cardio-auditifs d'origine génétique [Cardio-auditory syndromes of genetic origin]. *Coeur Med Interne*. 1974 Jul-Sep;13(3):429-43. French. PMID: 4140046.
20. Zareba W, Moss AJ, le Cessie S, Hall WJ, T wave alternans in idiopathic long QT syndrome. *J Am Coll Cardiol*. 1994 Jun;23(7):1541-6. doi: 10.1016/0735-1097(94)90653-x. PMID: 8195511.
21. Makarov L, Komolyatova V, Zaklyazminskaya E, Dmitrieva A. Ambulatory ECG Monitoring in Patients With Long QT Syndrome. Conference: Scientific Session AHA. Su 3177. Chicago 10-12 November 2018. Su3177 | Sunday, November 11, 2018. DOI: 10.13140/RG.2.2.32275.69921.
22. Hamburger W, Katz L, Sahir O. Electrical alternans. A clinical study with a report of two necropsies. *Jour A.M.A.* 1936, CVI, 902.
23. White P. «Heart disease» (Sec ed.) NY, The Macmillan Company. 1938; p.128-129.
24. Сигал А.М. Ритмы сердечной деятельности и их нарушения. 1935, Одесса. 367 с. [Seagal A.M. Rhythms of cardiac activity and their disorders. 1935, Odessa. 367 pp.].
25. Spodick DH. Electric alternation of the heart. Its relation to the kinetics and physiology of the heart during cardiac tamponade. *Am J Cardiol*. 1962 Aug;10:155-65. doi: 10.1016/0002-9149(62)90290-4.
26. Kleinfeld M, Stein E, Kossman CE. Electrical alternans with emphasis on recent observations made by means of single-cell electrical recording. *Am Heart J*. 1963 Apr;65:495-500. doi: 10.1016/0002-8703(63)90099-1.
27. Brembilla-Perrot B, Lucron H, Schwalm F, Haouzi A. Mechanism of QRS electrical alternans. *Heart*. 1997 Feb;77(2):180-2. doi: 10.1136/hrt.77.2.180.
28. Green M, Heddle B, Dassen W, Wehr M, Abdollah H, Brugada P, Wellens HJ. Value of QRS alteration in determining the site of origin of narrow QRS supraventricular tachycardia. *Circulation*. 1983 Aug;68(2):368-73. doi: 10.1161/01.cir.68.2.368. PMID: 6861312.
29. Kremers MS, Miller JM, Josephson ME. Electrical alternans in wide complex tachycardias. *Am J Cardiol*. 1985 Aug 1;56(4):305-8. doi: 10.1016/0002-9149(85)90854-9.
30. Chinushi M, Hosaka Y, Washizuka T, Furushima H, Aizawa Y. Arrhythmogenesis of T wave alternans associated with surface QRS complex alternans and the role of ventricular prematurity: observations from a canine model of LQT3 syndrome. *J Cardiovasc Electrophysiol*. 2002 Jun;13(6):599-604. doi: 10.1046/j.1540-8167.2002.00599.x. PMID: 12108505.
31. Caples SM, Rosen CL, Shen WK, Gami AS, Cotts W, Adams M, Dorostkar P, Shivkumar K, Somers VK, Morgenthaler TI, Stepanski EJ, Iber C. The scoring of cardiac events during sleep. *J Clin Sleep Med*. 2007 Mar 15;3(2):147-54.

Статья поступила / Received 02.09.2024
Получена после рецензирования / Revised 21.10.2024
Принята в печать / Accepted 20.11.2024

Информация об авторах

Макаров Л.М.^{1,2,3}, д.м.н., профессор, руководитель Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий; профессор кафедры педиатрии
E-mail: dr.leonidmakarov@mail.ru. ORCID: 0000-0002-0111-3643. SPIN 4989-6530
Акопян А.Г.¹, врач Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий
E-mail: anushnik.a.g@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4867-0594. SPIN-код: 1274-4531
Заклязьминская Е.В.^{4,5}, д.м.н., заведующая лабораторией медицинской генетики; профессор кафедры медицинской генетики
E-mail: zhelene@mail.ru
Комолятова В.Н.^{1,2}, д.м.н., врач Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий; профессор кафедры педиатрии
E-mail: verakom@list.ru. ORCID: 0000-0002-3691-7449. SPIN:4996-3220
Беспорточный Д.А.¹, врач Центра синкопальных состояний и сердечных аритмий
E-mail: dr.blad@mail.ru. ORCID: 0000-0002-3699-2289

¹ ФГБУ Федеральный научно-клинический центр детей и подростков ФМБА России
² ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ Минздрава России
³ ФГБУ ФНКЦ Академия постдипломного образования ФМБА России
⁴ ГНЦ ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского»
⁵ ФГБНУ «МГНЦ им. акад. Н.П. Бочкова»

Контактная информация:

Макаров Леонид Михайлович. E-mail: dr.leonidmakarov@mail.ru

Для цитирования: Макаров Л.М., Акопян А.Г., Заклязьминская Е.В., Комолятова В.Н., Беспорточный Д.А. Альтернатива комплекса QRS и зубца Т – новый ЭКГ-паттерн при синдроме удлиненного интервала QT. Медицинский алфавит. 2024;(30):10–14. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-10-14>

Author information

Leonid Makarov^{1,2,3}, MD, PhD Center for Syncope and Cardiac Arrhythmias of Federal Scientific Clinical Center
E-mail: dr.leonidmakarov@mail.ru. ORCID: 0000-0002-0111-3643. SPIN 4989-6530
Anush Akopyan¹, MD, Center for Syncope and Cardiac Arrhythmias
E-mail: anushnik.a.g@mail.ru. ORCID: 0000-0002-4867-0594. SPIN-код: 1274-4531
Elena V. Zaklyazminskaya^{4,5}, M.D., Ph.D., Head of Medical Genetics Laboratory
E-mail: zhelene@mail.ru
Vera Komolyatova^{1,2}, MD, PhD, Center for Syncope and Cardiac Arrhythmias of Federal Scientific Clinical Center
E-mail: verakom@list.ru. ORCID: 0000-0002-3691-7449. SPIN:4996-3220
Dmitry Besporotchny¹, MD, Center for Syncope and Cardiac Arrhythmias
E-mail: dr.blad@mail.ru. ORCID: 0000-0002-3699-2289

¹ Federal Scientific and Clinical Center for Children and Adolescents of the Federal Medico Biological Agency
² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Professional Education, Russian Medical Academy of Postgraduate Education of the Ministry of Health of the Russian Federation
³ Federal State Budgetary Institution, Federal Scientific and Clinical Center, Academy of Postgraduate Education of the Federal Medico Biological Agency
⁴ State Scientific Center, Federal State Budgetary Scientific Institution, Russian Scientific Center of Surgery named after Academician B.V. Petrovsky
⁵ Federal State Budgetary Scientific Institution, Medical and Biological Center named after Academician N.P. Bochkov

Contact information

Leonid Makarov. E-mail: dr.leonidmakarov@mail.ru

For citation: Makarov L.M., Akopyan A.G., Zaklyazminskaya E.V., Komolyatova V.N., Besporotchny D.A. The QRS and T wave alternans — a new ECG pattern in Long QT syndrome. Medical alphabet. 2024;(30):10–14. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-10-14>



Оптимизация способа наложения грудных электродов при регистрации электрокардиограммы у новорожденных и детей массой тела менее 4000 г

Н.В. Харламова¹, М.Ю. Ласкина¹, Н.А. Шилова¹, М.Ю. Блохин²

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Ивановский научно-исследовательский институт материнства и детства имени В.Н. Городкова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, отдел неонатологии и клинической неврологии детского возраста

² ООО «Нейрософт»

РЕЗЮМЕ

Для проведения электрокардиографического исследования у новорожденных детей и детей массой тела до 4000 г разработаны и предложены специализированные устройства для одновременной фиксации 6 грудных электродов в 3 вариантах для детей массой тела до 1900 г, от 2000 г до 3000 г, и от 3000 г до 4000 г. Устройства позволяют качественно, стабильно и безопасно зафиксировать грудные электроды на грудной клетке ребенка, в том числе низкой массы тела.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрокардиография, новорожденные дети, устройство для фиксации грудных электродов.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Optimization of the method of applying thoracic electrodes during registration electrocardiograms in newborns and children weighing less than 4000 g

N.V. Kharlamova¹, M.Yu. Laskina¹, N.A. Shilova¹, M.Yu. Blokhin²

¹ Federal State Budgetary Institution «Ivanovo Research Institute of Maternal and Childhood named after V.N. Gorodkov» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Department of Neonatology and clinical Neurology of Childhood

² ООО «Neurosoft»

SUMMARY

Specialized devices for fixing thoracic electrodes in newborns and children weighing up to 4000 g have been developed. The devices are offered in 3 versions: for children weighing up to 2000 g, from 2000 g to 3000 g and from 3000 g to 4000 g. The devices allow high-quality, stable and safe fixation of thoracic electrodes on the chest of a child, including low body weight.

KEYWORDS: electrocardiography, newborn babies, device for fixing thoracic electrodes.

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

Введение

Актуальность работы определяется сложностью регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) у новорожденных детей, особенно у недоношенных, связанной с техническими трудностями при наложении электродов на грудную клетку [1]. Малый размер грудной клетки новорожденного, особенно у недоношенных и маловесных детей, и относительно большой размер фиксирующей части электродов делает задачу одновременного размещения всех шести электродов для регистрации грудных отведений сложно выполнимой. Кроме того, небольшой размер грудной клетки новорожденного затрудняет точное определение анатомических ориентиров для правильного расположения грудных электродов. Особенно это касается новорожденных очень низкой и экстремально низкой массы тела.

Для детей раннего возраста, в том числе новорожденных детей, необходимо, чтобы электроды, накладываемые на конечности и грудную клетку, были сделаны

с закругленными краями, чтобы острые края не поранили нежную кожу ребенка. Электроды, накладываемые на конечности, должны иметь размеры не более 30×20 мм, а электроды, накладываемые на грудную клетку (грудные электроды) должны быть круглой формы диаметром не более 10 мм.

В клинической практике в настоящее время для фиксации грудных электродов для проведения ЭКГ у детей используются следующие способы крепления электродов к коже ребенка: с помощью липкой основы у одноразовых электродов, с помощью присасывающей чаши у много-разовых электродов, и имеется рекомендация по использованию у новорожденных системы наложения грудных электродов в одну линию, расположенную в 5 межреберье, с помощью резиновой манжеты с жестко зафиксированными на ней электродами, электрические проводники от которых выводятся за пределы одежды ребенка после его пеленания [2].

В клинической практике, особенно в отделении реанимации и интенсивной терапии для регистрации ЭКГ у детей используются одноразовые электроды FIAB Spa (Италия) с изолированными проводниками длиной 45 см, фиксация которого на коже обеспечивается липкой частью из пеноматериала. При этом большие размеры (23 на 30 мм) адгезивной части электродов не позволяют установить все 6 электродов на грудную клетку новорожденного одновременно, часто используются только 3 таких электрода (установка «через один»). При этом четкая интерпретация ЭКГ параметров в этом случае трудновыполнимая задача, поскольку невозможно зарегистрировать ЭКГ синхронно во всех грудных отведениях. Кроме того, при наклеивании электрода на кожу ребенка возможно раздражение кожи и возникновение опрелости, и эти электроды не подлежат повторному использованию.

Имеется возможность использования для регистрации ЭКГ у детей детских многоразовых присасывающихся грудных электродов. Размер (диаметр) самой маленькой детской присасывающейся чашечки составляет 15 мм, что также не позволяет установить все 6 электродов на грудную клетку новорожденного одновременно. Кроме того, металлические края чашек электродов могут травмировать нежную кожу новорожденного, особенно глубоко недоношенного ребенка, а при плотной установке контактировать между собой, вызывая искажения формы ЭКГ одновременно в нескольких грудных отведениях. С использованием этих электродов невозможно выполнить длительную регистрацию ЭКГ, в частности оценить вариабельность ритма сердца.

Использование резиновой манжеты с жестко зафиксированными на ней электродами и наложение ее в одну линию в 5 межреберье создает возможность ошибочной интерпретации электрокардиограммы.

В настоящее время отсутствуют сведения о специализированных устройствах для фиксации грудных электродов для проведения одновременной регистрации электрокардиографических сигналов от всех 6 грудных электродов у новорожденных детей, в том числе массой тела до 1500 г – с возможностью длительной записи для анализа вариабельности ритма сердца.

Цель работы

Разработать и предложить к использованию в практическом здравоохранении специализированные устройства для фиксации грудных электродов для проведения элек-

трокардиографии у новорожденных детей, в том числе с массой тела до 2000 г, от 2000 до 3000 г и от 3000 до 4000 г.

Материалы и методы

Проведено измерение расположения прекардиальных электродов на грудной клетке у 25 новорожденных детей, в том числе 10 – у детей массой тела от 2000 г до 3000 г, 10 – от 3000 г до 4000 г, и у 5 детей – до 1999 г, в соответствии со стандартным расположением точек для регистрации общепринятых отведений.

Результаты

На основании полученных измерений создана модель устройства для фиксации 6 грудных отведений на грудной клетке новорожденного одновременно (рис. 1).

Устройство представляет собой гибкую пластину с закругленными углами из термопластичного полиуретана (рис. 1), размеры пластины зависят от массы тела ребенка (таблица), с расположенными на ней шестью отверстиями диаметром 10,9 мм с внутренней стороны и 6,0 мм с наружной стороны для крепления грудных электродов и двумя отверстиями диаметром 5,2 мм с внутренней стороны и 14 мм с наружной стороны (рис. 2) (1) для крепления полиуретановых фиксаторов (рис. 3) для крепления резиновой перфорированной медицинской ленты шириной 2,0 см и длиной 40–50 см.

Отверстия для фиксации электродов с внутренней стороны пластины имеют углубления, равные 0,9 мм с диаметром 10,9 мм, что позволяет полностью погрузить электроды в толщу пластины для их фиксации и добиться того, что поверхность электрода и внутренняя поверхность пластины находятся на одной линии соприкосновения с кожей ребенка, что обеспечивает плотный контакт электродов с кожей ребенка. Отверстия для крепления полиуретановых фиксаторов для крепления резиновой

Таблица
Параметры гибкой пластины для регистрации грудных отведений у новорожденных в зависимости от массы тела

Параметры гибкой пластины для новорожденных	Масса тела ребенка, г		
	До 2000	2000–3000	3000–4000
Длина пластины, мм	110	121	144
Ширина пластины, мм	40	43	50
Толщина пластины, мм	2	2	2



Рисунок 1. Пластина для фиксации грудных электродов. 1 – отверстия для фиксаторов, 2 – отверстие для крепления электрода для регистрации V1 грудного отведения, 3 – отверстие для крепления электрода для регистрации V2 грудного отведения, 4 – отверстие для крепления электрода для регистрации V3 грудного отведения, 5 – отверстие для крепления электрода для регистрации V4 грудного отведения, 6 – отверстие для крепления электрода для регистрации V5 грудного отведения, 7 – отверстие для крепления электрода для регистрации V6 грудного отведения



Рисунок 2. Пластина для фиксации грудных электродов для регистрации ЭКГ у ребенка массой тела менее 2000 г, зафиксированная фиксаторами на резиновой перфорированной ленте



Рисунок 3. Фиксаторы для прикрепления пластины к перфорированной медицинской ленте



Рисунок 4. Пример использования устройства для фиксации грудных электродов для проведения ЭКГ у новорожденного ребенка массой тела от 3000 до 4000 г. Фото выполнено на манекене

медицинской ленты с внутренней стороны пластины также имеют углубления, равные 1 мм с диаметром 14 мм, что позволяет полностью погрузить широкое основание полиуретановых фиксаторов в толщу пластины и добиться того, что поверхность широкого основания фиксаторов и внутренняя поверхность пластины находятся на одной линии соприкосновения с кожей ребенка.

Полиуретан, из которого выполнены пластина для фиксации электродов и фиксаторы, является гипоаллергенным материалом, что обеспечивает безопасность его применения для кожи новорожденного, а эластичные свойства этого материала обеспечивают прилегание пластины к коже ребенка. Полиуретан является рентгенопроницаемым материалом, что обеспечивает возможность непрерывной длительной регистрации ЭКГ в условиях высокой частоты рентгенологических исследований у новорожденных, проходящих лечение в отделениях реанимации и интенсивной терапии, не прерывая кардиологическое обследование на время рентгенодиагностики.

В отверстия в пластине вставляются плоские предварительно соединенные с кабелем («pre-wired») ЭКГ электроды диаметром не более 10 мм. При использовании одноразовых электродов, таких как FIAB S.P.A (Италия) или Skintact PD50-SFC (Австрия) с них предварительно удаляют липкую основу.

Отверстия для фиксации электродов обеспечивают стандартизацию размещения электродов на грудной клетке в соответствии с анатомически правильными ориентирами и одновременную регистрацию электрокардиографических сигналов от всех 6 грудных электродов. Так, пластина с вставленными в нее грудными электродами накладывается на переднюю поверхность грудной клетки ребенка таким образом, чтобы электроды, вставленные в отверстия 2 и 3 (рис. 1) располагались горизонтально у правого и левого края грудины в IV межреберии, что соответствует V1 и V2 грудным отведениям. При этом электрод, вставленный в отверстие 4, будет соответствовать грудному отведению V3, которое располагается на середине линии, соединяющей V2 и V4, электрод, вставленный в отверстие 5, – грудному отведению V4, которое располагается на левой срединно-ключичной линии в 5 межреберье, электрод, вставленный в отверстие 6, – грудному отведению V5, которое располагается на левой передней подмышечной линии на уровне V4, электрод, вставленный в отверстие 7, – грудному отведению V6, которое располагается на левой средней подмышечной линии на уровне V4.

Удобство применения данного устройства определяется еще и тем, что при наложении пластины с вставленными в нее грудными электродами необходимо определить только 2 анатомических ориентира – правый и левый край грудины в IV межреберии – и установить пластину таким образом, чтобы этим ориентирам соответствовали отверстия 2 и 3 пластины для фиксации электродов, что упрощает процесс наложения электродов.

Фиксация гибкой пластины на теле ребенка осуществляется при помощи резиновой перфорированной медицинской ленты (рис. 2), прикрепление которой на пластину производится при помощи полиуретановых фиксаторов (рис. 3) широкое основание которых прилегает к коже грудной клетки, а конус вставляется в отверстие для крепления полиуретанового фиксатора, а затем в отверстие резиновой перфорированной медицинской ленты. Отверстия, расположенные на резиновой ленте, обеспечивают возможность регулировки длины ленты в зависимости от объема грудной клетки ребенка, тем самым обеспечивается плотная фиксация электродов к коже ребенка и длительная регистрация ЭКГ.

Алгоритм действия при регистрации ЭКГ с помощью предлагаемого устройства

1. Регистрация электрокардиограммы проводится через 1 час после кормления.
2. Ребенка укладывают на спину, освобождают грудную клетку.
3. Перед наложением пластины для фиксации электродов на грудную клетку место наложения обрабатывается раствором безводного антисептика, накладывается электропроводный гель. После чего гибкая пластина с вставленными в нее грудными электродами накладывается на переднюю поверхность грудной клетки ребенка таким образом, чтобы электроды, вставленные в отверстия 2 и 3, располагались горизонтально у правого и левого края грудины в IV межреберии, что соответствует V1 и V2 грудным отведениям.
4. Пластина закрепляется на теле ребенка резиновой перфорированной медицинской лентой, прикрепление которой на пластину производится при помощи полиуретановых фиксаторов. Регулировка длины ленты производится в зависимости от объема грудной клетки ребенка при помощи перестановки полиуретановых фиксаторов в отверстия ленты.
5. Закрепление электродов на конечностях для регистрации стандартных отведений проводится с использова-

нием многоцветных детских электродов-клемм для ЭКГ на конечности или многоцветных ремешков-электродов для электрокардиографии на конечности для детей.

6. Ребенка пеленают, успокаивают.
7. Проводят запись электрокардиограммы в течение 25 с, при необходимости – вариабельности ритма сердца (в течение 5 минут). Для регистрации ЭКГ у новорожденных применялся 12-канальный электрокардиограф «Полиспектр-8» (ООО «Нейрософт», г. Иваново). Использование данной системы позволяет качественно регистрировать ЭКГ даже у новорожденных массой тела менее 1000 г.

Новизна предлагаемых устройств подтверждена регистрацией полезной модели: Патент № 227187 от 11.07.2024 «Устройство для фиксации грудных электродов для проведения электрокардиографии у новорожденных детей с массой тела от 2000 до 3000 г» [3], патент № 227453 от 22.07.2024 «Устройство для фиксации грудных электродов для проведения электрокардиографии у новорожденных детей с массой тела от 3000 до 4000 г» [4], патент № 229120 от 23.09.2024 «Устройство для фиксации грудных электродов для проведения электрокардиографии у новорожденных детей с массой тела до 1999 г.» [5].

После разработки предлагаемого устройства и получения патентов на полезную модель и положительного решения на его выдачу решением локального этического комитета ФГБУ «Ив НИИ МиД им.В.Н.Городкова» Минздрава России разработанные устройства были одобрены для ограниченного применения в целях клинического опробования для регистрации ЭКГ у новорожденных детей, находящихся на лечении в неонатологических отделениях института.

Предлагаемые устройства были применены для регистрации ЭКГ новорожденным, находящимся на лечении в отделениях реанимации и интенсивной терапии новорожденных, отделении выхаживания недоношенных де-

тей, детском отделении акушерской клиники ФГБУ «Ивановский НИИ материнства и детства им. В.Н. Городкова» Министерства здравоохранения Российской Федерации.

Таким образом, предлагаемое устройство позволяет качественно, стабильно и безопасно зафиксировать грудные электроды для ЭКГ на коже грудной клетки ребенка, учитывая индивидуальную вариабельность размеров грудной клетки пациента, что определенным образом стандартизирует условия обследования и повышает достоверность полученных результатов, обеспечивает достаточную продолжительность обследования по времени. Устройство удобно в применении и обработке дезинфицирующими средствами, пригодно для многоцветного использования, является рентгенпрозрачным, что позволяет использовать его во время рентгенодиагностики.

Список литературы / References

1. Последовательность выполнения основных манипуляций в неонатологической практике / А.Д. Царегородцев, Е.Н. Байбарина, И.И. Рюмина и др. – Новосибирск: Сибирский успех, 2008; Партнеры Сибири, 2008. – 48 с. Sequence of performing basic manipulations in neonatological practice / A.D. Tsaregorodtsev, E.N. Baibarina, I.I. Ryumina, et al. – Novosibirsk: Siberian Success, 2008; Partners of Siberia, 2008. – 48 p.
2. Неонатальная кардиология: руководство для врачей / А.В. Прахов; Н. Новгород: Издательство Нижегородской государственной медицинской академии, 2017. – 464 с. Neonatal cardiology: a guide for doctors / A. V. Prakhov; N. Novgorod: Publishing House of the Nizhny Novgorod State Medical Academy, 2017. – 464 p.
3. Патент на полезную модель № 227187 от 11.07.2024 «Устройство для фиксации грудных электродов для проведения электрокардиографии у новорожденных детей с массой тела от 2000 до 3000 г». Utility Model Patent No. 227187 dated 11.07.2024 «Device for fixing chest electrodes for electrocardiography in newborns weighing from 2000 to 3000 g».
4. Патент на полезную модель № 227453 от 22.07.2024 «Устройство для фиксации грудных электродов для проведения электрокардиографии у новорожденных детей с массой тела от 3000 до 4000 г». Utility Model Patent No. 227453 dated 22.07.2024 «Device for fixing chest electrodes for electrocardiography in newborns weighing from 3000 to 4000 g».
5. Патент на полезную модель № 229120 от 23.09.2024 «Устройство для фиксации грудных электродов для проведения электрокардиографии у новорожденных детей с массой тела до 1999 г». Utility Model Patent No. 229120 dated 23.09.2024 «Device for fixing chest electrodes for electrocardiography in newborns weighing less 1999 g».

Статья поступила / Received 06.10.2024
Получена после рецензирования / Revised 02.11.2024
Принята в печать / Accepted 02.11.2024

Информация об авторах

Харламова Наталья Валерьевна¹, д.м.н., заведующая отделом неонатологии и клинической неврологии детского возраста, профессор кафедры акушерства и гинекологии, неонатологии, анестезиологии и реаниматологии
E-mail: nataliakhar13@yandex.ru. ORCID /0000-0003-2867-1693.

Ласкина Марина Юрьевна¹, м.н.с. отдела неонатологии и клинической неврологии детского возраста
ORCID: 0000-0002-7285-6065

Шилова Наталья Александровна¹, д.м.н., старший научный сотрудник отдела неонатологии и клинической неврологии детского возраста, доцент кафедры акушерства и гинекологии, неонатологии, анестезиологии и реаниматологии
E-mail: shilova37@gmail.com. ORCID 0000-0001-9623-2575

Блохин Максим Юрьевич², специалист по продукции для электрокардиографического исследования, ведущий программист
E-mail: blokhin@neurosoft.com. ORCID 0009-0003-4211-4794

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Ивановский научно-исследовательский институт материнства и детства имени В.Н. Городкова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, отдел неонатологии и клинической неврологии детского возраста

² ООО «Нейрософт»

Контактная информация:

Харламова Наталья Валерьевна. E-mail: nataliakhar13@yandex.ru

Author information

N.V. Kharlamova
M.Yu. Laskina
N.A. Shilova
M.Yu. Blokhin

¹ Federal State Budgetary Institution «Ivanovo Research Institute of Maternal and Childhood named after V.N. Gorodkov» of the Ministry of Health of the Russian Federation, Department of Neonatology and clinical Neurology of Childhood

² ООО «Neurosoft»

Contact information

N.V. Kharlamova. E-mail: nataliakhar13@yandex.ru

Для цитирования: Харламова Н.В., Ласкина М.Ю., Шилова Н.А., Блохин М.Ю. Оптимизация способа наложения грудных электродов при регистрации электрокардиограммы у новорожденных и детей массой тела менее 4000 г. Медицинский алфавит. 2024;(30):16–19. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-16-19>

For citation: Kharlamova N.V., Laskina M.Yu., Shilova N.A., Blokhin M.Yu. Optimization of the method of applying thoracic electrodes during registration electrocardiograms in newborns and children weighing less than 4000 g. Medical alphabet. 2024;(30):16–19. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-16-19>

Нарушения сердечного ритма и проводимости у детей с брадиаритмиями при длительном мониторинге ЭКГ

Е.Б. Полякова, Т.А. Трофимова, М.А. Школьников

Научно-исследовательский клинический институт педиатрии и детской хирургии имени академика Ю.Е. Вельтищева, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н. И. Пирогова Минздрава РФ, Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

Синкопальные состояния у детей с брадиаритмиями могут быть жизнеугрожающими, их дифференцировка важна при обследовании любого ребенка с обмороками. У детей окончательно не определены факторы риска неблагоприятного прогноза и прогрессирования брадиаритмий, приводящие к развитию аритмогенных обморочных состояний. **Целью** было определить диагностическую значимость методики имплантируемых кардиомониторов (ИКМ) и выявить электрокардиографические и электрофизиологические предикторы развития синкопальных состояний детей с брадиаритмиями. **Материал и методы.** Авторы анализируют группу из 191 детей с брадиаритмиями, рецидивирующими обмороками и ИКМ. В обследование пациентов была включена электрокардиография (ЭКГ), эхокардиография (ЭХО-КГ), холтеровское мониторирование (ХМ) ритма, электрофизиологическое исследование (ЭФИ), проба с физической нагрузкой, анализ данных семейного анамнеза. **Результаты.** У 96 из 191 детей получен положительный результат длительного мониторирования сердечного ритма. 16 из 96 детей имели структурные болезни сердца – врожденные пороки сердца, кардиомиопатии. У 30% пациентов с брадиаритмиями во время синкопальных состояний были документированы эпизоды аритмии, а бессимптомные аритмии отмечались у 43% детей. Аритмогенные синкопальные состояния составили 7,5% среди всех зарегистрированных обморочных состояний и 5% среди положительных результатов мониторирования. У 48% детей во время обмороков зарегистрирован синусовый ритм, у 2% пациентов отмечалось сочетание аритмогенных и неаритмогенных синкопе. Частотные характеристики стандартной ЭКГ и ХМ у пациентов с симптомными аритмиями достоверно не отличались как от пациентов с бессимптомными эпизодами аритмий, так от пациентов с синусовым ритмом во время синкопе. **Заключение.** Диагностическая значимость ИКМ для выявления причины рецидивирующих обмороков среди детей с брадиаритмиями составляет 50%. Аритмогенный генез синкопальных состояний подтвержден у 7,5% детей с брадиаритмиями. Частотные характеристики сердечного ритма и электрофизиологические показатели предшествующего обследования не являются предикторами развития синкопальных состояний у детей с брадиаритмиями. Длительное мониторирование ритма с помощью ИКМ позволяет выделить из всех пациентов с брадиаритмиями детей с жизнеугрожающими аритмогенными состояниями и провести профилактику внезапной сердечной смерти (ВСС).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: брадиаритмии, синдром слабости синусового узла, атриовентрикулярная блокада, обмороки у детей, аритмогенные синкопальные состояния, имплантируемые кардиомониторы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Cardiac rhythm and conduction disturbances in children with bradyarrhythmias during long-term ECG monitoring

E.B. Polyakova, T.A. Trofimova, M.A. Shkolnikov

Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics and Childrens Surgery at the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

SUMMARY

The syncope in children with bradyarrhythmias can be life-threatening and their differentiation is important in the evaluation of any child with syncope. In children risk factors for the poor prognosis and progression of bradyarrhythmias leading to the development of arrhythmogenic syncope have not been definitively determined. **The aim** was to determine the diagnostic significance of the implantable cardiac monitors (ICM) method and identify electrocardiographic and electrophysiological predictors of the development of syncope in children with bradyarrhythmias. **Material and methods.** The authors analyze the group of 191 children with bradyarrhythmias, recurrent syncope and ICM. The examination of patients included electrocardiography (ECG), echocardiography (ECHO-CG), Holter monitoring (HM) of rhythm, electrophysiological study (EHS), exercise test, and analysis of family anamnesis data. **Results.** 96 out of 191 children had positive result of long-term cardiac monitoring. 16 out of 96 children had structural heart diseases – congenital heart defects, cardiomyopathies. Episodes of arrhythmias were documented in 30% of children during syncope and asymptomatic arrhythmias were observed in 43% of children. Arrhythmogenic syncope accounts for 7,5% of all registered syncope and 5% of positive monitoring results. Sinus rhythm during syncope was registered in 48% of children, and 2% of patients had a combination of arrhythmogenic and non-arrhythmogenic syncope. The heart rhythm characteristics of standard ECG and HM in patients with symptomatic arrhythmias did not differ significantly from either patients with asymptomatic episodes of arrhythmias or patients with sinus rhythm during syncope. **Conclusion.** The diagnostic significance of the ICM for identifying the cause of recurrent syncope in children with bradyarrhythmias is 50%. Arrhythmogenic genesis of syncope has been confirmed in 7.5% of children with bradyarrhythmias. The heart rate characteristics and electrophysiological parameters of the previous examination are not predictors of the development of syncope in children with bradyarrhythmias. Long-term cardiac monitoring of ICM can identify children with life-threatening arrhythmogenic syncope from all patients with bradyarrhythmia and make the prevention of sudden cardiac death (SCD).

KEYWORDS: bradyarrhythmias, sick sinus syndrome, atrioventricular block, syncope in children, arrhythmogenic syncope, implantable cardiac monitors.

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

Введение

Брадиаритмии (синдром слабости синусового узла, атриоventрикулярные блокады высоких степеней, бинодальная болезнь) – состояния, которые угрожаемы по развитию аритмогенных обморочных состояний и ВСС, могут потребовать реанимационных мероприятий или имплантации антиаритмического устройства [1, 2]. Однако у детей, как и взрослой популяции, среди обморочных состояний преобладают с частотой до 80% неугрожающие рефлекторные синкопальные состояния. Также значительную часть до 37% занимают синкопальные состояния неясной этиологии, которые могут скрывать под собой аритмогенные обмороки [3]. Диагностировать именно жизнеугрожающие аритмогенные эпизоды и при необходимости направить пациента на имплантацию антиаритмических устройств, тем самым проведя своевременную профилактику ВСС, – важная задача, которая может быть решена регистрацией ЭКГ в течение длительного времени. Имплантируемые регистраторы ЭКГ работающие по петлевому принципу, сделали возможным длительный мониторинг сердечного ритма в течение нескольких лет, регистрируя наличие или отсутствие аритмии во время редких приступов потери сознания или сердцебиения. ИКМ применяются достаточно широко у взрослых пациентов с обмороками, сердцебиениями, кардиомиопатиями, фибрилляцией предсердий как для выявления этиологии синкопальных состояний, так и выявления бессимптомных нарушений сердечного ритма, в частности, брадиаритмий [3, 4]. Также мониторы длительной регистрации ЭКГ используются для ранней диагностики и лечения сердечных аритмий у пациентов с неврологическими заболеваниями – эпилепсией, криптогенным инсультом и др. [5, 6, 7]. Ряд зарубежных авторов исследует значимость имплантированных мониторов ЭКГ в диагностике бессимптомных аритмий и аритмогенных синкопальных состояний у детей с сердечными каналопатиями, кардиомиопатиями, нейро-мышечными и другими заболеваниями [10–13], определены показания для имплантации кардиомониторов у детей [Shah MJ, 2021]. В РФ исследования применения методики ИКМ у детей и подростков представлены единичными работами [8, 9]. В тоже время, несмотря на проводимые исследования у пациентов детского возраста, окончательно не определены факторы риска неблагоприятного течения и прогрессирования брадиаритмий, которые приводят к развитию аритмогенных синкопальных состояний [15].

Целью работы было определить диагностическую значимость методики ИКМ для определения причины рецидивирующих обмороков у детей с брадиаритмиями и выявить среди ЭКГ и электрофизиологических признаков факторы риска, которые являются предикторами развития синкопальных состояний

Материалы и методы

Имплантация кардиомонитора была проведена 191 ребенку с рецидивирующими синкопальными состояниями и брадиаритмиями. У всех пациентов были диагностированы «синдром слабости синусового узла», «атривентрикулярная блокада I–II степени» или их сочетание.

Диагноз «синдром слабости синусового узла» был установлен согласно клинко-ЭКГ классификации Школьниковой М.А., применяемой в педиатрии [16]. Согласно данной классификации для начальных ЭКГ проявлений синдрома (дисфункции синусового узла) достаточно наличия изолированной брадикардии при нормальных возрастных значениях электрофизиологических показателей. Возраст пациентов составлял от 1 до 17 лет (в среднем $12,422 \pm 4,4$ года), 46% – мальчики. Всем детям для уточнения причин рецидивирующих обмороков до имплантации кардиомонитора проведено обследование по расширенному протоколу, включающее сбор анамнеза с детальной оценкой характеристик синкопе, тщательный анализ данных семейного анамнеза, общий анализ крови и мочи, ЭКГ в 12 отведениях в положении лежа и стоя, 24-часовое ХМ ЭКГ, ЭХО-КГ с доплерографией сосудов.

Тест с дозированной физической нагрузкой (тредмил-тест) и активная клиноортостатическая проба выполнены у 83% детей в возрасте старше 7 лет, пассивная клиноортостатическая проба (тилт-тест) проведена для исключения рефлекторного генеза синкопе у 25% пациентов старше 8 лет, во всех случаях тест был отрицательный. В анализ включены данные инвазивного ЭФИ: время восстановления функции синусового узла (ВВФСУ), корригированное время восстановления функции синусового узла (КВВФСУ), точка Венкебаха атриоventрикулярного соединения. Результаты проведенного кардиологического обследования не позволили однозначно установить генез рецидивирующих синкопальных состояний, что послужило основанием для имплантации кардиомониторов. В семейном анамнезе нами анализировалось наличие обморочных состояний, нарушений сердечного ритма, схожих с пациентом, ВСС в возрасте до 40 лет у родственников пациентов первой и второй линии родства.

Из 191 ребенка у 96 был получен положительный результат имплантации кардиомонитора. Положительным результатом применения ИКМ считалась регистрация ЭКГ во время синкопального состояния и регистрация бессимптомных эпизодов аритмии. Согласно международной классификации ЭКГ феноменов, выявляемых при проведении длительного мониторирования, значимыми аритмическими событиями считались эпизоды асистолии более 3 сек., эпизоды брадикардии с частотой сердечных сокращений (ЧСС) менее 30 уд/мин, эпизоды фибрилляции предсердий, наджелудочковой и желудочковой тахикардии, однако синусовая брадикардия наряду с остановкой синусового узла предполагает рефлекторный генез обморока [17].

Проведенное исследование когортное, нерандомизированное. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом НИКИ педиатрии и детской хирургии им. Академика Ю.Е. Вельтищева. Родителями детей было подписано информированное согласие, форма которого утверждена этическим комитетом института.

Для оценки взаимосвязей признаков использовался критерий Хи-квадрата и коэффициент корреляции V-Крамера. Для сравнения количественных переменных, не имеющих статистически нормальное распределение, применялся непараметрических критерий для независимых выборок.

Результаты

Подробные результаты представлены для 96 пациентов с положительным результатом имплантации ИКМ. Частота обморочных состояний у обследованных нами детей составила от 1 раза в неделю до 1 раза в год, и достоверно не различалась у пациентов до (среднем $7,5 \pm 13,1$ в год) и после (в среднем $5,5 \pm 11,1$ в год) имплантации регистратора. У большинства наших пациентов (94%) синкопальные состояния развивались вне связи с определенными провоцирующими факторами, что и вызвало трудности в определении этиологии синкопе. Однако, также мы отметили сочетание с другими провоцирующими синкопе ситуациями – с духотой у 19% детей, с длительным ортостазом в 17% случаев, с болевыми раздражителями и медицинскими манипуляциями по 11% случаев.

По данным ЭХО-КГ у 16 из 96 детей отмечены органические особенности сердца – врожденные пороки сердца, кардиомиопатии. У 2 из этих детей имелся корригированный порок сердца: у одного неполная атриовентрикулярная коммуникация в сочетании с вторичным дефектом межпредсердной перегородки, а у второго – дефект межпредсердной и дефект межжелудочковой перегородки. Были диагностированы также следующие пороки развития сердца: аортальная недостаточность 1 степени ($n=3$), аортальная недостаточность 2 степени ($n=1$), порок аортального клапана с преобладанием стеноза (двустворчатый аортальный клапан, клапанный стеноз аорты, недостаточность аортального клапана 1–2 степени) ($n=1$), аномалия Эбштейна ($n=1$), дефект межпредсердной перегородки размерами 2 и 4,5 мм без гемодинамической перегрузки ($n=2$), гипоплазия левой коронарной створки аортального клапана без регургитации ($n=1$), недостаточность клапана легочной артерии 2 степени ($n=1$). У одного пациента имелся пролапс митрального клапана с миксоматозом с регургитацией 1,5+, у 2 детей диагностирована гипертрофическая асимметрическая необструктивная кардиомиопатия, а у одного ребенка была заподозрена аритмогенная дисплазия правого желудочка, пока не подтвержденная по данным магнитно-резонансной томографии. Состояние пациентов с пороками сердца и кардиомиопатиями не требовало хирургической коррекции, показаний для имплантации антиаритмических устройств не было выявлено.

У всех 96 детей до имплантации кардиомонитора уже были диагностированы брадиаритмии: у 66 – синдром слабости синусового узла, у 22 – атриовентрикулярные блокады I–II степени и у 8 – синдром слабости синусового узла в сочетании с атриовентрикулярной блокадой. По данным 24-часового мониторирования ЭКГ отсутствовала критическая брадикардия и паузы ритма более 3 с, а по данным активной клиноортостатической пробы выявились нарушения вегетативного обеспечения сердечно-сосудистой системы, что не позволяло исключить рефлекторный генез повторных обмороков.

В период регистрации ИКМ у 21 из 96 детей с положительным результатом проведения ИКМ развитие синкопальных состояний сопровождалось эпизодами аритмий, среди которых в 95% преобладали брадиаритмии в виде эпизодов асистолии ($n=19$) длительностью от 3 до 30 сек или сочетания резко выраженной брадикардии с ЧСС менее 30 уд/мин с эпизодами асистолии ($n=2$). В двух случаях причиной асистолии послужило развитие полной атриовентрикулярной блокады, у остальных 17 пациентов – остановка синусового узла. Только у 1 пациента во время синкопального состояния был зарегистрирован короткий пароксизм фибрилляции предсердий с частотой сокращения желудочков 280 уд/мин.

На рис. 1, 2, 3 представлены примеры сердечных аритмий, зарегистрированных на ЭКГ ИКМ детей с брадиаритмиями.

Синусовый ритм во время синкопе по результатам длительного мониторирования был документирован у 27 пациентов, а еще в 11 случаях синусовый ритм во время обморока сочетался с эпизодами бессимптомных аритмий в течение регистрации. Эпизоды бессимптомных аритмий, зарегистрированные в автоматическом режиме ИКМ, отмечались у 29 детей (у 11 из них в сочетании с зарегистрированным синусовым ритмом во время обморока). Среди бессимптомных аритмий также значительно преобладали брадиаритмии в виде эпизодов асистолии (87%) или резко выраженной брадикардии (10%). Единичные случаи коротких бессимптомных пароксизмов наджелудочковой тахикардии с ЧСС до 190 уд/мин были зарегистрированы у 1 ребенка (3%). У 8 пациентов во время синкопального состояния были зарегистрированы эпизоды асистолий



Рисунок 1. Фрагмент ЭКГ ИКМ девочки М., 16 лет. Эпизод бессимптомной асистолии за счет полной атриовентрикулярной блокады длительностью 9 с в дневное время. В анамнезе – обмороки неясной этиологии, без провоцирующих факторов, при обследовании транзиторная атриовентрикулярная блокада I степени

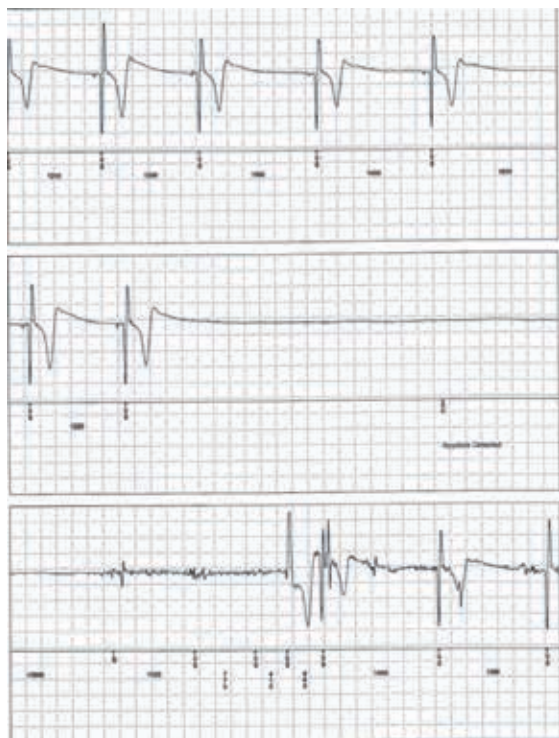


Рисунок 2. Фрагмент ЭКГ ИКМ девочки И., 15 лет. Эпизод симптомной асистолии за счет остановки синусового узла длительностью 9 с в вечернее время без провоцирующих факторов. С рождения диагностирован ВПС: аномалия Эбштейна. В анамнезе – обмороки неясной этиологии без провоцирующих факторов или на фоне психо-эмоционального стресса. При обследовании минимальные признаки синдрома слабости синусового узла



Рисунок 3. Фрагмент ЭКГ ИКМ девочки О., 4-х лет. Эпизод симптомной асистолии за счет каскада асистолий и остановки синусового узла длительностью 12 с в дневное время без провоцирующих факторов. В анамнезе – обмороки неясной этиологии без провоцирующих факторов. При обследовании минимальные признаки синдрома слабости синусового узла

(у двух за счет атриовентрикулярной блокады, у 6 за счет остановки синусового узла), а другой обморок сопровождался синусовым ритмом.

Согласно классификации ЭКГ-феноменов, документированных в момент спонтанных синкопе [17], в нашем исследовании к обморокам аритмогенного генеза были отнесены состояния, во время которых зарегистрированы эпизоды асистолий за счет атриовентрикулярной блокады

без предшествующей нарастающей брадикардии (всего 4) и эпизоды фибрилляции предсердий (всего 1). Таким образом, доля аритмогенных обмороков в нашем исследовании составила 7,5% (5 из 67) среди детей с брадиаритмиями, у которых за время мониторингирования ИКМ развились синкопальные состояния и 5% (5 из 96) среди всех пациентов с положительным результатом.

В связи с разделением пациентов в разные по численности группы из-за наличия сочетаний обмороков различного генеза с бессимптомными аритмиями, при вычислении усредненных значений частотных показателей мы объединили в одну группу детей с симптомными аритмиями ($n = 29$), и сравнивали их с группами пациентов с синусовым ритмом на синкопе ($n = 27$) и пациентов с бессимптомными аритмиями ($n = 29$).

Судороги во время обморочного состояния различной степени выраженности отмечались у 36 из 96 детей с положительным результатом проведения ИКМ.

Пациенты с эпизодами симптомных аритмий, эпизодами бессимптомных аритмий и пациенты с документированным синусовым ритмом во время обморока имеют примерно одинаковые значения частотных показателей по данным ХМ и электрофизиологических показателей по данным ЭФИ, усредненные значения которых представлены в таблице.

Обсуждение

Современные ИКМ демонстрируют высокую надежность, сохраняя до 98% аритмических эпизодов, а потери единичных эпизодов возникают в случае повторения нескольких аритмических событий в течение суток [7]. По данным некоторых авторов, значимость ИКМ в диагностике аритмических событий у детей с достигает 60% при ручной активации и 80% при автоматической активации записывающего устройства [18]. В нашей работе положительный результат имплантации кардиомонитора, или диагностическая значимость, составила 50% (96 из 191 пациента). В наших ранних работах эффективность методики ИКМ достигала 56%, однако исследовались пациенты с различной кардиальной патологией, а не только с брадиаритмиями [8, 9]. В данной работе перед нами также стояла задача поиска взаимосвязей показателей данных длительной регистрации ИКМ с данными кардиологического обследования, которое предшествовало имплантации регистратора.

Для выявления возможных взаимосвязей развития обмороков и данных семейного анамнеза, мы проанализировали наличие у членов семьи обмороков и аритмий, схожих с аритмиями пациентов, ВСС в возрасте до 40 лет

Таблица
Усредненные значения показателей максимальной продолжительности пауз ритма по данным ХМ, ЧСС минимальная за сутки по данным ХМ, ВВФСУ и КВВФСУ ($n = 96$, $Mean \pm St.dev$, $P \leq 0,05$)

	Макс. продолжительность пауз ритма по данным ХМ (мс)	ЧСС минимальная за сутки по данным ХМ (уд/мин)	ВВФСУ (мс)	КВВФСУ (мс)
Пациенты с симптомными аритмиями	2405±1060	54±10	1497±900	490±50
Пациенты с бессимптомными аритмиями	2200±1202	46±10	1423±720	480±23
Пациенты с синусовым ритмом на синкопе	2230±1100	49±12	1370±1010	475±24

у членов семьи. Из показателей обследования, которое предшествовало имплантации кардиомонитора, мы включали в анализ такие признаки как наличие у пациента органической патологии сердца, степень выраженности брадикардии менее 5 и менее 2 перцентилей относительно возрастных норм ЧСС на стандартной ЭКГ, минимальную ЧСС за сутки и снижение ЧСС более чем на 20% от возрастной нормы по данным ХМ, максимальную продолжительность пауз ритма, а также наличие пауз ритма более возрастной нормы по данным ХМ, значения ВВФСУ, КВВФСУ и точки Венкебаха по данным инвазивного ЭФИ. Для всех вышеперечисленных признаков нами не было выявлено достоверной взаимосвязи с развитием аритмогенного обморока или эпизода бессимптомной аритмии. Наличие аритмических событий бессимптомных или симптомных в течении длительной регистрации ритма у наших пациентов не было связано с частотными показателями как на стандартной ЭКГ, так и с данными ХМ. Наличие структурных заболеваний сердца по данным ЭХО-КГ у пациентов с брадиаритмиями также не оказывало влияния на вероятность развития эпизода симптомной или бессимптомной аритмии. Отсутствие достоверных взаимосвязей этих показателей демонстрирует, что данные предварительного обследования, включающего проведение стандартной ЭКГ, ЭХО-КГ, ХМ, ЭФИ, анализ данных генеалогического анамнеза, не являются предикторами развития симптомного или бессимптомного аритмического события.

Судороги во время обморочного состояния различной степени выраженности отмечались у 36 детей (38%). Взаимосвязь жизнеугрожающих аритмий и приступов судорог при эпилепсии описана в литературе, часто упоминаются именно брадиаритмии – икталная асистолия и брадикардия наряду с тахикардией, трепетанием предсердий и постикталными желудочковыми аритмиями [19, 20 21, 22]. Есть упоминания о частоте встречаемости сердечных аритмий у 24% пациентов с эпилепсией, но среди пациентов младше 18-ти лет с эпилепсией эта цифра значительно снижается до 4% случаев [21].

Аритмогенные синкопальные состояния составили 7,5% среди всех зарегистрированных обморочных состояний и 5% среди случаев с положительным результатом мониторингирования. Мы отметили высокую представленность эпизодов асистолий среди зарегистрированных эпизодов аритмий во время длительного мониторингирования ЭКГ в нашем исследовании – у 80% пациентов с аритмогенными синкопе развитие обморока во время регистрации ЭКГ путем ИКМ сопровождалось развитием асистолии за счет атриовентрикулярной блокады. Тахикардии зарегистрированы только у 1 ребенка с аритмогенным синкопе и у 1 ребенка с эпизодами бессимптомных аритмий. Среди бессимптомных аритмических событий также в 97% преобладали брадиаритмии, преимущественно за счет асистолий в 87% случаев. Такая высокая представленность эпизодов асистолии связана в первую очередь, с основным диагнозом «брадиаритмии» у наших детей. Кроме того, данный факт можно объяснить еще и лучшими диагностическими возможностями для диагностики

тахикардии в современных специализированных клиниках, что не требует длительного мониторингирования ЭКГ.

В процессе сбора и анализа данных, мы ожидали, что на этапе обследования до ИКМ дети с эпизодами симптомных аритмий продемонстрируют более длительные паузы ритма и большую степень брадикардии, т.к. сходные данные были описаны нами ранее [8]. Однако, по частотным характеристикам стандартной ЭКГ и ХМ, пациенты с симптомными аритмиями, в том числе с аритмогенными синкопе, достоверно не отличались как от пациентов с эпизодами бессимптомных аритмий, так и от пациентов с синусовым ритмом во время синкопе.

Полученные нами в этом исследовании данные свидетельствуют о том, что продолжительность пауз ритма не является определяющим фактором для развития обморочного состояния. В литературе есть указания на пороговую для развития потери сознания продолжительность асистолии в 8 сек, однако, речь идет об икталной асистолии у взрослых пациентов в ранней работе [23]. В целом, икталные брадиаритмии, регистрирующаяся по данным разных авторов в 2,1–6,7%, а иногда и до 21% случаев, сочетаются с глубокой гипоксией и могут являться одной из причин ВСС и синкопе [19, 24]. При этом для икталной брадикардии описано снижение пульса до 20–40 уд/мин [20], а максимальная длительность пауз ритма не уточняется, есть указания только на критическую продолжительность в десятки секунд и более асистолию для снижения церебрального кровотока и ВСС [19, 24]. В одной из работ есть описание развития внезапной смерти у 7 из 13 пациентов с эпилепсией, у которых при длительном мониторингировании регистрировались постикталные асистолии, хотя приведенная в литературе самая длительная из зарегистрированных асистолий в 96 сек купировалась самостоятельно [19].

По нашему мнению, развитие обморока связано, вероятно, с индивидуальной чувствительностью центральной нервной системы ребенка к гипоксии, которая возникает во время длительной асистолии или выраженной брадикардии. Этими же особенностями центральной нервной системы у ребенка, перенесшего обморочное состояние любой этиологии, мы можем объяснить сочетание обморочных состояний аритмогенного и неаритмогенного генеза у некоторых наших пациентов. У 2 из 96 детей (2%) во время развития обморока был документирован синусовый ритм, а другое синкопальное состояние сопровождалось развитием спонтанной АВ блокады. Сочетание обмороков различной этиологии у одного ребенка также было описано в литературе [8], и в случае регистрации синкопе без нарушений сердечного ритма этот факт является обоснованием для продолжения регистрации ритма ИКМ до истечения срока службы батареек.

У всех пациентов с обмороками, в том числе с органической патологией сердца, также как при обмороках неясной этиологии, основной задачей является выявление синкопальных состояний, которые угрожаемы по развитию ВСС. У наших пациентов с органическими заболеваниями сердца состояние по основному заболеванию было стабильным, признаков сердечной недостаточности

не было, т.е. генез синкопе оставался неясным и исключение аритмогенного генеза синкопе было первоочередной задачей. По результатам проведенного исследования всем пациентам с аритмогенными синкопальными состояниями за счет брадиаритмий после окончания регистрации ритма методом ИКМ была проведена имплантация постоянно-го электрокардиостимулятора. Корреляция клинических данных и ЭКГ проявлений при помощи ИКМ явилась доказательством аритмогенного генеза синкопе и показанием для имплантации антиаритмического устройства и профилактики ВСС.

Закключение. Таким образом, диагностическая значимость применения методики имплантации кардиомонитора для выявления причины рецидивирующих состояний среди детей с брадиаритмиями составила 50%. Взаимосвязь развития обмороков с эпизодами аритмий выявлена в нашем исследовании у 30% детей с брадиаритмиями, однако, аритмогенные синкопальные состояния имеют место в 7,5% случаев из всех зарегистрированных обмороков. В нашем исследовании мы не смогли по данным предшествующего обследования выявить электрокардиографические или электрофизиологические предикторы развития синкопальных состояний детей с брадиаритмиями. Длительное мониторирование ритма с помощью ИКМ позволяет выделить из всех пациентов с брадиаритмиями и приступами потери сознания, генез которых не установлен при предшествующем кардиологическом обследовании, группу детей с жизнеугрожающими аритмогенными состояниями и при необходимости направить пациентов на хирургическое лечение и провести своевременную профилактику ВСС.

Сокращения:

ИКМ – имплантируемые кардиомониторы
ЭКГ – электрокардиография
ЭХО-КГ – эхокардиография
ХМ – холтеровское мониторирование ЭКГ
ЭФИ – электрофизиологическое исследование
ВСС – внезапная сердечная смерть
ВВФСУ – время восстановления функции синусового узла
КВВФСУ – скорректированное время восстановления функции синусового узла
ЧСС – частота сердечных сокращений

Abbreviations:

ICM – implantable cardiac monitors
ECG – electrocardiography
ECHO-CG – echocardiography
HM – Holter monitoring
EHS – electrophysiological study
SCD – sudden cardiac death

Список литературы / References

1. Brignole M., Auricchio A., Baron-Esquivias G., Bordachar P., Boriani G., Breithardt O.A., Cleland J., Deharo J.C., Delgado V., Elliott P.M., Gorenek B., Israel C.W., Leclercq C., Linde C., Mont L., Padeletti L., Sutton R., Vardas P.E. The Task Force on cardiac pacing and resynchronization therapy of the European Society of Cardiology (ESC). Developed in collaboration with the European Heart Rhythm Association (EHRA); 2013 ESC Guidelines on cardiac pacing and cardiac

- resynchronization therapy. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)*. 2014; 67(1):58. doi: 10.1016/j.rec.2013.11.003. PMID: 24774265.
2. Oko-Lagan J., Kuzma J., Pietrucha B., Olczykowska-Siara E., Król-Jawień W., Kordon Z. et al. Cardiac syncope in children. *Przegl Lek*. 2007; 64:87-4.
3. Brignole M., Moya A., de Lange F.J., Deharo J.C., Elliott P.M., Fanciulli A., Fedorowski A., Furlan R., Kenny R.A., Martin A., Probst V., Reed M.J., Rice C.P., Sutton R., Ungar A., van Dijk J.G.; ESC Scientific Document Group. 2018 ESC Guidelines for the diagnosis and management of syncope. *Eur Heart J*. 2018; 39(21):1883-65. doi: 10.1093/eurheartj/ehy037.
4. Ревишвили А.Ш., Артюхина Е.А., Глезер М.Г., Базаев В.А., Баталов Р.Е., Бокерия А.А., Бокерия О.А., Давтян К.В., Иваницкий Э.А., Крвалев А.С., Криволапов С.Н., Лебедев Д.С., Лебедева В.К., Любимцева Т.А., Мамчур С.Е., Михайлов Е.Н., Неминуший Н.М., Попов С.В., Рзаев Ф.Г., Романов А.Б., Сергуладзе С.Ю., Сопов О.В., Филатов А.Г. Брадиаритмии и нарушения проводимости. Клинические рекомендации 2020. Российский кардиологический журнал. 2021; 26 (4):203-245. DOI 10.15829/1560-4071-2021-4448. Revishvili A.Sh., Artyuhina E.A., Glezer M.G., Bazaev V.A., Batalov R.E., Bokeriya L.A., Bokeriya O.L., Davtyan K.V., Ivanickij E.A., Krvaliev A.S., Krivolapov S.N., Lebedev D.S., Lebedeva V.K., Lyubimceva T.A., Mamchur S.E., Mihajlov E.N., Neminsushchij N.M., Popov S.V., Rzaev F.G., Romanov A.B., Serguladze S.Yu., Sopov O.V., Filatov A. G. Bradiraritmii i narusheniya provodimosti. Klinicheskie rekomendacii 2020. Rossijskij kardiologicheskij zhurnal. 2021; 26 (4): 203-245. DOI 10.15829/1560-4071-2021-4448.
5. Jeppesen J, Christensen J, Mølgaard H, Beniczky S. Automated detection of focal seizures using subcutaneously implanted electrocardiographic device: A proof-of-concept study. *Epilepsia*. 2023; 64 (4):59-64. doi: 10.1111/epi.17612.
6. Николаева О.А., Сапельникова О.В., Гришин И.Р. Длительное мониторирование ЭКГ у пациентов с криптогенным инсультом по данным петлевого имплантируемого регистратора. Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. 2020; 120 (8): 5-9. DOI 10.17116/jnevro20201200825. Nikolaeva O.A., Sapelnikova O.V., Grishin I.R. Long-term ECG monitoring in patients with cryptogenic stroke according to the data of a loop implantable registrar. *Journal of Neurology and Psychiatry named after S.S. Korsakov*. 2020; 120 (8): 5-9. DOI 10.17116/jnevro20201200825.
7. Edwards S.J., Wakefield V., Jhita T., Kew K., Cain P., Marceniuk G. Implantable cardiac monitors to detect atrial fibrillation after cryptogenic stroke: a systematic review and economic evaluation. *J. Electrocardiol*. 2020; 24 (5): 1-184. DOI: 10.3310/hta24050.
8. Школьников М.А., Вахмистрова Т.А., Кравцова Л.А., Полякова Е.Б., Термосесов С.А. Эффективность ревил-диагностики причин потери сознания у детей. Кардиология. 2012; 9:36-7. Shkolnikova M.A., Vakhmistrova T.A., Kravtsova L.A., Polyakova E.B., Thermosov S.A. Effectiveness of revil-diagnostics of causes of loss of consciousness in children. *Cardiology*. 2012; 9:36-7.
9. Школьников М.А., Полякова Е.Б., Ильдарава Р.А., Трофимова Т.А., Леонтьева И.В., Ковалев И.А. Синкопальные состояния у детей и подростков. Вестник аритмологии. 2017; 87:59-71. Shkolnikova M.A., Polyakova E.B., Ildarova R.A., Trofimova T.A., Leontieva I.V., Kovalev I.A. Syncopal conditions in children and adolescents. *Bulletin of Arrhythmology*. 2017; 87:59-71.
10. Jefferies J.L., Spar D.S., Chaouki A.S., Khoury P.R., Casson P., Czosek R.J. Continuous Arrhythmia Monitoring in Pediatric and Adult Patients With Left Ventricular Non-compaction. *Tex Heart Inst J*. 2022; 49(2):e207497. doi: 10.14503/THIJ-20-7497.
11. Ciriello G.D., Grimaldi N., Papacciali G., Correr A., Colonna D., Romeo E., Borrelli N., De Marco M., Esposito R., Russo V., Russo M.G., Sarubbi B. Implantable Loop Recorder with Long Sensing Vector: Safety, Acceptability, and Sensing Performance in Pediatric Patients. *Pediatr Cardiol*. 2023; 44(5):1068-1075. doi: 10.1007/s00246-022-03082-w.
12. Cesar S., Campuzano O., Cruzalegui J., Fiol V., Moll I., Martínez-Barrios E., Zschaekel I., Natera-de Benito D., Ortez C., Carrera L., Expósito J., Berrueto R., Bautista-Rodríguez C., Dabaj I., Gómez García-de-la-Banda M., Quijano-Roy S., Brugada J., Nascimento A., Sarquella-Brugada G. Characterization of cardiac involvement in children with LMNA-related muscular dystrophy. *Front Cell Dev Biol*. 2023; 11:1142937. doi: 10.3389/fcell.2023.1142937.
13. Berganti M., Ciconte G., Cruzalegui Gomez J., Crotti L., Arbello E., Casella M., Saenen J., Rossi A., Pannone L., Martinez-Barrios E., Compagnucci P., Russo V., Berne P., Van Leuven O., Boccellino A., Marcon L., Dagradi F., Landra F., Özkartal T., Comune A., Conti S., Ribatti V., Campuzano O., Brugada P., de Asmundis C., Brugada J., Pappone C., Tondo C., Schwartz P.J., Auricchio A., Sarquella-Brugada G., Conte G. Continuous Rhythm Monitoring With Implanted Loop Recorders in Children and Adolescents With Brugada Syndrome. *J Am Coll Cardiol*. 2024; 84(10):921-933. doi: 10.1016/j.jacc.2024.04.070.
14. Shah M.J., Silka M.J., Silva J.N.A., Balaji S., Beach C., Benjamin M.N., Berul C.I., Cannon B., Cecchin F., Cohen M.I., Dalal A.S., Dechert B.E., Foster A., Gebauer R., Gonzalez-Carcia M.C., Kannankeril P.J., Karpawich P.J., Kim J.J., Krishna M.R., Kuber P., LaPage M.J., Mah D.Y., Malloy-Walton L., Miyazaki A., Motonaga K.S., Niu M.C., Olen M., Paul T., Rosenthal E., Saarel E.V., Silvestri M.S., Stephenson E.A., Tan R.B., Friedman J., Von

- Bergen NH, Wackel PL: Document Reviewers: Philip M. Chang, Fabrizio Drago, Anne M. Dubin, Susan P. Etheridge, Apichai Kongpatanayothin, Jose Manuel Molfedo, Ashish A. Nabar and George F. Van Hare. 2021 PACES expert consensus statement on the indications and management of cardiovascular implantable electronic devices in pediatric patients. *Cardiol Young*. 2021; 31(11):1738–1769. doi: 10.1017/S1047951121003413.
15. Синкопальные состояния у детей. Под редакцией Школьниковой М.А., Ковалева И.А., Леонтьевой И.В. «Мегаполис», Москва, 2016, 459 с. *Syncopal conditions in children*. Edited by Shkolnikova M.A., Kovalev I.A., Leon-tieva I.V. «Megapolis», Moscow, 2016, p. 459.
 16. Жизнеугрожающие аритмии у детей. Школьниковой М.А. «НефтЯник», Москва, 1999, 230 с. *Shkolnikova M.A. Life-threatening arrhythmias in children*. Neftyanik, Moscow, 1999, 230 p.
 17. Brignole M., Moya A., Menozzi C., Garcia-Civera R., Sutton R. Proposed elec-tro-cardiographic classification of spontaneous syncope documented by an im-plantable loop recorder. *Europace*. 2005; 7:14-4. doi: 10.1016/j.eupc.2004.11.001.
 18. Agudo-Montore P, Stuart G, Wilson D, Spentzou G, Sidiqqui R, González-Corcia C. Role of new generation implantable loop recorders in managing undiagnosed pediatric cardiac symptoms. *Eur J Pediatr*. 2024; doi: 10.1007/s00431-024-05728-8. Online ahead of print.
 19. Shmueli S, van der Lende M, Lamberts RJ, Sander JW, Thijs RD. The heart of epi-lespy: Current views and future concepts. *Seizure*. 2017; 44:176–7. doi:10.1016/j.seizure.2016.10.001.
 20. Van der Lende M., Surges R., Sander JW., Thijs RD. Cardiac arrhythmias during or after epileptic seizures. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2016; 87(1):69–5. doi:10.1136/jnnp-2015-310559.
 21. Desai R., Rupareliya C., Patel U., Naqvi S., Patel S., Lunagariya A., Mahuwal Z. Burden of Arrhythmias in Epilepsy Patients: A Nationwide Inpatient Analysis of 1.4 Million Hospitalizations in the United States. *Cureus*. 2017; 9(8): e1550. doi: 10.7759/cureus.1550.
 22. Ravindran K, Powell KL, Todaro M, O'Brien TJ. The pathophysiology of cardiac dysfunction in epilepsy. *Epilepsy Res*. 2016; 127:19-29. doi:10.1016/j.eplep-syres.2016.08.007.
 23. Schuele S., Bermeo A., Alexopoulos A., Locatelli E., Burgess R., Dinner D., Foldvary-Schaefer N. Video-electrographic and clinical features in patients with ictal asystole. *Neurology*. 2007; 69:434–7. doi: 10.1212/01.wnl.0000266595.77885.7f.
 24. Сердюк С.Е., Давтян К.В., Бурд С.Г., Мишина Е.С., Драпкина О.М., Гусев Е.И. «Иctalные» брадиаритмии у пациентов с фармакорезистентным течением эпилепсии: результаты длительного мониторингирования электрокардиограммы. *Кардиология*. 2020; 60(12): 90–96. DOI 10.18087/cardio.2020.12.n1379. Serdyuk S.E., Davtyan K.V., Burd S.G., Mishina E.S., Drapkina O.M., Gusev E.I. «Ictal» bradyarrhythmias in patients with pharmacoresistant course of epilepsy: results of long-term electrocardiogram monitoring. *Cardiology*. 2020; 60(12): 90–96. – DOI 10.18087/cardio.2020.12.n1379.

Статья поступила / Received 27.10.2024
Получена после рецензирования / Revised 27.10.2024
Принята в печать / Accepted 27.10.2024

Информация об авторах

Полякова Екатерина Борисовна, к.м.н., старший научный сотрудник отдела детской кардиологии и аритмологии
Трофимова Татьяна Александровна, врач функциональной диагностики отделения функциональной диагностики нарушений сердечного ритма
Школьниковая Мария Александровна, д.м.н., профессор

Научно-исследовательский клинический институт педиатрии и детской хирургии имени академика Ю.Е. Вельтищева, ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н. И. Пирогова Минздрава РФ, Москва, Россия

Контактная информация:

Полякова Екатерина Борисовна. E-mail: e_polyakova75@mail.ru

Для цитирования: Полякова Е.Б., Трофимова Т.А., Школьниковая М.А. На-рушения сердечного ритма и проводимости у детей с брадиаритмиями при длительном мониторинге ЭКГ. Медицинский алфавит. 2024;(30):21–27. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-21-27>

Author information

Polyakova Ekaterina Borisovna, Ph.D. of Medical Sciences, Senior Researcher of the Department of Pediatric Cardiology and Arrhythmology
Trofimova Tatiana Aleksandrovna, the Doctor of Functional Diagnostics of the Department of Functional Diagnostics of Heart Rhythm Disorders
Shkolnikova Maria Aleksandrovna, Holder of an Advanced Doctorate (Doctor of Science) in Medical Sciences, Professor

Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics and Childrens Surgery at the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

Contact information

Polyakova Ekaterina Borisovna. E-mail: e_polyakova75@mail.ru

For citation: Polyakova E.B., Trofimova T.A., Shkolnikova M.A. Cardiac rhythm and conduction disturbances in children with bradyarrhythmias during long-term ECG monitoring. *Medical alphabet*. 2024;(30):9–14. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-21-27>



Функциональная диагностика – 2025

XVII Всероссийская научно-практическая конференция

27–29 мая 2025 года Технопарк Сколково

г. Москва, территория инновационного центра Сколково, Большой бульвар, д. 42, стр. 1

Дорогие друзья, специалисты в области функциональной диагностики и смежных специальностей!

Российская ассоциация специалистов функциональной диагностики вместе с ведущими научными центрами нашей страны приглашают вас на очередную XVII Всероссийскую научно-практическую конференцию «Функциональная диагностика – 2025», которая будет проходить в рамках XVII Всероссийского научно-образовательного форума с международным участием «Медицинская диагностика – 2025» 27–29 мая 2025 года.

Мы приглашаем вас принять участие в обсуждении важных проблем нашей специальности «Функциональная диагностика». Сегодня мы являемся участниками и свидетелями постепенного перехода к новому уровню системного анализа и формирования «функционального диагноза». Функциональная диагностика включает в себя множество методов, которые могут использоваться во всех областях клинической медицины. Но и специалистам функциональной диагностики необходимо определить пути эффективного и полноценного использования их. Анализ возможностей различных аппаратных исследований будет посвящена наша конференция. Мы приглашаем всех посетить и другие заседания Форума, а также и выставку диагностического оборудования, на которой будут проведены мастер-классы, консультации и знакомства с новыми образцами аппаратов для диагностических исследований.

Мы ждем наших коллег и друзей на встречу 27–29 мая 2025 года в «Технопарке Сколково».

Ваш Оргкомитет
XVII Всероссийской научно-практической конференции
«Функциональная диагностика – 2025»

Электрокардиография при легочной гипертензии: поиск новых диагностических возможностей (обзор литературы)

А.В. Соболев, Е.В. Блинова, Т.А. Сахнова, Д.В. Дроздов

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» МЗ РФ

РЕЗЮМЕ

В обзоре освещаются современные клинические рекомендации относительно использования электрокардиографии (ЭКГ) при обследовании больных с легочной гипертензией (ЛГ), приводятся данные о корреляции параметров ЭКГ с показателями гемодинамики при ЛГ, обсуждаются возможности использования ЭКГ при скрининге ЛГ, в том числе, включение показателей ЭКГ в клинические шкалы. Особое внимание уделяется данным о связи изменений ЭКГ с прогнозом больных ЛГ и применению ЭКГ для оценки эффективности лечения ЛГ, в частности, баллонной ангиопластики легочной артерии при хронической тромбоэмболической легочной гипертензии. Специальные разделы посвящены таким путям улучшения электрокардиографической диагностики ЛГ, как использование трехмерных векторкардиографических параметров и обработка ЭКГ с привлечением методов глубокого машинного обучения. Описываются «мягкие» функциональные пробы, которые потенциально могут иметь полезную информацию в диагностике ЛГ (проба с водной нагрузкой, пассивный подъем ног, глубокий вдох).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: легочная гипертензия, электрокардиограмма, векторкардиограмма, функциональные пробы, глубокое машинное обучение, оценка эффективности лечения, прогноз.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Electrocardiography in pulmonary hypertension: search for new diagnostic possibilities (literature review)

A.V. Sobolev, E.V. Blinova, T.A. Sakhnova, D.V. Drozdov

Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Centre of Cardiology named after academician E.I. Chazov» of the Ministry of Health of the Russian Federation

SUMMARY

The review covers current clinical guidelines for the use of electrocardiography (ECG) in examining patients with pulmonary hypertension (PH), provides data on the correlation of ECG parameters with hemodynamic parameters in PH, discusses the possibilities of using ECG in PH screening, including the inclusion of ECG parameters in clinical scales. Particular attention is paid to data on the relationship between ECG changes and the prognosis of patients with PH and the use of ECG to assess the effectiveness of PH treatment, in particular, pulmonary artery balloon angioplasty in chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Special sections are devoted to such ways of improving electrocardiographic diagnostics of PH as the use of three-dimensional vectorcardiographic parameters and ECG processing using deep machine learning methods. The paper describes «soft» functional tests that can potentially provide useful information in the diagnosis of PH (fluid challenge, passive leg raise, deep inhalation).

KEYWORDS: pulmonary hypertension, electrocardiogram, vectorcardiogram, functional tests, deep machine learning, evaluation of treatment effectiveness, prognosis.

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

В 2024 году одобрена Минздравом обновленная версия клинических рекомендаций «Легочная гипертензия, в том числе хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия» [1].

В соответствии с этим документом, легочная гипертензия (ЛГ) может представлять собой как синдром, связанный с сердечно-сосудистыми или легочными заболеваниями, так и самостоятельное заболевание.

Клиническая классификация включает пять групп ЛГ:

- Легочная артериальная гипертензия (ЛАГ, группа I).
- ЛГ, связанная с заболеваниями левых отделов сердца (группа II).
- ЛГ, связанная с патологией легких и/или гипоксией (группа III).

- ЛГ, связанная с обструкцией легочной артерии (группа IV).
- ЛГ неизвестного и/или смешанного генеза (группа V).

К группе I относятся идиопатическая ЛГ (ИЛГ); наследственная ЛАГ; ЛАГ, индуцированная лекарственными препаратами и токсинами; ЛАГ, ассоциированная с врожденными пороками сердца (ВПС), системными заболеваниями соединительной ткани, ВИЧ-инфекцией, портальной гипертензией, и ряд других редких заболеваний.

Наиболее распространенной является ЛГ при заболеваниях левых отделов сердца. Она развивается примерно у половины больных с аортальным стенозом и пациентов с хронической сердечной недостаточностью с сохраненной фракцией выброса и составляет до 80% всех форм ЛГ.

ЛГ при заболеваниях легких наблюдается примерно у 1–5% больных с хронической обструктивной болезнью легких, а при идиопатическом легочном фиброзе может достигать 60%.

Одним из основных представителей группы IV является хроническая тромбоэмболическая ЛГ (ХТЭЛГ).

С точки зрения гемодинамики ЛГ подразделяют на прекапиллярную, посткапиллярную и комбинированную пост-/прекапиллярную. Критерием любой ЛГ считается среднее давление в легочной артерии (срДЛА) > 20 мм рт. ст. Прекапиллярная ЛГ характеризуется давлением заклинивания легочной артерии (ДЗЛА) ≤ 15 мм рт. ст. и легочным сосудистым сопротивлением (ЛСС) > 2 единиц Вуда; посткапиллярная ЛГ – ДЗЛА > 15 мм рт. ст. и ЛСС ≤ 2 единиц Вуда; комбинированная пост-/прекапиллярная ЛГ – ДЗЛА > 15 мм рт. ст. и ЛСС > 2 единиц Вуда.

К прекапиллярной ЛГ относят группы I, III и IV; к посткапиллярной ЛГ – группу II. В группе V может наблюдаться как пре-, так и посткапиллярная ЛГ.

Согласно рекомендациям [1, 2], задачами комплексного обследования у больных ЛГ являются установление диагноза; определение клинической группы и гемодинамического типа ЛГ; оценка функционального статуса пациента, а также стратификация риска смерти.

«Золотым стандартом» в диагностике ЛГ является чрезвенная катетеризация сердца (ЧВКС). В связи со сложностью выполнения и риском осложнений проведение ЧВКС рекомендуется осуществлять в экспертных центрах пациентам с подозрением на ЛАГ или ХТЭЛГ для подтверждения диагноза, определения тактики и оценки эффективности лечения. У пациентов групп II и III проведение ЧВКС рекомендуется лишь перед трансплантацией сердца и/или легких, а также может быть рассмотрено при неэффективности терапии для дифференциальной диагностики.

Регистрация ЭКГ предусмотрена у всех пациентов с ЛГ как при первичном обследовании, так и в процессе динамического наблюдения. ЭКГ признаки гипертрофии правого желудочка (ГПЖ) имеют не очень высокую чувствительность и специфичность, однако сочетание неизменной ЭКГ с нормальным уровнем биомаркеров свидетельствует о низкой вероятности ЛГ. Признаками неблагоприятного прогноза могут быть расширение комплекса QRS, удлинение QTc, трепетание или фибрилляция предсердий.

При сопоставлении ЭКГ с данными МРТ сердца у 4062 лиц без сердечно-сосудистых заболеваний ЭКГ критерии ГПЖ имели относительно высокую специфичность, но низкую чувствительность и положительную прогностическую значимость (максимум 12%). Комбинации различных ЭКГ критериев не увеличивали информативность [3].

Корреляции параметров ЭКГ с показателями гемодинамики при ЛГ

В последние годы предпринимались попытки сопоставить изменения ЭКГ не с массой миокарда правого желудочка (ПЖ), а с показателями гемодинамики и клиническими особенностями у больных ЛГ.

У 94 пациентов I, III и IV групп ЛГ депрессия сегмента PR в отведении II и площадь положительной фазы зубца PV1 имели значимую связь с давлением в ПП. Чувствительность, специфичность и отрицательная прогностическая ценность депрессии сегмента PR для выявления пациентов с давлением в ПП > 14 мм рт. ст. составили 80, 84 и 94%, площади положительной фазы зубца PV1 – 55, 89 и 88% [4].

У 103 пациентов с ЛАГ уровень дисперсии зубца P положительно коррелировал с конечным диастолическим диаметром ПЖ, конечным систолическим диаметром ПП, срДЛА, ЛСС и отрицательно – с TAPSE (TAPSE, tricuspid annular plane systolic excursion, систолическая экскурсия фиброзного кольца трикуспидального клапана – один из показателей систолической функции правого желудочка, в норме больше 17 мм), а также значительно различался в группах низкого, среднего и высокого риска [5]. У 26 пациентов с ЛАГ амплитуда зубца PII положительно коррелировала с наклоном минутной вентиляции к продукции углекислого газа (наклон VE/VCO₂) и давлением в ПП; индекс Соколова – Лайона ПЖ (RV1 + max SV5 или V6) – с градиентом давления трикуспидальной регургитации, толщиной свободной стенки ПЖ, наклоном VE/VCO₂ и срДЛА; амплитуда RaVR – с градиентом давления трикуспидальной регургитации, срДЛА и ЛСС. Длительность QRS положительно коррелировала с расчетным давлением в ПП, диаметром нижней полой вены и площадью ПП и отрицательно – с параметрами толерантности к физической нагрузке [6].

У пациентов с впервые диагностированной ХТЭЛГ проксимальную локализацию поражения позволяли предсказывать RV1 > 6 мм; SV6 > 3 мм; SI > RI; RV1/SV1 > 1,0; время внутреннего отклонения в V1 > 35 мс (при QRS < 120 мс); RV1/SV1 > RV3(V4)/SV3(V4); RaVR > 4 мм и PII > 2,5 мм. Амплитуды RV1, SV6 и PII имели умеренные положительные корреляционные связи с ЛСС [7].

В группе из 562 пациентов, подвергавшихся ЧВКС, амплитуда зубца PII, RaVR, соотношение R/S в V1 и V2, положение электрической оси сердца коррелировали с систолическим давлением в легочной артерии (сДЛА), срДЛА и ЛСС. Амплитуда зубца PII > 0,16 мВ, RaVR > 0,5 мВ, ось QRS > 100° и R/S в V1 > 0,9 позволяли выявлять как срДЛА > 20 мм рт. ст., так и ЛСС > 2 единиц Вуда [8].

Эхокардиографическая (ЭхоКГ) оценка скорости трикуспидальной регургитации является ключевым показателем при скрининге ЛГ. На основании ее значения и дополнительных признаков перегрузки ПЖ судят о низкой, средней или высокой вероятности ЛГ для решения о дальнейшей инвазивной оценке. Тяжелая трикуспидальная регургитация может приводить к недооценке сДЛА. При анализе 83 пациентов с тяжелой трикуспидальной регургитацией, которым проводилась ЧВКС, оказалось, что наличие ЛГ позволяли предсказать R/SV1 > 1,5 (чувствительность 57%, специфичность 85%), max RV1 или V2 + max SI или aVL – SV1 > 3 мм (чувствительность 91%, специфичность 60%) и SI/RI > 0,71 (чувствительность 82%, специфичность 71%) [9].

Длительность интервала от пика до конца волны Т (T-peak-T-end) у 38 пациентов, которым проводили ЧВКС в связи с подозрением на ЛГ, значимо коррелировала со срдЛА, ЛСС и сердечным индексом. Более продолжительный интервал T-peak-T-end был связан с более высоким уровнем NTpro-BNP, меньшей дистанцией в тесте 6-минутной ходьбы и меньшей TAPSE [10].

При сопоставлении конфигурации комплекса QRS в отведении V1 с данными ЭхоКГ у 80 больных ИЛГ и ХТЭЛГ наличие конфигурации qR в отведении V1 с чувствительностью 46% – 89% и специфичностью 89–95% выявляло больных с прогностически неблагоприятными изменениями ЭхоКГ: перикардальным выпотом, площадью ПП > 26 см², TAPSE < 1,5 см [11].

Включение показателей ЭКГ в клинические шкалы

В ретроспективном исследовании 341 пациента с острой тромбоэмболией легочной артерии (ТЭЛА) модель для количественной оценки тромботической нагрузки, включавшая ряд клинических показателей и изменения ЭКГ (блокаду правой ножки пучка Гиса, отклонение электрической оси сердца вправо, инвертированный зубец Т, конфигурацию S1Q3T3) продемонстрировала умеренную дискриминацию как в обучающей, так и в тестовой выборке (с-индекс 0,66, 95% доверительный интервал 0,56–0,76). Модель для прогнозирования вероятности обструкции ствола имела схожие показатели [12].

Наличие посткапиллярной ЛГ можно было с чувствительностью 22% и специфичностью 100% предсказать на основе шкалы, включавшей индекс массы тела ≥ 30 , сахарный диабет, мерцательную аритмию, дислипидемию, наличие в анамнезе операций на клапанах сердца, сумму SV1 и RV6 на ЭКГ и дилатацию левого предсердия [13].

В международном исследовании взрослых пациентов с системной склеродермией (ССД) с помощью многофакторного анализа были выбраны и включены в двухэтапный алгоритм лучшие переменные для выявления ЛАГ. Первый шаг алгоритма, включавший, в том числе, отклонение электрической оси сердца вправо, служил для направления на ЭхоКГ, две ЭхоКГ переменные – направление на ЧВКС. Алгоритм DETECT рекомендовал ЧВКС у 62% пациентов и пропустил 4% пациентов с ЛАГ; при стандартном подходе в этой группе частота направления на ЧВКС составила 40%, диагноз ЛАГ был пропущен в 29% случаев [14].

Использование ЭКГ при скрининге ЛГ

В современных рекомендациях ЭКГ упоминается как один из методов скрининга у носителей мутаций, вызывающих ЛАГ, а также у пациентов после коррекции ВПС. Как упоминалось, отклонение электрической оси сердца вправо входит в алгоритм DETECT, рекомендуемый для больных ССД. При других заболеваниях убедительных данных о возможности использования ЭКГ для скрининга ЛГ пока не получено [15, 16].

Связь изменений ЭКГ с прогнозом больных ЛГ

ЭКГ пока не относят к методам стратификации риска больных ЛГ, однако данные о связи изменений ЭКГ с неблагоприятным прогнозом у больных ЛГ продолжают накапливаться.

У 141 пациента с ЛАГ при заболевании соединительной ткани фрагментация QRS и изменения ST-T в нижних отведениях были достоверно связаны со смертностью от всех причин [17].

У 26 пациентов с ЛАГ индекс Соколова-Лайона ПЖ и продолжительность QRS оказались значимыми предикторами промежуточного/высокого риска смертности в течение 1 года [6].

У 140 пациентов с ЛАГ или ХТЭЛГ выживаемость без трансплантации была хуже при аномальной ЭКГ. Со смертностью от всех причин или трансплантацией легких были связаны длительность QRS и амплитуда зубца SV5 [18].

У 77 пациентов с ЛАГ и 56 пациентов с неоперабельной ХТЭЛГ наличие инверсии зубца Т в последовательных отведениях от V1 до V5 было предиктором смертности. При уменьшении диапазона инверсии зубца Т как минимум на одно отведение после лечения наблюдалось уменьшение конечного диастолического объема ПЖ и его соотношения с объемом левого желудочка [19].

У 169 пациентов с ЛГ, ассоциированной с ССД, при отклонении электрической оси сердца влево наблюдалось преимущественно левостороннее, а вправо – правостороннее поражение сердца, большее срдЛА и ЛСС. Оба типа изменений были связаны с повышенным риском смертности от всех причин [20].

При анализе данных 18 рандомизированных клинических испытаний терапии ЛАГ (4439 пациентов) наличие на ЭКГ ГПЖ, отклонения электрической оси вправо, увеличения ПП или блокады правой ножки пучка Гиса было связано с повышенным риском клинического ухудшения, но в то же время, эти пациенты имели больший эффект лечения [21].

Применение ЭКГ для оценки эффективности лечения ЛГ

В последние годы исследователей интересует возможность использования ЭКГ для оценки эффективности баллонной ангиопластики легочной артерии (БАП) у пациентов с ХТЭЛГ.

У 15 пациентов с ХТЭЛГ через 1 год после БАП предикторами улучшения срдЛА были амплитуды зубцов SV1 и RV5. Нормализация суммы RV1 и SV5 была предиктором более хорошего функционального статуса [22].

У 29 пациентов с ХТЭЛГ с улучшением гемодинамики после БАП и 7 пациентов с ЛАГ, у которых гемодинамическое улучшение, соответствующее критериям ответа, наблюдалось после однократной ингаляции илоprostа, несмотря на схожее улучшение гемодинамики, только в группе ХТЭЛГ наблюдались значимые изменения параметров ЭКГ: ось зубца Т, ось QRS, амплитуда зубцов PII, RV1, SV5, RV5, SV6, RV6, RaVR, соотношение R/S в V5. У пациентов с ЛАГ значимые различия были обнаружены только для зубца PII и оси QRS [23].

В когорте из 17 пациентов с ХТЭЛГ до и после БАП статистически значимая корреляция была обнаружена между снижением срДЛА и уменьшением глубины зубцов SI, SV5, SV6 и амплитудой зубцов RV5 и RV6 [24].

У 32 пациентов с ХТЭЛГ через 6 месяцев после БАП величина изменения амплитуды зубца TV2 достоверно коррелировала с величиной изменения систолического давления в ПЖ, срДЛА, ЛСС и системного сосудистого сопротивления [25].

При ретроспективном анализе 39 пациентов с ХТЭЛГ, у которых было по крайней мере два сеанса БАП, критерии Льюиса ($R I + S III - (S I + R III)$) и Батлера ($\max RV1$ или $V2 + \max S I$ или $aVL - SV1$) коррелировали с показателями гемодинамики и были предикторами срДЛА ≥ 35 мм рт. ст. [26].

При анализе ЭКГ и ЧВКС до и через 6 месяцев после БАП у 140 пациентов с ХТЭЛГ критерий Батлера после вмешательства стал реже превышать нормальные значения и коррелировал с срДЛА и ЛСС. Превышение порогового значения этого показателя до и после терапии было связано с более тяжелой ХТЭЛГ и повышенным риском смерти [27].

На группе 94 пациентов с ХТЭЛГ была разработана и проверена шкала ЭКГ для контроля эффективности БАП, включающая четыре показателя: $R V1 + \max SV5$ или $V6 > 10,5$ мм, ось QRS $> 110^\circ$, $RV1 > SV1$, конфигурация SIQIII. Балл по шкале ЭКГ = 0 хорошо выявлял пациентов со срДЛА < 25 мм рт. ст. В группе проверки значения чувствительности, специфичности, положительной и отрицательной предсказательной ценности составили 86, 77, 73 и 89% соответственно [28].

Та же шкала была изучена при ретроспективном анализе 73 пациентов, перенесших легочную энтертерэктомии. Через 13 месяцев балл по шкале ЭКГ = 0 являлся хорошим предиктором срДЛА ≤ 20 мм рт. ст.: чувствительность 70%; специфичность 71%; положительная прогностическая ценность 89%; отрицательная прогностическая ценность 41% [29].

Применению ЭКГ при решении вопросов, связанных с лечением других заболеваний, сопровождающихся ЛГ, в последние годы посвящены лишь единичные исследования.

У пациентов с острой ТЭЛА фронтальный угол QRS-T, который был значимо выше при наличии перегрузки давлением ПЖ, значительно изменялся после тромболитической терапии [30].

У 501 участника исследования «Бета-блокаторы для профилактики острых обострений ХОБЛ (BLOCK-COPD)» не было выявлено связи между P-pulmonale и риском обострений ХОБЛ, однако у лиц с P-pulmonale применение метопролола было связано с повышенным риском обострений [31].

Векторкардиографические показатели в диагностике ЛГ

Одним из возможных путей повышения информативности ЭКГ при обследовании пациентов с ЛГ может быть использование трехмерных векторкардиографических (ВКГ) параметров.

При оценке диагностической ценности ВКГ параметров системы отведений Франка при ХОБЛ азимут вектора QRS уменьшился с -24° в группе без ЛГ до -62° при ЛГ без ГПЖ и до -140° при ЛГ с ГПЖ. Аналогичное значимое снижение наблюдалось для азимута вектора желудочкового градиента. Пространственный угол QRS-T увеличился с 69° в группе без ЛГ до 115° при ЛГ без ГПЖ. Наблюдалась значимая корреляция между СДЛА и углом QRS-T и между СДЛА и азимутом вектора желудочкового градиента [32].

У 132 пациентов с подозрением на ЛГ было проведено сравнение информативности ВКГ, полученной с помощью обратной матрицы Дауэра и матрицы Корса, для выявления СДЛА ≥ 50 мм рт. ст. Несмотря на то, что большинство параметров ВКГ значительно различались между двумя матрицами, ROC-анализ не продемонстрировал разницы между обратной матрицей Дауэра ($AUC = 0,80$) и матрицей Корса ($AUC = 0,80$). ВКГ, полученные с помощью обеих матриц, предоставили значимую диагностическую информацию о наличии ЛГ [33].

У 196 пациентов с ограниченной и 77 пациентов с диффузной формой ССД была оценена связь желудочкового градиента с наличием ЛГ и выживаемостью. У пациентов с ограниченной ССД изменения желудочкового градиента имели более высокую диагностическую ценность, чем отклонение электрической оси сердца вправо, однако таких различий не наблюдалось у пациентов с диффузной формой ССД. Измененный желудочковый градиент был связан со снижением выживаемости у всех пациентов ССД с ЛГ [34].

При ретроспективном анализе серии ЭКГ и ЭхоКГ у 24 пациентов с ССД, у пациентов с ЛГ модифицированный желудочковый градиент был выше, чем у пациентов без ЛГ, и увеличивался с течением времени. Желудочковый градиент был более чувствителен для выявления прогрессирования заболевания на ранних стадиях по сравнению с СДЛА [35].

У 63 пациентов с подозрением на ЛГ как показатель Батлера, так и желудочковый градиент коррелировали со срДЛА. Комбинация показателя Батлера и желудочкового градиента при обнаружении ЛГ имела площадь под ROC-кривой 0,79 [36].

При наблюдении в течение 3 лет 265 пациентов, находившихся на гемодиализе, пациенты с патологическими значениями желудочкового градиента с большей вероятностью имели высокий или средний риск развития ЛГ. При многофакторном анализе желудочковый градиент оставался независимым и сильным предиктором общей и сердечно-сосудистой смертности [37].

При ретроспективном анализе пациентов с вторичным дефектом межпредсердной перегородки, которым проводилась ЧВКС, пространственный угол QRS-T значимо различался у пациентов с ЛГ и без ЛГ. При пороговом значении 124° его положительная и отрицательная прогностическая ценность для выявления ЛГ составила 36% и 96% соответственно [38].

Попытки использовать желудочковый градиент для диагностики острой ТЭЛА и ХТЭЛГ пока не имели особого успеха [39, 40].

Обработка ЭКГ с использованием методов искусственного интеллекта в диагностике ЛГ

В последние годы в нескольких крупных клиниках были предприняты попытки разработки алгоритмов раннего обнаружения ЛГ на основе данных ЭКГ с привлечением методов искусственного интеллекта.

В клинике Майо был создан алгоритм обнаружения ЛГ, представляющий собой сверточную нейронную сеть, разработанную с использованием ЭКГ пациентов с «вероятной ЛГ» или «маловероятной ЛГ» по данным ЧВКС или ЭхоКГ. В общей сложности 39823 пациента с вероятной ЛГ и 219404 пациента с маловероятной ЛГ были случайным образом разделены на обучающую (48%), проверочную (12%) и тестовую (40%) выборки. Работа алгоритма проверялась также на ЭКГ, снятых за 6–18 месяцев и за 5 лет до диагностики ЛГ. Тестирование алгоритма дало площадь под ROC-кривой 0,92 и 0,88 в тестовых выборках. На ЭКГ, снятых за 5 лет до постановки диагноза, площадь под ROC-кривой составляла 0,79–0,73 [41].

С использованием 36186 ЭКГ из базы данных Калифорнийского университета в Сан-Франциско ЭКГ сегментировали на стандартные зубцы и интервалы, при помощи комбинации сверточных нейронных сетей и скрытых марковских моделей. Затем строили профиль ЭКГ пациента (вектор признаков из 725 элементов) и использовали его в моделях машинного обучения. Модель, обученная с использованием профилей ЭКГ пациента, имела площадь под ROC-кривой 0,94 для обнаружения ЛАГ [42].

В Калифорнийском университете в Сан-Франциско взрослые с ЧВКС или ЭхоКГ в течение 90 дней после ЭКГ были ретроспективно идентифицированы как имеющие (5016 пациентов) или не имеющие (19 454 пациента) ЛГ. Пациенты были разделены на обучающую, проверочную и тестовую выборки в соотношении 7:1:2. Модель, представляющая собой глубокую сверточную нейронную сеть, в тестовой выборке достигла площади под ROC-кривой, чувствительности и специфичности соответственно 0,89, 0,79 и 0,84 для обнаружения ЛГ; 0,91, 0,83 и 0,84 для обнаружения прекапиллярной ЛГ; 0,88, 0,81 и 0,81 для обнаружения ЛАГ и 0,80, 0,73 и 0,76 для обнаружения ЛГ группы III. Обученную модель дополнительно применили к ЭКГ участников тестовой выборки, которые были сняты за 2 года до постановки диагноза ЛГ; площадь под ROC-кривой составила не менее 0,79 [43].

В Южной Корее алгоритм для прогнозирования ЛГ с использованием ЭКГ был разработан с использованием данных пациентов из двух больниц: в одной были получены наборы данных для обучения (56 670 ЭКГ от 24 202 пациентов) и внутренней проверки (3174 ЭКГ от 3174 пациентов), в другой – для внешней проверки (10865 ЭКГ от 10 865 пациентов). Алгоритм на основе ансамблевой нейронной сети был разработан с использованием ЭКГ и демографической информации. Во время внутренней и внешней проверки алгоритма для обнаружения ЛГ площадь под ROC-кривой составила 0,86 и 0,90 соответственно. Пациенты без ЛГ, которых алгоритм определил, как имеющих высокий риск ЛГ, в дальнейшем имели более

высокий шанс развития ЛГ, чем те, кто был в группе низкого риска. Карта чувствительности показала, что алгоритм фокусировался на зубцах S, R и T [44].

В Тайбэе из госпитальной базы данных ЭКГ были извлечены первые пары ЭКГ и ЭхоКГ, снятых с интервалом в 2 недели у 41 097 пациентов, для разработки модели глубокого обучения с целью обнаружения повышенного СДЛА (> 50 мм рт. ст.). Модель была проверена на независимых наборах данных, включая внешнюю когорту пациентов из Японии. Площадь под ROC-кривой модели составила 0,88 (чувствительность 81%; специфичность 80%). При 6-летнем наблюдении пациентов, наличие повышения СДЛА, предсказанное моделью, было независимо связано с более высокой сердечно-сосудистой смертностью, повышая ее в 3,69 раза [45].

В Тайбэе также была разработана модель глубокого обучения, использующая парные ЭКГ и рентгенограммы грудной клетки для обнаружения повышения СДЛА. Была оценена способность модели предсказывать будущие случаи сердечно-сосудистой смертности. Во внешней выборке площади под ROC-кривой для обнаружения повышения СДЛА составили 0,83 по ЭКГ, 0,86 по рентгенографии грудной клетки и 0,87 по их комбинации; отрицательная прогностическая ценность комбинации ЭКГ и рентгенографии грудной клетки – 98%. У пациентов с повышением СДЛА, обнаруженным моделью с использованием комбинации ЭКГ и рентгенографии, риск возникновения сердечно-сосудистой смертности был в 6 раз выше [46].

«Мягкие» функциональные пробы в диагностике ЛГ

При подозрении на наличие посткапиллярного компонента у больных с прекапиллярной ЛГ современные рекомендации предусматривают возможность проведения пробы с водной нагрузкой при ЧВКС. Проба представляет собой введение 500 мл 0,9% раствора хлорида натрия за 5–10 минут с последующим повторным измерением ДЗЛА. Критерием положительной пробы считается повышение ДЗЛА более 18 мм рт. ст. Рутинное применение пробы пока не рекомендуется в связи с отсутствием убедительных данных о ее безопасности и диагностической ценности.

Чтобы определить, как проба с введением физиологического раствора влияет на диагностику и лечение, 7 специалистам по ЛГ были представлены клинические и гемодинамические данные 48 пациентов с ДЗЛА ≤15 мм рт. ст. исходно и после введения 500 мл физиологического раствора и предложено классифицировать пациентов и изложить планы лечения. С учетом пробы 20% случаев были переклассифицированы как имеющие компонент ЛГ группы II. Проба повысила уверенность в классификации ЛГ и изменила план лечения в 6,5% случаев [47].

У 174 пациентов при ЧВКС в состоянии покоя и после быстрой внутривенной инфузии 500 мл физиологического раствора изменение ДЗЛА было обратно пропорционально исходному ДЗЛА. ДЗЛА после введения жидкости превысило 18 мм рт. ст. у 81% пациентов с исходным ДЗЛА 13–15 мм рт. ст., что поставило под сомнение полезность пробы у этих пациентов [48].

Предпринимались также попытки использовать пробу с водной нагрузкой для выявления скрытой дисфункции ПЖ и определения прогноза у больных ЛГ.

У 32 пациентов с ЛГ и 4 контрольных пациентов при ЧВКС петли давления-объема регистрировались во время острой объемной нагрузки (200 мл физиологического раствора за 20 с). При острой объемной нагрузке сопряжение ПЖ-легочная артерия значительно снизилось у пациентов с ЛГ, но оставалось стабильным в контрольной группе. У пациентов с ЛГ с меньшим процентом снижения сопряжения ПЖ-легочной артерии прогноз был значительно лучше [49].

При оценке прогностической значимости изменений легочной гемодинамики, вызванных пробой с быстрой инфузией физиологического раствора, у 118 пациентов с ЛАГ при многофакторном регрессионном анализе единственным независимым предиктором исхода был сердечный индекс после инфузионной нагрузки $< 2,8$ л/мин/м² [50].

Некоторые авторы относят к методам, потенциально способным повысить диагностическую эффективность ЧВКС при ЛГ, пробу с пассивным поднятием ног. Этот простой маневр увеличивает сердечную преднагрузку путем перемещения около 300 мл крови из венозной системы нижних конечностей к сердцу. Предполагается, что маневр может использоваться у больных с противопоказаниями к введению жидкости. В то же время проба может быть неэффективной при использовании компрессионных чулок, наличии внутрибрюшной гипертензии или тромбоза глубоких вен нижних конечностей. Диагностическая значимость данной пробы у пациентов с ЛГ пока не изучена [51].

У 85 пациентов при ЧВКС с тремя провокационными маневрами (пассивный подъем ног, велотренажер с целевой нагрузкой на спине и быстрое вливание кристаллоидной жидкости) корреляции между гемодинамическими изменениями, связанными с пассивным подъемом ног, физической нагрузкой и нагрузкой жидкостью были умеренными. В зависимости от провокационного маневра и критериев классификации наблюдались значительные различия в количестве переклассифицированных пациентов [52].

Поскольку глубокий вдох вызывает широкий набор физиологических эффектов, в том числе, снижение центрального венозного давления, повышение венозного возврата к сердцу и изменение электропроводности легких [53] некоторые исследователи предлагают рассматривать его как «мягкую» функциональную пробу, которая может иметь полезную диагностическую информацию при ЛГ. В пилотном исследовании у 80 больных ИЛГ и ХТЭЛГ было выявлено два варианта изменений положения электрической оси сердца во время глубокого вдоха: смещение по сравнению со спокойным дыханием вправо (аналогичное описанному у здоровых лиц) и влево (у 63% пациентов). Больные с «парадоксальным» поведением электрической оси сердца на вдохе характеризовались более высокими значениями ЛСС, индекса эксцентричности, снижением объемов левого желудочка, ударного объема и сердечного выброса [54].

Заключение

Можно надеяться, что в будущем концептуальные подходы к использованию ЭКГ при обследовании пациентов с ЛГ претерпят такие же изменения, как и парадигма электрокардиографической диагностики гипертрофии левого желудочка [55]. А именно, изменения ЭКГ, как фундаментальный маркер электрофизиологического ремоделирования, расширят понимание основных электрических процессов, протекающих в миокарде при ЛГ, и их роль для стратификации сердечно-сосудистого риска. В будущем мультимодальный подход, объединяющий цифровую ЭКГ, данные других методов исследования и методы машинного обучения, вероятно, улучшит комплексную оценку состояния сердца у больных ЛГ и послужит основой для более точной диагностики, целенаправленного подбора терапии и улучшения прогноза.

Список литературы / References

1. Авдеев С.Н., Барбараш О.Л., Валиева З.С., Волков А.В., Веселова Т.Н., Галвич А.С., Гончарова Н.С., Горбачевский С.В., Грамович В.В., Данилов Н.М., Клименко А.А., Мартынюк Т.В., Моисеева О.М., Рыжкова Д.В., Симаква М.А., Синицын В.Е., Стукалова О.В., Чазова И.Е., Черногров И.Е., Шмалтс А.А., Царева Н.А. Легочная гипертензия, в том числе хроническая тромбоэмболическая легочная гипертензия. Клинические рекомендации 2024. Российский кардиологический журнал. 2024; 29(11):6161. doi: 10.15829/1560-4071-2024-6161. Avdeev S.N., Barbarash O.L., Valieva Z.S., Volkov A.V., Veselova T.N., Galyavich A.S., Goncharova N.S., Gorbachevsky S.V., Gramovich V.V., Danilov N. M., Klimenko A.A., Martynyuk T.V., Moiseeva O.M., Ryzhkova D.V., Simakova M.A., Sinitsyn V.E., Stukalova O.V., Chazova I.E., Chernogrirov I.E., Shmalts A.A., Tsareva N.A. 2024 Clinical practice guidelines for Pulmonary hypertension, including chronic thromboembolic pulmonary hypertension. Russian Journal of Cardiology. 2024; 29(11):6161. doi: 10.15829/1560-4071-2024-6161.
2. Чазова И.Е., Мартынюк Т.В., Шмалтс А.А., Грамович В.В., Данилов Н.М., Веселова Т.Н., Коробкова И.З., Сарыбаев А.Ш., Стукалова О.В., Азизов В.А., Барбараш О.Л., Галвич А.С., Горбачевский С.В., Медведева И.В., Матчин Ю.Г., Мукаров М.А., Наконечников С.Н., Филиппов Е.В., Черногров И.Е. Европейские рекомендации по диагностике и лечению легочной гипертензии (2023). Евразийский Кардиологический Журнал. 2024; (1): 6–85. doi: org/10.38109/2225-1685-2024-1-6-85. Chazova I.E., Martynyuk T.V., Shmalts A.A., Gramovich V.V., Danilov N.M., Veselova T.N., Korobkova I.Z., Sarybaev A.Sh., Stukalova O.V., Barbarash O.L., Azizov V.A., Galyavich A.S., Gorbachevsky S.V., Medvedeva E.A., Matchin Y.G., Mukarov M.A., Nakonechnikov S.N., Filippov E.V., Chernogrirov I.E. Eurasian guidelines for the diagnosis and treatment of pulmonary hypertension (2023). Eurasian heart journal. February 2024; (1):6-85 (in Russ.) https://doi.org/10.38109/2225-1685-2023-1-6-85.
3. Whitman IR, et al. Validity of the surface electrocardiogram criteria for right ventricular hypertrophy: the MESA-RV Study (Multi-Ethnic Study of Atherosclerosis-Right Ventricle). J Am Coll Cardiol. 2014; 63(7): 672–681.
4. Mirzajadani M, Naderi N, Chenaghloou M, Taghavi S, Amin A. The prediction of right atrial pressure using electrocardiogram: a novel approach. ESC Heart Fail. 2021; 8(6):5040-5044. doi: 10.1002/ehf2.13570.
5. Luo J, Sun J, Xu L, Chen J, Chen Y, Chen W, Qiu H, Luo X, Chen S, Li J. Analysis of relationship between P wave dispersion and diagnosis of pulmonary arterial hypertension and risk stratification. J Electrocardiol. 2023; 81:94–100. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2023.08.002.
6. Michalski TA, Pszczola J, Lisowska A, Knapp M, Sobkowicz B, Kaminski K, Ptaszynska-Kopczynska K. ECG in the clinical and prognostic evaluation of patients with pulmonary arterial hypertension: an underestimated value. Ther Adv Respir Dis. 2022; 16:17534666221087846. doi: 10.1177/17534666221087846.
7. Stawek-Szymt S, Araszkiewicz A, Jankiewicz S, Smukowska-Gorynia A, Grygier M, Janus M, Lesiak M, Mularek-Kubzdela T. Association of Electrocardiographic Signs of Right Ventricular Hypertrophy and Clot Localization in Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension. J Clin Med. 2022; 11(3):625. doi: 10.3390/jcm11030625.
8. Tokgözü HC, Öcal BE, Erkuş YC, Tanyeri S, Kültürsay B, Tosun A, Keskin B, Hakgör A, Şırma D, Buluş Ç, Karagöz A, Tanboğa İH, Külahçıoğlu Ş, Bayram Z, Sekban A, Özdemir N, Kaymaz C. Remembering the Occam's Razor: Could Simple Electrocardiographic Findings Provide Relevant Predictions for Current Hemodynamic Criteria of Pulmonary Hypertension? Anatol J Cardiol. 2023; 27(11):664–672. doi: 10.14744/AnatolJCardiol.2023.3181.
9. Michalski TA, Smorąg M, Bukata N, Zygmunt M, Kachnic N, Lis E, Zaczynska K, Wilczek Ł, Wziątek B, Kopeć G. ECG patterns to predict pulmonary arterial hypertension in patients with severe tricuspid regurgitation. J Electrocardiol. 2024; 82:52–58. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2023.11.009.
10. Elifok A, Emet S, Karaayvaz EB, Erdogan O, Aydoğan M, Engin B, Cevik E, Orta H, Okumus G, Bilge AK. The relationship between T-wave peak-to-end interval and hemodynamic parameters in patients with pulmonary arterial hypertension. Ann Noninvasive Electrocardiol. 2020; 25(5): e12764. doi: 10.1111/anec.12764.

11. Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Рябыкина Г.В., Белевская А.А., Юрасова Е.С., Роденков О.В., Мартынюк Т.В., Саидова М.А. Тип комплекса QRS как показатель тяжести поражения сердца у больных легочной гипертензией. Кардиологический вестник. – 2020. Т. 15, № 1. с. 37–45. doi:10.36396/MS.2020.82.98.006.
- Sakhnova T.A., Blinova E.V., Ryabykina G.V., Belevskaya A.A., Yurasova E.S., Rodnenkov O.V., Martynuk T.V., Saidova M.A. The type of QRS complex as an indicator of the severity of heart damage in patients with pulmonary hypertension. *Cardiological Bulletin*. – 2020. Vol. 15, No. 1, pp. 37–45. doi:10.36396/MS.2020.82.98.006.
12. Wang F, Wang L, Yan C, Chang X, Wang H, Zhu K, Xu Y, Xu D. Algorithms of Electrocardiographic Changes for Quantitative and Localization Analysis of Thrombus Burden in Patients with Acute Pulmonary Thromboembolism. *Rev Cardiovasc Med*. 2023; 24(10):281. doi: 10.31083/j.rcm2410281.
13. Jansen SMA, Huis In 't Veld AE, Jacobs W, Grotjohan HP, Waskowsky M, van der Maten J, van der Weerd A, Hoekstra R, Overbeek MJ, Mollema SA, Tolén PHCG, Hassan El Bouazzaoui LH, Vriend JWJ, Roorda JMM, de Nooijer R, van der Lee I, Voogel BAJ, Peels K, Macken T, Aerts JM, Vonk Noordegraaf A, Handoko ML, de Man FS, Bogaard HJ. Noninvasive Prediction of Elevated Wedge Pressure in Pulmonary Hypertension Patients Without Clear Signs of Left-Sided Heart Disease: External Validation of the OPTICS Risk Score. *J Am Heart Assoc*. 2020; 9(15): e015992. doi: 10.1161/JAHA.119.015992.
14. Coghlan JG, Denton CP, Grünig E, Bønderman D, Distler O, Khanna D, Müller-Ladner U, Pope JE, Vonk MC, Doelberg M, Chadha-Boreham H, Heinzl H, Rosenberg DM, McLaughlin VV, Seibold JR; DETECT study group. Evidence-based detection of pulmonary arterial hypertension in systemic sclerosis: the DETECT study. *Ann Rheum Dis*. 2014; 73(7):1340–9. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-203301.
15. Dzikowska-Diduch O, Kurnicka K, Lichodziejewska B, Dudzik-Niewiadomska I, Machowski M, Roik M, Wiśniewska M, Siwiec J, Staniszevska IM, Pruszczyk P. Electrocardiogram, Echocardiogram and NT-proBNP in Screening for Thromboembolism Pulmonary Hypertension in Patients after Pulmonary Embolism. *J Clin Med*. 2022; 11(24):7369. doi: 10.3390/jcm11247369.
16. Nilsson LT, Andersson T, Carlberg B, Johansson LÅ, Söderberg S. Electrocardiographic abnormalities and NT-proBNP levels at long-term follow-up of patients with dyspnea after pulmonary embolism. *Scand Cardiovasc J*. 2024; 58(1):2373090. doi: 10.1080/14017431.2024.2373090.
17. Dai J, Liu T, Zhang H, Sun X, Tang Y, Qian W, Zhang Y, Ye H, Shan L, Li L, Du M, Li D, Zhu Y, Ma K, Liu L, Wang Q, Zhou L. Fragmented QRS complex could predict all-cause mortality in patients with connective tissue disease-associated pulmonary arterial hypertension. *Rheumatology (Oxford)*. 2024; keae084. doi: 10.1093/rheumatology/keae084.
18. Hendriks PM, Kauling RM, Geenen LW, Eindhoven JA, Roos-Hesseling JW, Boomers KA, van den Bosch AE. Role of the electrocardiogram in the risk stratification of pulmonary hypertension. *Heart*. 2023; 109(3):208–215. doi: 10.1136/heartjnl-2022-321475.
19. Waligóra M, Gliniak M, Bylica J, Pasieka P, Łączak P, Podolec P, Kopeć G. Extended Precordial T Wave Inversions Are Associated with Right Ventricular Enlargement and Poor Prognosis in Pulmonary Hypertension. *J Clin Med*. 2021; 10(10):2147. doi: 10.3390/jcm10102147.
20. Lui JK, Sangani RA, Chen CA, Bujur AM, Trojanowski MA, Gopal DM, LaValley MP, Soylemez Wiener R, Klings ES. Prognostic Value of Cardiac Axis Deviation in Systemic Sclerosis-Related Pulmonary Hypertension. *Arthritis Care Res (Hoboken)*. 2022; 74(7):1219–1226. doi: 10.1002/acr.24724.
21. Minhas J, Moutchia J, Al-Naamani N, Mazurek JA, Holmes JH, Appleby D, Smith KA, Fritz JS, Pugliese SC, Palevsky HI, Kawut SM. Electrocardiographic Abnormalities and Their Association with Outcomes in Randomized Clinical Trials of Pulmonary Arterial Hypertension. *Ann Am Thorac Soc*. 2024; 21(6):858–865. doi: 10.1513/AnnalsATS.202307-609OC.
22. Карабашева М.Б., Данилов Н.М., Сагайдак О.В., Матчин Ю.Г., Чазова И.Е. Динамика ЭКГ-показателей у больных хронической тромбоэмболической легочной гипертензией после транслюминальной баллонной ангиопластики легочных артерий. Системные гипертензии. 2019; 16(2):28–31. doi: 10.26442/2075082X.2019.2.190180.
- Karabasheva M.B., Danilov N.M., Sagaidak O.V., Matchin Yu.G., Chazova I.E. Dynamics of ECG indicators in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension after transluminal pulmonary balloon angioplasty. *Systemic Hypertension*. 2019; 16(2): 28–31. (In Russ.) DOI: 10.26442/2075082X.2019.2.190180.
23. Piłka M, Darocha S, Banaszkiewicz M, Wieteska-Mitek M, Mańczak M, Mańczak R, Kędzierski P, Floryczyk M, Dobosiewicz A, Torbicki A, Kurzyńska M. Assessment of electrocardiographic markers of acute and long-term hemodynamic improvement in patients with pulmonary hypertension. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2020; 25(5): e12758. doi: 10.1111/anec.12758.
24. Kariki O, Karyofyllis P, Millis P, Saplaouras A, Dragasis S, Chatziantoniou A, Alexiou D, Patsiotis IG, Letsas KP, Efremidis M. Electrocardiographic changes after balloon pulmonary angioplasty in chronic thromboembolic pulmonary hypertension: Data from the Hellenic Registry. *J Electrocardiol*. 2023;81:26–31. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2023.07.006.
25. Kol A, Kepez A, Akaslan D, Kanar B, Atas H, Mutlu B. Effects of balloon pulmonary angioplasty procedure on electrocardiographic parameters in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension. *J Electrocardiol*. 2023; 77:72–77. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2023.01.013.
26. Guo T, Zeng XM, Huang HQ, Wu XF, Guo WL, Chen HM, Zhong QN, Yang X, Ye HL, Hong C. ECG changes following balloon pulmonary angioplasty in patients with chronic thromboembolic pulmonary hypertension: a retrospective study. *J Cardiothorac Surg*. 2024;19(1):484. doi: 10.1186/s13019-024-02960-z.
27. Ley L, Wiedenroth CB, Ghoofrani HA, Hoeltgen R, Bandorski D. Analysis of Electrocardiographic Criteria of Right Ventricular Hypertrophy in Patients with Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension before and after Balloon Pulmonary Angioplasty. *J Clin Med*. 2023; 12(13):4196. doi: 10.3390/jcm12134196.
28. Piłka M, Mańczak M, Darocha S, Banaszkiewicz M, Mańczak R, Floryczyk M, Kędzierski P, Pietrasik A, Balsam P, Kurzyńska P, Wasilewski M, Wolański R, Torbicki A, Kurzyńska M. Assessment of Clinical Usefulness of Resting Electrocardiogram (PH-ECG Score) in Monitoring the Efficacy of Balloon Pulmonary Angioplasty (BPA) in Patients with Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension (CTEPH). *J Clin Med*. 2021; 10(19):4548. doi: 10.3390/jcm10194548.
29. Piłka M, Darocha S, Floryczyk M, Mańczak R, Banaszkiewicz M, Kędzierski P, Zieliński D, Wróbel K, Torbicki A. The Utility of a Resting Electrocardiogram (ECG-PH Index) in Evaluating the Efficacy of Pulmonary Endarterectomy in Chronic Thromboembolic Pulmonary Hypertension. *J Clin Med*. 2023; 12(24):7621. doi: 10.3390/jcm12247621.
30. Şahan E, Aydemir S. Evaluation of thrombolytic treatment effect on frontal plane QRS-T angle in patients with acute pulmonary embolism: A novel marker of successful thrombolysis. *Herz*. 2021; 46(Suppl 2):187–190. doi: 10.1007/s00059-020-04978-0.
31. Wade RC, Mkorombindo T, Ling SX, Helgeson ES, MacDonald DM, Pew K, Voelker H, Bittner V, Kunisaki KM, Lammi MR, Dransfield MT. Association between P-pulmonale and respiratory morbidity in COPD: a secondary analysis of the BLOCK-COPD trial. *BMC Pulm Med*. 2023; 23(1):434. doi: 10.1186/s12890-023-02748-2.
32. Pan D, Liu R, Ren S, Li C, Chang Q. Prediction of Pulmonary Arterial Hypertension in Chronic Obstructive Lung Disease from Three-Dimensional Vectorcardiographic Parameters. *Ann Noninvasive Electrocardiol*. 2016; 21(3): 280–6. doi: 10.1111/anec.12305.
33. Haecck ML, Kapel GF, Scherpfong RW, Swenne CA, Maan AC, Bax JJ, Schallij MJ, Vliegen HW. Detection of elevated pulmonary pressures by the ECG-derived ventricular gradient: A comparison of conversion matrices in patients with suspected pulmonary hypertension. *J Electrocardiol*. 2017; 50(1): 115–122. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2016.09.002.
34. Couperus LE, Vliegen HW, Henkens IR, Maan AC, Treskes RW, de Vries JK, Schoufoer AA, Swenne CA, Schallij MJ, Scherpfong RW. Electrocardiographic detection of pulmonary hypertension in patients with systemic sclerosis using the ventricular gradient. *J Electrocardiol*. 2016; 49(1):60–8. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2015.09.003.
35. Meijer FMM, Kies P, Jongbloed MRM, van Wijngaarden SE, Swenne CA, Maan S, Schallij MJ, de Vries-Bouwstra JK, Vliegen HW. ECG derived ventricular gradient exceeds echocardiography in the early detection of pulmonary hypertension in scleroderma patients. *Int J Cardiol*. 2018; 273:203–206. doi: 10.1016/j.ijcard.2018.07.122.
36. Kamphuis VP, Haecck ML, Wagner GS, Maan AC, Maynard C, Delgado V, Vliegen HW, Swenne CA. Electrocardiographic detection of right ventricular pressure overload in patients with suspected pulmonary hypertension. *J Electrocardiol*. 2014; 47(2):175–82. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2013.10.010.
37. Jaroszyński A, Schlegel TT, Zaborowski T, Zapolski T, Zaluska W, Janion-Sadowska A, Kozłowski D, Głuszek S, Dąbrowski W. The value of ventricular gradient for predicting pulmonary hypertension and mortality in hemodialysis patients. *Sci Rep*. 2022; 12(1):456. doi: 10.1038/s41598-021-04186-8.
38. El-Bokli A, Jimenez E, Hiremath G, Cortez D. Is derived vectorcardiography a potential screening tool for pulmonary hypertension? *J Electrocardiol*. 2022; 70:79–83. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2021.12.004.
39. Meijer FMM, Hendriks SV, Huisman MV, van der Hulle T, Swenne CA, Kies P, Jongbloed MRM, Egorova AD, Vliegen HW, Klok FA. Lack of diagnostic utility of the ECG-derived ventricular gradient in patients with suspected acute pulmonary embolism. *J Electrocardiol*. 2020; 61:141–146. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2020.06.006.
40. Lijfjens D, Meijer FMM, Boon GJAM, Ende-Verhaar YM, Bavalia R, El Bouazzaoui LH, Delcroix M, Huisman MV, Mairuhu ATA, Middeldorp S, Pruszczyk P, Ruigrok D, Verhamme P, Vonk Noordegraaf A, Vriend JWJ, Vliegen HW, Klok FA. Diagnostic efficacy of ECG-derived ventricular gradient for the detection of chronic thromboembolic pulmonary hypertension in patients with acute pulmonary embolism. *J Electrocardiol*. 2022; 74:94–100. doi: 10.1016/j.jelectrocard.2022.08.007.
41. DuBrock HM, Wagner TE, Carlson K, Carpenter CL, Awasthi S, Attia ZI, Frantz RP, Friedman PA, Kapa S, Annis J, Brittain EL, Hemnes AR, Asirvatham SJ, Babu M, Prasad A, Yoo U, Barve R, Selej M, Agron P, Kogan E, Quinn D, Dunnmon P, Khan N, Soundararajan V. An electrocardiogram-based AI algorithm for early detection of pulmonary hypertension. *Eur Respir J*. 2024; 64(1):2400192. doi: 10.1183/13993003.00192-2024.
42. Tison GH, Zhang J, Delling FN, Deo RC. Automated and Interpretable Patient ECG Profiles for Disease Detection, Tracking, and Discovery. *Circ Cardiovasc Qual Outcomes*. 2019; 12(9): e005289. doi: 10.1161/CIRCOUTCOMES.118.005289.
43. Aras MA, Abreau S, Mills H, Radhakrishnan L, Klein L, Mantri N, Rubin B, Barrios J, Chehoud C, Kogan E, Giffon X, Nnewiwe A, Quinn D, Bridges C, Butte AJ, Olgin JE, Tison GH. Electrocardiogram Detection of Pulmonary Hypertension Using Deep Learning. *J Card Fail*. 2023; 29(7):1017–1028. doi: 10.1016/j.cardfail.2022.12.016.
44. Kwon JM, Kim KH, Medina-Inojosa J, Jeon KH, Park J, Oh BH. Artificial intelligence for early prediction of pulmonary hypertension using electrocardiography. *J Heart Lung Transplant*. 2020; 39(8):805–814. doi: 10.1016/j.healun.2020.04.009.
45. Liu CM, Shih ESC, Chen JY, Huang CH, Wu IC, Chen PF, Higa S, Yagi N, Hu YF, Hwang MJ, Chen SA. Artificial Intelligence-Enabled Electrocardiogram Improves the Diagnosis and Prediction of Mortality in Patients with Pulmonary Hypertension. *JACC Asia*. 2022; 2(3):258–270. doi: 10.1016/j.jaccasi.2022.02.008.
46. Liu PY, Hsing SC, Tsai DJ, Lin C, Lin CS, Wang CH, Fang WH. A Deep-Learning-Enabled Electrocardiogram and Chest X-Ray for Detecting Pulmonary Arterial Hypertension. *J Imaging Inform Med*. 2024. doi: 10.1007/s10278-024-01225-4.
47. Moghaddam N, Swiston JR, Weatherall DJ, Mielniczuk L, Kapasi A, Hambly N, Langleben D, Brunner NW. Impact of saline loading at cardiac catheterization on echocardiographic parameters in patients with pulmonary hypertension. *Am J Cardiol*. 2020; 125(12):1785–1790. doi: 10.1016/j.amjcard.2020.07.038.

- terization on the classification and management of patients evaluated for pulmonary hypertension. *Int J Cardiol.* 2020; 306:181-186. doi: 10.1016/j.ijcard.2019.11.104.
48. Kaiser KN, Almoushref A, Mehta AK, Alkhayat M, Lane JE, Tonelli AR. Fluid loading during the hemodynamic evaluation of pulmonary hypertension: a cross-sectional study. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2023; 13(5):833-842. doi: 10.21037/cdt-23-59.
 49. Kremer N, Rako Z, Douschan P, Gall H, Ghofrani HA, Grimminger F, Guth S, Naeije R, Rieth A, Schulz R, Seeger W, Tedford RJ, Vadasz I, Vanderpool R, Wiedenroth CB, Richter MJ, Tello K. Unmasking right ventricular-arterial uncoupling during fluid challenge in pulmonary hypertension. *J Heart Lung Transplant.* 2022; 41(3):345-355. doi: 10.1016/j.healun.2021.11.019.
 50. D'Alto M, Motoji Y, Romeo E, Argiento P, Di Marco GM, Mattera Iacono A, D'Andrea A, Rea G, Golino P, Naeije R. Fluid challenge predicts clinical worsening in pulmonary arterial hypertension. *Int J Cardiol.* 2018; 261:167-171. doi: 10.1016/j.ijcard.2018.03.020.
 51. Arunachalam A, Chaisson NF, Tonelli AR. Methods to improve the yield of right heart catheterization in pulmonary hypertension. *Respiratory Medicine.* X. 2020; 2:100015. doi: 10.1016/j.ymex.2020.100015.
 52. Montané B, Tonelli AR, Arunachalam A, Bhattacharyya A, Li M, Wang X, Chaisson NF. Hemodynamic Responses to Provocative Maneuvers during Right Heart Catheterization. *Ann Am Thorac Soc.* 2022; 19(12):1977-1985. doi: 10.1513/AnnalsATS.202201-077OC.
 53. Баркан ВС, Дроздов ДВ, Резветсов ГД. Электрокардиограмма на вдохе: физиологические механизмы и диагностические возможности пробы. *Медицинский алфавит.* 2023; (22):36-42. Doi:10.33667/2078-5631-2023-22-36-42.
 54. Сахнова Т.А., Блинова Е.В., Мартынюк Т.В., Белевская А.А., Саидова М.А., Дроздов Д.В. Связь изменений электрической оси сердца на вдохе со структурно-функциональным состоянием сердца по данным эхокардиографии у больных прекапиллярной легочной гипертензией Системные гипертензии. 2024;21(2):5-20. Doi:10.38109/2075-082X-2024-2-5-20.
 55. Bacharova L, Chevalier P, Gorenek B, Jons C, Li YG, Locati ET, Maanja M, Pérez-Riera AR, Platonov PG, Ribeiro ALP, Schocken D, Soliman EZ, Svehlikova J, Tereshchenko LG, Ugander M, Varma N, Zaklyazminskaya E, Ikeda T. ISE/ISHNE expert consensus statement on the ECG diagnosis of left ventricular hypertrophy: The change of the paradigm. *Ann Noninvasive Electrocardiol.* 2024; 29(1):e13097. doi: 10.1111/anecc.13097.

Статья поступила / Received 13.10.2024
Получена после рецензирования / Revised 23.10.2024
Принята в печать / Accepted 23.10.2024

Информация об авторах

Соболев Александр Владимирович, д.т.н., ведущий научный сотрудник Лаборатории ЭКГ
ORCID: 0000-0002-8040-0770
Блинова Елена Валентиновна, к.м.н., научный сотрудник Лаборатории ЭКГ
ORCID: 0000-0001-8725-7084
Сахнова Тамара Анатольевна, к.м.н., старший научный сотрудник Лаборатории ЭКГ
ORCID: 0000-0002-5543-7184
Дроздов Дмитрий Владимирович, к.м.н., руководитель Лаборатории ЭКГ
ORCID: 0000-0001-7374-3604

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии имени академика Е.И. Чазова» МЗ РФ

Контактная информация:

Сахнова Тамара Анатольевна. E-mail: tamara-sahnova@mail.ru

Для цитирования: Соболев А.В., Блинова Е.В., Сахнова Т.А., Дроздов Д.В. Электрокардиография при легочной гипертензии: поиск новых диагностических возможностей (обзор литературы). *Медицинский алфавит.* 2024;(30):28-35. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-28-35>

Author information

Sobolev Alexander V., Doctor of Technical Sciences, leading researcher, ECG Laboratory
ORCID: 0000-0002-8040-0770
Blinova Elena V., Research Officer, ECG Laboratory
ORCID: 0000-0001-8725-7084
Sakhnova Tamara A., Senior Scientist, ECG Laboratory
ORCID: 0000-0002-5543-7184
Drozhdov Dmitry V., Head of ECG Laboratory
ORCID: 0000-0001-7374-3604

Federal State Budgetary Institution «National Medical Research Centre of Cardiology named after academician E.I. Chazov» of the Ministry of Health of the Russian Federation

Contact information

Tamara A. Sakhnova. E-mail: tamara-sahnova@mail.ru

For citation: Sobolev A.V., Blinova E.V., Sakhnova T.A., Drozdov D.V. Electrocardiography in pulmonary hypertension: search for new diagnostic possibilities (literature review). *Medical alphabet.* 2024;(30):28-35. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-28-35>



Клиническое значение деформации миокарда левого желудочка у детей с гипертрофической кардиомиопатией

А.А. Тарасова¹, О.С. Грознова^{2,3,4}, Н.Ю. Черных²

¹ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава РФ, г. Москва

² ОСП «НИКИ педиатрии и детской хирургии им. академика Ю.Е. Вельтищева» ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава РФ, г. Москва

³ Благотворительный фонд медико-социальных генетических проектов помощи «Геном Жизни», г. Москва

⁴ Кафедра инновационной педиатрии и детской хирургии Института непрерывного образования и профессионального развития ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава РФ, г. Москва

РЕЗЮМЕ

Цель – оценить клиническое значение показателей деформации миокарда левого желудочка, их взаимосвязи со степенью сердечной недостаточности и гипертрофии левого желудочка у детей с гипертрофической кардиомиопатией (ГКМП). **Материалы и методы.** 61 пациенту с первичной генетически подтвержденной асимметричной ГКМП в возрасте от 7 до 17 лет проведено комплексное клинико-ультразвуковое исследование сердца. При эхокардиографии определялись показатели систолической функции левого желудочка: фракции выброса и укорочения, глобальная продольная, циркулярная и радиальная деформации миокарда и их скорости. Оценка гипертрофии миокарда сегментов левого желудочка выполнялась с учетом абсолютных значений в систолу и диастолу в зависимости от возраста, в перерасчете на единицы стандартного отклонения в популяции (Z-score factor). **Результаты.** Установлены более выраженная степень сердечной недостаточности, снижение фракций выброса и укорочения, показателей деформации миокарда левого желудочка у всех детей с неструктурной и обструктивной формой ГКМП и экстремальной степенью гипертрофии миокарда в отличие от неструктурной формы заболевания с менее выраженной степенью гипертрофии. Выявлено более раннее снижение показателей деформации миокарда по сравнению с фракциями выброса и укорочения, продольной деформации и ее скорости по сравнению с радиальной и циркулярной и их скоростями. **Выводы.** 1. У детей с ГКМП и экстремальной степенью гипертрофии миокарда левого желудочка по сравнению со слабовыраженной и умеренной гипертрофией отмечается более выраженная степень сердечной недостаточности, которая сопровождается снижением показателей систолической функции левого желудочка. Среди них более чувствительным по сравнению с фракциями выброса и укорочения левого желудочка является снижение показателей деформации миокарда и их скоростей. 2. Снижение деформации миокарда левого желудочка у детей с ГКМП зависит от степени гипертрофии. Наиболее ранним, проявляющимся уже при слабовыраженной степени гипертрофии, является снижение продольной деформации и ее скорости по сравнению с циркулярной и радиальной деформациями и их скоростями. 3. Определение показателей деформации миокарда левого желудочка у детей с ГКМП в сопоставлении со степенью гипертрофии миокарда имеет важное клиническое значение в оценке систолической функции левого желудочка для оптимизации тактики ведения и своевременной терапии заболевания.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дети, гипертрофическая кардиомиопатия, гипертрофия, деформация миокарда, эхокардиография, 2D спекл-трекинг.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Clinical significance of myocardial deformation of a left ventricle in children with hypertrophic cardiomyopathy

A.A. Tarasova¹, O.S. Groznova^{2,3,4}, N.Yu. Chernykh²

¹ Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow

² Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics and Pediatric Surgery of the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

³ Charity Fund for medical and social genetic aid projects «Life Genome», Moscow

⁴ Department of Innovative Pediatrics and Pediatric Surgery, Institute of Continuing Education and Professional Development of the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

SUMMARY

Purpose: to evaluate the clinical significance of left ventricular myocardial deformation indicators, their relationship with the degree of heart failure and left ventricular hypertrophy in children with hypertrophic cardiomyopathy (HCM). **Materials and methods.** 61 patients with primary genetically confirmed asymmetric HCM aged 7 to 17 years underwent a comprehensive clinical and echocardiography. Echocardiography determined indicators of left ventricular systolic function: ejection and shortening fractions, global longitudinal, circular and radial myocardial deformations and deformations rates. The assessment of myocardial hypertrophy of left ventricular segments was performed taking into account absolute values in systole and diastole depending on age, recalculated per standard deviation units in the population (Z-score factor). **Results.** A more pronounced degree of heart failure, a decrease in ejection and shortening fractions, and indicators of left ventricular myocardial deformation were established in all children with non-obstructive and obstructive forms of HCM and an extreme degree of myocardial hypertrophy, in contrast to the non-ob-

structive form of the disease with a less pronounced degree of hypertrophy. An earlier decrease in myocardial deformation indices was revealed in comparison with ejection and shortening fractions, longitudinal deformation and its speed in comparison with radial and circular, their speeds. **Conclusions.** 1. In children with HCM and extreme degrees of left ventricular myocardial hypertrophy, compared with mild and moderate hypertrophy, a more pronounced degree of heart failure is observed, which is accompanied by a decrease in left ventricular systolic function. Among them, a decrease in myocardial deformation rates and their velocities is more sensitive compared to left ventricular ejection fractions and shortening. 2. Reduction of left ventricular myocardial deformation in children with HCM depends on the degree of hypertrophy. The earliest, manifesting itself even with a mild degree of hypertrophy, is a decrease in longitudinal deformation and its speed compared to circular and radial deformations and their speeds. 3. Determining the indicators of left ventricular myocardial deformation in children with HCM in comparison with the degree of myocardial hypertrophy is of great clinical importance in assessing the systolic function of the left ventricle to optimize administration tactics and timely treatment of the disease.

KEYWORDS: children, hypertrophic cardiomyopathy, hypertrophy, deformation myocardium, echocardiography, 2D speckle tracking.

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

Введение

Гипертрофическая кардиомиопатия (ГКМП) – это наиболее часто встречаемое заболевание миокарда в детском возрасте, характеризующееся крайне непредсказуемым течением и риском внезапной сердечной смерти, которая часто становится первым и единственным проявлением болезни. К грозным жизнеугрожающим осложнениям ГКМП у детей относится сердечная недостаточность, которая возникает вследствие декомпенсации функции сердца как при сниженной систолической функции на поздних стадиях заболевания, так и при сохранной систолической функции в случае снижения ударного объема левого желудочка из-за выраженной гипертрофии. У детей с ГКМП отсутствуют ранние предикторы возникновения сердечной недостаточности, что затрудняет прогнозирование течения заболевания и не дает возможности заблаговременно оптимизировать лечение для предупреждения декомпенсации. В связи с этим важное значение для разработки тактики ведения, своевременной терапии и профилактики кардиальных нарушений имеет диагностический поиск ранних маркеров изменения функции миокарда [1–5].

Ведущая роль в диагностике ГКМП, оценке систолической и диастолической функции сердца принадлежит ультразвуковому исследованию. Как правило, к ранним изменениям функционального состояния сердца при ГКМП принято относить нарушение диастолической функции. В настоящее время важное значение приобретает исследование кинетики миокарда. К показателям, оценивающим ранние кинетические изменения в сердце, относятся деформация (strain) и скорость деформации (strain rate) миокарда. Как известно, деформация миокарда представляет собой изменение исходной геометрии миокарда в процессе сокращения. Она может быть измерена в продольном, радиальном и циркулярном направлениях, в субэндокардиальных и субэпикардиальных слоях миокарда. Скорость деформации – скорость укорочения или утолщения миокардиальных волокон во времени [6–8].

Деформация миокарда определяется различными методами лучевой диагностики – магнитно-резонансной томографией с контрастным усилением, а также ультразвуковыми методами, включающими доплеровскую визуализацию тканей (tissue doppler imaging), векторное скоростное изображение (vector velocity imaging) и спекл-трекинг (speckle tracking) [6–9]. Наибольшее применение в клинической практике в настоящее время

находит метод 2D speckle tracking, позволяющий измерять показатели деформации при помощи отслеживания траектории движения в течение сердечного цикла акустических маркеров миокарда или спеклов вне зависимости от угла сканирования и поступательных движений сердца [6–10].

Оценка показателей деформации миокарда левого желудочка у детей с ГКМП как ранних маркеров нарушения систолической функции является актуальной задачей при проведении ультразвукового исследования сердца, но представлена в большей степени у взрослых пациентов [7–16]. У них было выявлено, что уменьшение глобальной продольной деформации происходит пропорционально появлению клинической симптоматики [15]. При снижении глобальной продольной деформации менее – 15,6% отмечается больший риск развития сердечной недостаточности [16]. При сочетании асимметричной формы ГКМП и артериальной гипертензии глобальная продольная деформация ниже, чем при сочетании с нормальным уровнем артериального давления [11]. При значении глобальной продольной деформации менее -10% чувствительность выявления заболевания составляет 80%, специфичность – 95% [17].

У детей с ГКМП в немногочисленных работах было показано снижение всех видов глобальной деформации миокарда (продольной, циркулярной, радиальной) и их скоростей, а также региональной продольной и радиальной деформации, особенно выраженное в более гипертрофированных сегментах левого желудочка [18, 19]. Большинство показателей деформаций миокарда левого желудочка были существенно снижены у детей с обструктивной формой ГКМП по сравнению с пациентами с необструктивной формой заболевания [19]. В предыдущих наших работах у детей с ГКМП показатели глобальной и сегментарной продольной, радиальной, циркулярной деформаций миокарда левого желудочка и их скоростей также были достоверно ниже при обструктивной форме заболевания по сравнению с необструктивной формой [20–22]. Кроме того, были установлены обратные корреляционные связи разной степени между показателями глобальной деформации и биохимическими маркерами ишемии миокарда (тропонинами T, I, креатинфосфокиназой-МВ, лактатдегидрогеназой, миоглобином), хронической сердечной недостаточности (натрийуретическим пептидом типа B), а также электрокардиографическими признаками гипертрофии и ишемии миокарда, наруше-

ний проводимости. Более тесные связи наблюдались при обструктивной форме по сравнению с необструктивной формой заболевания, между показателями деформации и тропонинами Т, I, натрийуретическим пептидом типа В сыворотки крови [20, 21].

Бесспорный интерес у детей с ГКМП представляет изучение взаимосвязей между различными показателями деформации миокарда левого желудочка и степенью сердечной недостаточности, гипертрофии миокарда левого желудочка, что является перспективным направлением в ранней диагностике нарушений систолической функции, оптимизации тактики ведения и стратегии своевременной терапии заболевания.

Цель исследования – оценить клиническое значение показателей деформации миокарда левого желудочка, их взаимосвязи со степенью сердечной недостаточности и гипертрофии левого желудочка у детей с ГКМП.

Материалы и методы

Комплексное клинико-ультразвуковое исследование сердца проведено 61 пациенту с первичной генетически подтвержденной асимметричной ГКМП в возрасте от 7 до 17 лет (медиана 12 лет), 47 (77%) мальчиков и 14 (23%) девочек.

К критериям включения в исследование относились: пациенты от 7 до 17 лет (включительно) обоих полов с впервые или ранее установленным генетически подтвержденным диагнозом: гипертрофическая кардиомиопатия, асимметричная форма. Все исследуемые дети имели мутации в генах саркомерных белков, среди которых наиболее часто встречались мутации в генах MYBPC3, MYH7.

Критерии исключения: возраст детей младше 3 лет и старше 18 лет; пациенты с врожденными пороками сердца в анамнезе; с гипертрофией миокарда на фоне длительно существующей артериальной гипертензии; с фенотипами ГКМП; спортсмены, имеющие стаж занятий спортом не менее 4-х лет, с диагностированной по данным эхокардиографии гипертрофией миокарда левого желудочка; часто болеющие дети; дети с длительными жалобами на нарушение носового дыхания различной этиологии (аллергический ринит, гипертрофия аденоидов, искривление носовой перегородки) вследствие возможного затруднения проведения ультразвукового исследования.

Пациенты были разделены на две группы: 1-ю группу составили 45 (74%) детей с необструктивной формой заболевания и различной степенью гипертрофии миокарда левого желудочка (слабовыраженной, умеренной и экстремальной); 2-ю группу – 16 (23%) детей с обструктивной формой и экстремальной гипертрофией. Обструкция отмечалась на уровне выходного тракта левого желудочка с максимальным градиентом давления 30–50 мм рт. ст. как в покое, так и при нагрузочном тесте. Латентные формы обструкции не наблюдались.

Наряду с общеклиническим обследованием сердца, включающим сбор жалоб и анамнеза, осмотр с применением пальпации, перкуссии, аускультации, измерение артериального давления по Н.С. Короткову, частоты сердечных сокращений и дыхания, для определения функ-

ционального класса (ФК) сердечной недостаточности по классификации NYHA выполнялся тест с 6-минутной ходьбой.

Ультразвуковое исследование сердца проводилось на аппарате Toshiba Artida (Canon, Япония) по стандартной методике с применением матричного секторного датчика с диапазоном частот 4–6 МГц. В двухмерном режиме (2D) определялись показатели систолической функции левого желудочка – фракция выброса по методу Симпсона и фракция укорочения [9]. В режиме 2D speckle-tracking проводилось измерение глобальной продольной, циркулярной, радиальной деформации миокарда и их скоростей в 12 сегментах базального и срединного отделов левого желудочка при синхронной записи электрокардиограммы [6, 9]. Для оценки показателей продольной деформации использовали апикальные двух-, трех- и четырехкамерные позиции, для параметров радиальной и циркулярной деформации – парастернальные позиции по короткой оси левого желудочка на уровне створок и папиллярных мышц митрального клапана. С помощью программного обеспечения COR в автоматическом и полуавтоматическом режимах проводился анализ показателей деформации миокарда левого желудочка в момент систолы от зубца R на ЭКГ в трех сердечных циклах с получением среднего результата. Полученные в ходе исследования показатели деформации миокарда левого желудочка у детей с ГКМП сравнивали с параметрами деформации, изученными нами ранее у здоровых детей аналогичного возраста [23].

Оценка толщины миокарда сегментов левого желудочка выполнялась с учетом абсолютных значений в систолу и диастолу в зависимости от возраста (от 7 до 11 лет и от 12 до 17 лет), в перерасчете на единицы стандартного отклонения в популяции (Z-score factor) [24]. Толщина каждого сегмента миокарда измерялась в трех местах (с краев сегмента и посередине), в миллиметрах. За толщину сегмента принималось среднее арифметическое этих трех измерений. Гипертрофию миокарда оценивали по степеням: слабовыраженная – 2–3 Z; умеренная – 3–4 Z; экстремальная – более 4 Z [10].

Статистический анализ результатов проводился при помощи программы STATISTICA 10.0. Количественные данные представлены в виде значений среднего (M), стандартного отклонения (σ), медианы, минимального и максимального значений. Для оценки значимости различий количественных переменных в малых группах были выполнены тесты Крускала – Уоллиса (Kruskal – Wallis ANOVA). Для оценки достоверности различий качественных переменных использовался критерий χ^2 . Значимыми различия показателей считались при $p \leq 0,05$ [25].

Результаты и обсуждение

Оценка клинических симптомов показала, что наиболее частыми жалобами были одышка при физической нагрузке и снижение толерантности к физической нагрузке, которые отмечались у большинства детей 1-й группы (84,4 и 86,6%) и у всех пациентов 2-й группы. Такие жалобы, как одышка в покое (11,1% в 1-й группе и 75% во 2-й группе, $p=0,006$), загрудинные боли (11,1 и 75%,

Таблица 1
Показатели Z-score factor толщины сегментов миокарда
левого желудочка у детей с ГКМП (n=61)

Сегменты миокарда левого желудочка	1-я группа (n=45)	2-я группа (n=16)
	Мин.-макс. значения	Мин.-макс. значения
Передне-перегородочный базальный	2,2–5,49	4,69–6,02
Передне-перегородочный срединный	2,1–5,24	4,64–5,98
Нижне-перегородочный базальный	2,1–5,34	4,62–5,97
Нижне-перегородочный срединный	2,07–5,04	4,54–5,73
Нижний базальный	1,54–2	1,98–4,29
Нижний срединный	1,59–2	1,96–4,26
Нижне-боковой базальный	1,74–3,16	2,02–4,29
Нижне боковой срединный	1,79–3,15	2,04–4,31
Передне-боковой базальный	2,2–5,21	4,16–5,79
Передне-боковой срединный	2,1–5,23	4,24–5,84
Передний базальный	2,99–5,75	4,73–6,13
Передний срединный	3,18–5,78	4,78–6,08

Таблица 2
Частота гипертрофии сегментов миокарда левого желудочка
у детей с ГКМП (n=61)

Сегменты миокарда левого желудочка	1-я группа (n=45)		2-я группа (n=16)		Значимость различий, p
	n	%	n	%	
Передне-перегородочный базальный	45	100	16	100	-
Передне-перегородочный срединный	45	100	16	100	-
Нижне-перегородочный базальный	45	100	16	100	-
Нижне-перегородочный срединный	45	100	16	100	-
Нижний базальный	2	4	10*	63	0,042
Нижний срединный	2	4	14*	88	0,0496
Нижне-боковой базальный	3	7	16*	100	0,0294
Нижне-боковой срединный	5	11	16*	100	0,0248
Передне-боковой базальный	45	100	16	100	-
Передне-боковой срединный	45	100	16	100	-
Передний базальный	45	100	16	100	-
Передний срединный	45	100	16	100	-

* – статистически значимые различия между группами при $p \leq 0,05$.

Таблица 3
Показатели систолической функции левого желудочка у детей с ГКМП (n=61)

Показатели	1-я группа (n=45)			2-я группа (n=16)			p
	M±σ	Медиана	Мин. – макс. значения	M±σ	Медиана	Мин. – макс. значения	
Продольная деформация (%)	-11,06±6,42	-10,44*	-9,33–18,4	-10,13±6,07	-8,24	-0,49–14,42	0,002
Скорость продольной деформации (с-1)	-0,59±0,13	-0,61*	-0,46–0,66	-0,36±0,23	-0,35	-0,22–0,61	0,0025
Радиальная деформация (%)	19,44±14,5	19,14*	8,44–39,6	15,10±11,2	13,42	0,89–18,1	0,003
Скорость радиальной деформации (с-1)	1,01±0,11	1,02*	0,82–2,77	0,94±0,41	0,87	0,65–1,02	0,002
Циркулярная деформация (%)	-17,25±13,4	-18,11*	-8,9±33,5	-11,62±9,11	-12,29	-0,69±16,2	0,016
Скорость циркулярной деформации (с-1)	-0,65±0,14	-0,56*	-0,12±1,4	-0,51±0,21	-0,48	-0,32–0,71	0,011
Фракция укорочения (%)	28,44±1,99	30*	26–36	25,4±2,89	22	20–26	0,003
Фракция выброса (%)	62,14±2,34	66*	58–68	52,12±2,98	52	48–58	0,002

* – достоверность различий при $p \leq 0,05$.

$p=0,006$), субъективное ощущение аритмии (4,4 и 75%, $p=0,006$), предсинкопальные состояния (4,4 и 25%, $p=0,02$), головокружение (11,1 и 75%, $p=0,006$) достоверно чаще встречались во 2-й группе по сравнению с 1-й группой, в которой преобладало субклиническое проявление болезни.

У 40 (88,9%) детей 1-й группы со слабовыраженной и умеренной степенью гипертрофии левого желудочка отмечался ФК I сердечной недостаточности. У 5 (11,1%) пациентов 1-й группы и у всех детей 2-й группы с экстремальной степенью гипертрофии наблюдался ФК II сердечной недостаточности, что имело статистически значимое отличие ($p=0,006$). В целом полученные результаты свидетельствовали о более выраженной степени сердечной недостаточности у детей с ГКМП и экстремальной степенью гипертрофии левого желудочка.

В процессе ультразвукового исследования сердца было установлено, что в 1-ой группе преобладала умеренная степень гипертрофии миокарда левого желудочка (75,6%) по сравнению со слабовыраженной степенью (13,3%) и экстремальной степенью (11,1%). У всех детей 2-й группы наблюдалась экстремальная степень гипертрофии миокарда.

При оценке толщины сегментов миокарда левого желудочка в систолу и диастолу в зависимости от возраста были получены статистически значимые отличия у детей 2-й группы по сравнению с 1-й. Наибольшие значения показа-

телей толщины миокарда колебались в систолу в пределах 46–53 мм и в диастолу в пределах 45–50 мм у детей 2-й группы. Гипертрофия миокарда в 100% случаев наблюдалась в передних, передних боковых, передне- и нижне-перегородочных базальных и срединных сегментах левого желудочка. Гипертрофия базальных и срединных нижних, нижне-боковых сегментов достоверно чаще встречалась во 2-й группе по сравнению с 1-й группой (табл. 1, 2).

При анализе систолической функции левого желудочка наблюдалось снижение показателей глобальной продольной деформации и ее скорости ниже релевантных значений (соответственно ниже -19% и -0,68 с⁻¹) у всех детей с ГКМП. Значения радиальной (соответственно ниже 20% и 1,08 с⁻¹) и циркулярной (ниже -20% и -0,74 с⁻¹) деформации и их скоростей были снижены у всех детей 2-й группы и у 39 (86,6%) пациентов 1-й группы. Фракции выброса и укорочения левого желудочка были ниже нормативных значений (соответственно ниже 60 и 30%) у 5 (11,1%) детей 1-й группы и у всех пациентов 2-й группы с экстремальной гипертрофией. При этом были получены статистически значимые отличия показателей деформации и их скоростей у детей 1-й группы по сравнению со 2-й группой. Эти результаты отражали более высокую чувствительность параметров деформации миокарда в оценке систолической функции левого желудочка по сравнению с фракциями выброса и укорочения и их более выраженное снижение при экстремальной гипертрофии (табл. 3).

Кроме того, отмечалось более раннее снижение продольной деформации миокарда по сравнению с циркулярной и радиальной деформациями, проявляющееся уже при слабовыраженной степени гипертрофии. Об этом свидетельствовали и результаты анализа взаимосвязи гипертрофии и деформации миокарда левого желудочка, проведенного нами в предыдущей работе [22]. Было установлено, что при увеличении толщины миокарда левого желудочка более 2,48Z отмечалось снижение продольной деформации ниже релевантных значений, компенсаторное нарастание радиальной и отсутствие изменений циркулярной деформации. Снижение циркулярной деформации наблюдалось при толщине миокарда более 3,16Z, радиальной деформации – при толщине миокарда более 4,24Z. Анализ подобных взаимосвязей является важным как для изучения механизмов сокращения левого желудочка, так и для определения критериев нарушения его систолической функции.

Выводы

1. У детей с ГКМП и экстремальной степенью гипертрофии миокарда левого желудочка по сравнению со слабовыраженной и умеренной гипертрофией отмечается более выраженная степень сердечной недостаточности, которая сопровождается снижением показателей систолической функции левого желудочка. Среди них более чувствительным по сравнению с фракциями выброса и укорочения левого желудочка является снижение показателей деформации миокарда и их скоростей.
2. Снижение деформации миокарда левого желудочка у детей с ГКМП зависит от степени гипертрофии. Наиболее ранним, проявляющимся уже при слабовыраженной степени гипертрофии, является снижение продольной деформации и ее скорости по сравнению с циркулярной и радиальной деформациями и их скоростями.
3. Определение показателей деформации миокарда левого желудочка у детей с ГКМП в сопоставлении со степенью гипертрофии миокарда имеет важное клиническое значение в оценке систолической функции левого желудочка для оптимизации тактики ведения и своевременной терапии заболевания.

Список литературы / References

1. Леонтьева И.В., Ковалёв И.А. Прогноз при гипертрофической кардиомиопатии у детей. Педиатрия им. Г.Н. Сперанского. 2020; 99 (3):235–244.
2. Leontyeva I.V., Kovalev I.A. Prognosis for hypertrophic cardiomyopathy in children. *Pediatr n.a. G.N. Speransky*. 2020; 99 (3):235–244. (In Russ.)
3. Bogle C., Colan S.D., Miyamoto S.D. et al. Treatment Strategies for Cardiomyopathy in Children: A Scientific Statement From the American Heart Association. *Circulation*. 2023; 148 (2):174–195. doi: 10.1161/CIR.0000000000001151.
4. Elliott PM, Anastasakis A, Borger MA et al. 2014 ESC Guidelines on diagnosis and management of hypertrophic cardiomyopathy. The Task Force for the Diagnosis and Management of Hypertrophic Cardiomyopathy of the European Society of Cardiology (ESC). *Eur Heart J*. 2014; 36 (39): 2735–2739. doi: 10.1093/eurheartj/ehu284.
5. Wang S., Zhu C. Hypertrophic cardiomyopathy in children. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2022; 30 (1): 92–97. doi: 10.1177/02184923211041285.
6. Gersh B.J., Maron B.J., Bonow R.O. et al. 2020 ACCF/AHA guideline for the diagnosis and treatment of hypertrophic cardiomyopathy: executive summary: a report of the American College of Cardiology Foundation/American Heart Association Task Force on Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2020; 142 (25): e533–e557. doi: 10.1161/CIR.0000000000000938.
7. Voigt JU, Pedrizzetti G, Lysyansky P, Marwick TH, Houle H, Baumann P et al. Definitions for a common standard for 2D speckle tracking echocardiography: consensus document of the EACVI/ASE/Industry Task Force to standardize deformation imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2015; 16 (1): 1–11. doi: 10.1093/ehjci/jeu184.
8. Алексин М.Н. Двухмерная спекл-трекинг-эхокардиография для оценки деформации миокарда и камер сердца. Учебное пособие. М.: Издательский дом Видар-М. 2022. 112 с.
9. Alekhin M.N. Two-dimensional speckle-tracking-echocardiography for the assessment of myocardial deformation and heart chambers. *Textbook*. Moscow: Publishing house Vidar-M. 2022. 112 p.
10. Бокерия А.А., Алексин М.Н., Машина Т.В. и др. Современные ультразвуковые технологии в кардиологии и кардиохирургии. М.: ФГБУ «НМИЦССХ им. А.Н. Бакулева» МЗ РФ. 2018. 140 с.
11. Bokeria L.A., Alekhin M.N., Mashina T.V. et al. Modern ultrasound technologies in cardiology and cardiac surgery. Moscow: A.N. Bakulev National Medical Research Center for Cardiovascular Surgery of the Russian Ministry of Health. 2018. 140 p.
12. Отто К.М. Клиническая эхокардиография. Практическое руководство. Перевод 5-го издания; Под общ. ред. Сандрикова В.А., под ред. Галагудзы М.М., Домницкой Т.М., Зеленикина М.М., Кулагина Т.Ю., Никифорова В.С., Сандрикова В.А. М.: Логосфера. 2019. 1352 с.
13. Otto K.M. Clinical echocardiography. A practical guide. Translation of the 5th edition; Under the general ed. Sandrikova V.A., ed. Galagudzy M.M., Domnitskaya T.M., Zelenikina M.M., Kulagina T.Yu., Nikiforova V.S., Sandrikova V.A. M.: Logosphere, 2019. 1352 p.
14. Габрусенко С.А., Гудкова А.Я., Козилова Н.А. и др. Гипертрофическая кардиомиопатия. Клинические рекомендации 2020. Российский кардиологический журнал. 2021; 26 (5):269–334. doi: 10.15829/1560-4071-2021-4541.
15. Gabrusenko S.A., Gudkova A.Ya., Koziova N.A. et al. Hypertrophic cardiomyopathy. *Clinical guidelines 2020*. *Russian Journal of Cardiology*. 2021; 26 (5):269–334. doi: 10.15829/1560-4071-2021-4541.
16. Павлюкова Е.Н., Терешенкова Е.К., Карпов Р.С. Деформация в продольном направлении и по окружности, ротация, скручивание и раскручивание левого желудочка у пациентов с асимметричной гипертрофией левого желудочка. Сибирский медицинский журнал (г. Томск). 2014; 29 (3): 55–62.
17. Pavlyukova E.N., Tereshenkova E.K., Karpov R.S. Global longitudinal and circumferential strain, rotation, twist and untwist of the left ventricle in patients with asymmetric left ventricular hypertrophy. *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2014; 29(3): 55–62. (In Russ.) <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2014-29-3-11-20>.
18. Haland T.F., Edvardsen T. The role of echocardiography in management of hypertrophic cardiomyopathy. *J Echocardiogr*. 2020; 18 (2): 77–85. doi: 10.1007/s12574-019-00454-9.
19. Reant P., Mirabel M., Loyd G. et al. Global longitudinal strain is associated with heart failure outcomes in hypertrophic cardiomyopathy. *Heart*. 2016; 102 (10): 741–747. doi: 10.1136/heartjnl-2015-308576.
20. Zegkos T., Parcharidou D., Ntelios D. et al. The Prognostic Implications of Two-Dimensional Speckle Tracking Echocardiography in Hypertrophic Cardiomyopathy: Current and Future Perspectives. *Cardiol Rev*. 2018; 26 (3): 130–136. doi: 10.1097/CRD.0000000000000172.
21. Carasso S., Yang H., Woo A. et al. Systolic myocardial mechanics in hypertrophic cardiomyopathy: novel concepts and implications for clinical status. *J Am Soc Echocardiogr*. 2008; 21 (6): 675–683. doi: 10.1016/j.echo.2007.10.021.
22. Reant P., Mirabel M., Loyd G. et al. Global longitudinal strain is associated with heart failure outcomes in hypertrophic cardiomyopathy. *Heart*. 2016; 102 (10): 741–747. doi: 10.1136/heartjnl-2015-308576.
23. Butz T., van Buuren F., Mellwig K.P. et al. Two-dimensional strain analysis of the global and regional myocardial function for the differentiation of pathologic and physiologic left ventricular hypertrophy: a study in athletes and in patients with hypertrophic cardiomyopathy. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2011; 27 (1): 91–100. doi: 10.1007/s10554-010-9665-5.
24. Ganame J., Mertens L., Eidem B.W. et al. Regional myocardial deformation in children with hypertrophic cardiomyopathy: morphological and clinical correlations. *Eur Heart J*. 2007; 28 (23): 2886–2894. doi: 10.1093/EURHEARTJ/EHM444.
25. Mazurkiewicz L., Ziolkowski L., Petykac J. et al. Left-ventricular mechanics in children with hypertrophic cardiomyopathy. CMR study. *Magnetic Resonance Imaging*. 2017; 43(3): 56–65. doi: 10.1016/j.mri.2017.07.003.
26. Черных Н.Ю., Грознова О.С., Тарасова А.А., Шигабеев И.М. Биохимические маркеры ишемии, сердечной недостаточности и деформация миокарда у детей с гипертрофической кардиомиопатией. Педиатрия (Прил. к журн. Консильиум Medicum). 2018; 4(4): 80–84.
27. Chernykh N.Yu., Groznova O.S., Tarasova A.A., Shigabev I.M. Biochemical markers of ischemia, heart failure and myocardial deformation in children with hypertrophic cardiomyopathy. *Pediatrics (Suppl. Consilium Medicum)*. 2018; 4: 80–84. (In Russ.) doi: 10.26442/24138460.2018.4.180151.
28. Черных Н.Ю., Тарасова А.А., Грознова О.С., Шигабеев И.М. Деформация миокарда левого желудочка и электрокардиографические изменения у детей с гипертрофической кардиомиопатией. Медицинский Совет. 2021; (11): 124–132.
29. Chernykh NY, Tarasova AA, Groznova OS, Shigabev IM. Left ventricular myocardial strain and electrocardiographic changes in children with hypertrophic cardiomyopathy. *Meditsinskiy sovet = Medical Council*. 2021; (11): 124–132. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2021-11-124-132>.
30. Черных Н.Ю., Тарасова А.А., Грознова О.С. Гипертрофия и деформация миокарда левого желудочка у детей с гипертрофической кардиомиопатией. Медицинский совет. 2023; (16): 154–161.
31. Chernykh NY, Tarasova AA, Groznova OS. Left ventricular myocardial hypertrophy and strain changes in children with hypertrophic cardiomyopathy. *Meditsinskiy sovet = Medical Council*. 2023; (16): 154–161. (In Russ.) <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2023-16-154-161>.

23. Черных Н.Ю., Тарасова А.А., Грознова О.С. Оценка деформации миокарда левого желудочка в режиме 2D-speckle-tracking у здоровых детей и подростков. Медицинский совет. 2020; (18):152–161.
Chernykh NY, Tarasova AA, Groznova OS. 2D speckle-tracking assessment of left ventricular myocardial strain in healthy children and adolescents. Meditsinskiy sovet = Medical Council. 2020; (18): 152–161. [In Russ.] <https://doi.org/10.21518/2079-701X-2020-18-152-161>.
24. Шарыкин А.С. Z score Calculator v. 12. / Свидетельство о государственной регистрации программы ЭВМ №2016610878 от 21.01.2016.

- Sharykin A.S. Z score Calculator v. 12. / Certificate of state registration of the computer program №2016610878 dated 01/21/2016.
25. Ланг Т.А., Сесик М. Как описывать статистику в медицине. Руководство для авторов, редакторов и рецензентов. Пер. с англ. под ред. В.П. Леонова. М.: Практическая медицина, 2016. 480 с.
Lang T.A., Sesik M. How to describe statistics in medicine. A guide for authors, editors and reviewers. Translated from English edited by V.P. Leonov. M.: Practical medicine, 2016. 480 p.

Статья поступила / Received 07.11.2024
Получена после рецензирования / Revised 17.11.2024
Принята в печать / Accepted 17.11.2024

Информация об авторах

Тарасова Алла Алексеевна¹, д.м.н., профессор, профессор кафедры лучевой диагностики детского возраста
ORCID: 0000-0002-8033-665X
Грознова Ольга Сергеевна^{2,3,4}, д.м.н., главный научный сотрудник отдела детской кардиологии и аритмологии, директор, профессор кафедры инновационной педиатрии и детской хирургии
ORCID: 0000-0002-7511-3240
Черных Надежда Юрьевна², научный сотрудник отдела клинической генетики
ORCID: 0000-0003-2014-4012

¹ ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава РФ, г. Москва

² ОСП «НИКИ педиатрии и детской хирургии им. академика Ю.Е. Вельтищева»

ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава РФ, г. Москва

³ Благотворительный фонд медико-социальных генетических проектов помощи «Геном Жизни», г. Москва

⁴ Кафедра инновационной педиатрии и детской хирургии Института непрерывного образования и профессионального развития ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова» Минздрава РФ, г. Москва

Контактная информация:

Тарасова Алла Алексеевна. E-mail: tarasova-aa@yandex.ru

Author information

Tarasova Alla Alekseevna¹, Dr. Med. Sc., Professor, Professor of the Department of Radiation Diagnostics of children
ORCID: 0000-0002-8033-665X
Groznova Olga Sergeevna^{2,3,4}, Dr. Med. Sc., chief Researcher of the Department of Pediatric Cardiology and Arrhythmology, director, Professor of the Department of Innovative Pediatrics and Pediatric Surgery, ORCID: 0000-0002-7511-3240
Chernykh Nadezhda Yurievna², Researcher of the Department of Clinical Genetics
ORCID: 0000-0003-2014-4012

¹ Russian Medical Academy of Continuing Professional Education of the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow

² Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics and Pediatric Surgery of the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

³ Charity Fund for medical and social genetic aid projects «Life Genome», Moscow

⁴ Department of Innovative Pediatrics and Pediatric Surgery, Institute of Continuing Education and Professional Development of the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow

Contact information

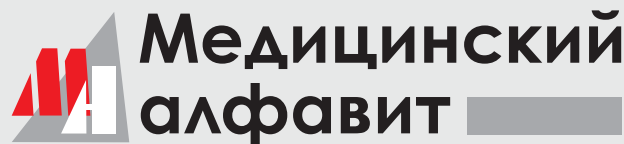
Tarasova Alla Alekseevna. E-mail: tarasova-aa@yandex.ru

Для цитирования: Тарасова А.А., Грознова О.С., Черных Н.Ю. Клиническое значение деформации миокарда левого желудочка у детей с гипертрофической кардиомиопатией. Медицинский алфавит. 2024;(30):36–41. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-36-41>

For citation: Tarasova A.A., Groznova O.S., Chernykh N.Yu. Clinical significance of myocardial deformation of a left ventricle in children with hypertrophic cardiomyopathy. Medical alphabet. 2024;(30):36–41. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-36-41>



БЛАНК-ЗАКАЗ на подписку на журнал 2025 год



Название организации (или Ф. И. О.) _____

Адрес (с почтовым индексом) _____

Телефон: _____ E-mail: _____ Контактное лицо: _____

«Медицинский алфавит». Серия «Современная функциональная диагностика»
Печатная версия 700 руб. за номер, электронная версия любого журнала – 500 руб. за номер.
Присылайте, пожалуйста, запрос на адрес medalfavit@mail.ru.

ООО «Альфмед»

ИНН 7716213348

Р/с № 40702810738090108773

ПАО «СБЕРБАНК РОССИИ» г. МОСКВА К/с 30101810400000000225 БИК 044525225

Годовая подписка на журнал «Медицинский алфавит». Серия «Современная функциональная диагностика» – 4 выпуска в год 2025. Цена 2800 руб. в год (печатная версия) или 2000 руб. (электронная версия).

Как подписаться:

- Оплатить квитанцию в любом отделении Сбербанка у кассира с получением кассового чека. Журналы высылаются, только если вы прислали адрес доставки на электронную почту издательства. Отправить скан квитанции с кассовым чеком, выданным кассиром банка, на e-mail: medalfavit_pr@bk.ru или podpiska.ma@mail.ru.
- Оплата через онлайн-банки издательством принимается только на сайте <https://medalfavit.ru/podpiska-na-zhurnaly/> в разделе «Издательство медицинской литературы».

Нагрузочные тесты без велоэргометра и тредмила: методы и интерпретация

Д.В. Шутов¹, А.К. Пром²

¹ НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва

² ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Волгоград

РЕЗЮМЕ

В статье освещены возможности применения нагрузочных тестов без специального оборудования. Показаны методические особенности проведения и варианты интерпретации тестов. Актуализированы тесты с изменением положения тела. Уточнены дефиниции нагрузочных тестов и нагрузочных проб. Разработана классификация эргометров и показателей мониторируемых параметров. Приведены примеры заключений. Рассмотрены возможности применения нагрузочных тестов в реальной клинической практике на этапах лечения и реабилитации пациентов с широким спектром нозологий. Даны таблицы для самостоятельного определения результатов нагрузочного тестирования. Представленные методы могут использоваться в педиатрической практике. Статья адресована широкому кругу практических врачей и специалистов функциональной диагностики.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нагрузочный тест, степ-тест, ортостатическая проба, тест шестиминутной ходьбы.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Stress test protocols applied without treadmill and bicycle ergometer: procedures and interpretation

D.V. Shutov¹, A.K. Prom²

¹ SPCC of diagnostics and telemedicine technologies of the Moscow Health Department, Moscow

² Volgograd State Medical University, Volgograd

SUMMARY

The article highlights the possibility of application of exercise tests without special equipment. The methodological features of conducting tests and their interpreting options are shown. Changed body position tests have been updated. The definitions of stress tests and exercise tests have been clarified. A classification of ergometers and indicators of monitored parameters has been worked out. Examples of medical reports are given. The application possibilities of stress tests were considered in real clinical practice at the stages of treatment and rehabilitation of patients with a wide range of nosologies. Tables for independently determining the exercise test results are presented. The methods can be used in pediatric practice. The article is addressed to a wide range of practitioners and functional diagnostics specialists.

KEYWORDS: exercise test, step test, orthostatic test, six-minute walk test.

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

Введение

Нагрузочное тестирование является высокоинформативным и относительно безопасным методом исследования сердечно-сосудистой системы, которое широко применяется в клинической практике [1]. Наиболее популярной для объективной оценки толерантности к физической нагрузке в клинических, исследовательских и спортивных целях является кардиопульмональная нагрузочная проба [2]. Знание основ проведения нагрузочных тестов без оборудования будет полезно как в педиатрической практике, так и во взрослой функциональной диагностике для скрининговых и специфических обследований пациентов. Существуют различные дефиниции нагрузочного тестирования. В данной работе под нагрузочным тестированием понимается способ оценки динамики физиологических показателей организма с применением дозируемой, градуиру-

емой и управляемой нагрузки. Этот вид исследования подразумевает стрессовое тестирование индивидуума, которое осуществляется при использовании высоких или пиковых нагрузок, превышающих повседневный уровень. Необходимо делать различие между нагрузочными пробами и нагрузочными тестами. Проба всегда подразумевает применение специфического эргометра (например, тредмила) для проведения исследования, в то время как тест может проводиться без специального оборудования.

Материалы и методы исследования

Наиболее надёжным методом дозирования нагрузок считается использование различных эргометров (велоэргометр, тредмил) [3]. В медицинской практике применяют и другие методики, непосредственно меняющие ЧСС, например, фармакологические пробы или чреспищеводную электрокардиостимуляцию сердца. Наиболее рас-

пространенные виды эргометров, которые применяются для тестирования пациентов, спортсменов, для оценки эффективности реабилитации при различных заболеваниях, а также для специфического контингента профессий, например, пожарных, представлены в табл. 1.

Таблица 1
Типы эргометров и регистрируемые параметры

Тип	Регистрируемые параметры
Велоэргометр	Электрокардиограмма в 12 каналах
Циклический эргометр для рук	Артериальное давление
Изометрический эргометр	Показатели функции внешнего дыхания
Гребной тренажер	Парциальное давление кислорода, углекислого газа
Гребной тренажер	Локальная сократимость
Тредмил	Градиент давления
«Бегущая лестница»	Зоны «дефектов накопления»
«Бегущий канат»	
Горизонтальный велоэргометр	

Другой подход к проведению физического нагрузочного тестирования – использование альтернативных (без применения эргометров) методов дозирования и управления нагрузкой. В этом случае используют различные способы выполнения нагрузки, под которыми понимают ее дозирование с помощью расстояния, времени, темпа, работы по подъему собственного тела, изометрического усилия, изменения положения тела, психологического тестирования с созданием отрицательного эмоционального напряжения. Особенностью нагрузочного тестирования по сравнению с обычными физическими упражнениями является то, что можно четко дозировать и управлять нагрузкой. Имеется возможность оценивать различные параметры, такие как воспринятое усилие с помощью визуальных аналогов шкал (по Боргу), частоту сердечных сокращений (ЧСС), изменение сатурации кислорода, биоэлектрический потенциал на электрокардиограмме (ЭКГ) в нескольких каналах, артериальное давление (АД). В реальной клинической практике наиболее частыми измеряемыми параметрами являются ЭКГ, ЧСС и АД. Данные по способам дозирования нагрузки и оцениваемым параметрам обобщены в табл. 2.

Таблица 2
Альтернативные способы дозирования нагрузки

Способ	Оцениваемые параметры
Расстояние	Воспринятое усилие (по Боргу)
Время	ЧСС
Темп	Сатурация кислорода
Работа (подъем собственного веса)	ЭКГ (1-3-12 каналов)
Изометрическое усилие	АД
Изменение положения тела	
Психологическое тестирование	

Тест шестиминутной ходьбы

Наиболее распространенным в медицинской практике и легким в использовании методом является тест шестиминутной ходьбы (ТШХ). Данный вид нагрузочного тестирования прост в использовании и широко при-

меняется медицинским сообществом в реабилитации и диагностике различных нозологий кардиологического профиля [4 и 5]. Тест объективно оценивает функциональный статус пациента и применяется в качестве инструмента контроля в случаях: реабилитации до и после трансплантации и резекции легких; различных хирургических вмешательств, ведущих к уменьшению объема легких; сравнительной оценки лечебных и реабилитационных мероприятий при заболеваниях легких; легочной гипертензии и хронической сердечной недостаточности; тестирования пожилого (60–75 лет) и старческого (75–90 лет) контингента больных. ТШХ имеет значение для прогностической оценки вероятности развития осложнений и смертности при хронической сердечной недостаточности, хронической обструктивной болезни легких, первичной легочной гипертензии. Результаты теста определяют программу нагрузки для здоровых лиц, которые занимаются скандинавской ходьбой и другими видами динамических нагрузок.

Противопоказания к использованию ТШХ традиционно разделяют на абсолютные и относительные. К абсолютным противопоказаниям относят: нестабильную стенокардию; острый инфаркт миокарда в течение предыдущего месяца; заболевания опорно-двигательного аппарата, препятствующие ходьбе. Относительные противопоказания для проведения ТШХ включают: ЧСС менее 50 ударов в минуту, ЧСС более 120 ударов в минуту, систолическое артериальное давление (САД) выше 180 мм рт. ст., диастолическое артериальное давление (ДАД) выше 100 мм рт. ст. При оценке противопоказаний к назначению ТШХ необходимо учитывать, что данный вид нагрузочного тестирования достаточно безопасен и может успешно применяться даже у лиц с протезированными конечностями. Перед проведением теста необходимо убедиться в наличии следующего оборудования: аптечки для оказания первой помощи, размеченного коридора длиной не менее 30 метров, секундомера или таймера, пульсоксиметра, тонометра для измерения АД [6].

ТШХ может выполняться как в госпитальных условиях, так и на амбулаторно-поликлиническом этапе лечения. Исходно у пациента оценивают ЭКГ, ЧСС, сатурацию кислорода методом пульсоксиметрии, в обязательном порядке проверяют уровень АД. Пациент начинает ходить по коридору с максимально возможной для него скоростью под контролем медицинского персонала. Критерием прекращения ТШХ являются следующие патологические состояния: боль в грудной клетке, выраженная одышка, судороги, головокружение, нарушение устойчивости (потеря равновесия), выраженное потоотделение, бледность кожных покровов, снижение сатурации кислорода до 86%. Через шесть минут оценивают пройденное расстояние и делают заключение о функциональном состоянии сердечно-сосудистой системы. Классический критерий оценки результатов – подсчет пройденного расстояния. Дополнительные критерии оценки: прирост пройденного расстояния, показатели сатурации кислорода, воспринятое усилие по визуальным аналогам шкал по Боргу, уровень АД, ЧСС. Существуют точные формулы, которые рассчи-

тывают должное значение ТШХ для мужчин и женщин в зависимости от индекса массы тела (ИМТ), возраста и роста.

Для мужчин:

$$\text{ТШХ} = 7,57 \times \text{рост} 5,02 \times \text{возраст} 1,76 \times \text{масса} 309, \\ \text{ТШХ} = 1140 5,61 \times \text{ИМТ} 6,94 \times \text{возраст}.$$

Для женщин:

$$\text{ТШХ} = 2,11 \times \text{рост} 2,29 \times \text{масса} 5,78 \times \text{возраст} 667, \\ \text{ТШХ} = 1017 6,24 \times \text{ИМТ} 5,83 \times \text{возраст}.$$

Для клинической оценки эффективности лечения или реабилитации минимально достоверным улучшением считается увеличение пройденной дистанции на 54–70 м по сравнению с исходным результатом. В свою очередь, дистанция пройденного расстояния менее 300 метров является независимым предиктором увеличенной смертности в последующие 5 лет [7]. Результаты ТШХ широко используют для определения функционального класса хронической сердечной недостаточности (ХСН). В табл. 3 представлен функциональный класс ХСН в зависимости от параметров физической активности пациента [4].

Таблица 3
Параметры физической активности и потребления кислорода у больных с ХСН

Функциональный класс, NYHA	Дистанция, пройденная за 6 минут, метры	Потребление кислорода, мл/(кг×мин)
0	>551	>22,1
I	426–550	18,1–22,0
II	301–300	14,1–18,0
III	151–300	10,1–14,0
IV	<150	<10

При проведении проб с дозированной физической активностью под контролем ЭКГ обращают внимание на наложение стандартных электродов. При «классическом» наложении электродов (на конечности) создаются значительные помехи для регистрации сигнала ЭКГ при активных двигательных движениях. В этой связи предпочтительным является наложение стандартных электродов по Мейсону – Ликару, по Хану, по Лунд. На рисунке представлен один из альтернативных вариантов наложения стандартных электродов, предпочтительный при проведении проб с дозированной физической нагрузкой [8]

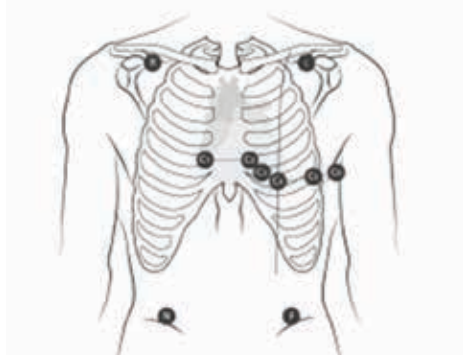


Рисунок. Расположение электродов на грудной клетке и животе по Мейсону – Ликару. Источник заимствования: Дроздов Д.В. и др. Регистрация электрокардиограммы покоя в 12 общепринятых отведениях взрослым и детям 2023. Методические рекомендации

Использование альтернативных методик наложения электродов на грудную клетку обеспечивает свободу движения пациента при выполнении нагрузки на различных видах эргометров и других тестированиях. Перед началом теста необходимо регистрировать ЭКГ в положении лежа (с электродами на спине) для оценки изменения электрической оси сердца в покое и при нагрузке. Необходимо учитывать, что у спортсменов и тренированных лиц отмечается значительная потоотделяемость во время выполнения нагрузки, поэтому желательно использовать вакуумную систему аппликации электродов.

Лестничный тест

В практическом здравоохранении использование лестничного теста стало рутинной практикой. Основной целью лестничного теста является подбор и контроль антиангинальной терапии в условиях повседневной деятельности. Методика проведения лестничного теста подробно описана в литературе [9]. Во время исследования пациент выполняет четыре или более физической нагрузки в виде подъема по лестнице в определенное время: утром, днем, вечером и сразу, после ночного сна. Рекомендуется проведение лестничных проб в 10, 13, 16, 19 часов и после подъема утром. Подъем по лестнице осуществляется в привычном для пациента равномерном темпе до появления любых жалоб (ангинозных болей, выраженной одышки, усталости, сердцебиения). В дневнике больной указывает время начала и окончания подъема, количество пройденных ступеней лестницы. Дозирование и контроль выполненной нагрузки осуществляется по формуле:

$\text{ОВР} = 0,15 \times \text{вес пациента} \times \text{количество ступеней}$,
где ОВР – объем выполненной работы.

Объективный контроль показателей во время проведения лестничного теста оценивается с помощью аппарата Холтеровского мониторирования ЭКГ (3–12 каналов). Классическими критериями оценки результатов лестничного теста являются возникновение ишемических изменений ЭКГ и жалобами пациента, сопоставляемые с уровнем выполненной работы.

Степ-тест

Степ-тест был впервые предложен в 1929 году, первоначально назван «пробой Мастера», впоследствии значительно модернизирован [10]. В настоящее время в практике используются Гарвардский степ-тест (1942), Kasch степ-тест (1966), Starir Climbing Field test (1967), Astrand-Ryhming степ-тест (1970), Chester степ-тест (1998), Dundee степ-тест (2002). Для проведения степ-теста используют следующее оборудование: ступени разной высоты, метроном, системы для регистрации пульса, тонометр АД, ЭКГ монитор. Степ-тест может проводиться на разных группах людей: спортсмены и физкультурники, больные с целью объективного контроля лечения и реабилитации, а также во время массового обследования населения. В качестве примера приведем выполнение степ-теста по Kasch, для проведения которого допустима когорта пациентов от 4 до 75 лет. Показания для проведения исследования идентичны классическому

нагрузочному тестированию с использованием эргометра. Для достоверного контроля в обязательном порядке регистрируют ЧСС и АД. Дополнительно можно проводить 12-канальную запись ЭКГ, анализировать дыхательные объемы, парциальное давление кислорода и углекислого газа во выдыхаемом воздухе. Классическими критериями оценки степ-теста по Kasch являются достижение максимальной или субмаксимальной ЧСС, появление субъективных жалоб либо критериев остановки стандартной нагрузочной пробы при использовании кардиографа или спироэргометра. Перед началом проведения необходимо убедиться в наличии соответствующего оборудования: ступеньки высотой 30 см, метронома. Методика проведения степ-теста по Kasch включает тренировочное восхождение, отдых, тестовое восхождение, начиная с частоты 24 шагов/мин (96 движений/мин), каждые 3 минуты увеличивая на 3–6 шагов, до достижения частоты 35 шагов/мин (140 движений/мин), время проведения пробы от 6 до 10 минут.

Подъем ног в положении лежа

Этот тест не требует специального оборудования и выполняется по определенной методике.

1. Провести регистрацию ЭКГ покоя перед исследованием согласно стандартной операционной процедуре «Регистрация электрокардиограммы в кабинете медицинской организации» [8].
2. Измерить АД и занести результаты в протокол исследования. Если артериальное давление отличается от «рабочего» систолического более чем на 20 мм рт. ст. и 10 мм рт. ст. от диастолического – довести информацию до сведения врача и ожидать его решения.
3. Провести инструктаж пациента. В положении лежа выполнить подъем прямых ног максимально вверх по типу «качать пресс» в самом быстром для пациента темпе десять раз. При невозможности поднятия прямых ног следует поднимать согнутые в коленях ноги и имитировать «езду на велосипеде» в течение одной минуты. Сразу после завершения нагрузки проверить крепление электродов и повторно зарегистрировать ЭКГ.
4. Завершить исследование, сделать запись в протоколе, сохранив данные. Тест проводится под руководством среднего медицинского персонала.

Ходьба с высоким поднятием бедра

Данный тест является модификацией теста Котова – Дешина и отличается от теста с поднятием ног тем, что электроды после регистрации ЭКГ перед выполнением нагрузки в виде ходьбы снимаются с ног пациента. Выполнение пробы с высоким подниманием бедра (в верхней точке бедро параллельно полу) проводится в течение трех минут в максимально возможном для пациента темпе. Для поддержания равновесия у возрастных пациентов или лиц с избыточной массой тела допустимо опереться рукой на спинку стула или край стола. Сразу после завершения нагрузки пациента необходимо уложить на кушетку, наложить электроды на ноги, проверить крепление остальных электродов и зарегистрировать ЭКГ. Остальные действия медицинской сестры по функциональной диагностике аналогичны предыдущему тесту.

Статическая нагрузка

Подготовительные процедуры аналогичны предыдущим видам тестирования. После инструктажа пациента проводят оценку максимальной силы сжатия динамометра доминантной рукой. Результат записывают в протокол исследования. Пациенту предлагается сжать доминантной рукой динамометр от 70 до 50% от максимального значения в течение пяти минут. Медицинский персонал визуально контролирует силу сжатия. Тест проводится либо до отказа (усталости) пациента, либо до выполнения нагрузки в течение установленного времени. Сразу после завершения нагрузки пациента необходимо уложить на кушетку, наложить электроды на ноги, проверить крепление остальных электродов и зарегистрировать ЭКГ. Оценка реакции организма при воздействии стрессового агента выполняется с помощью специальных таблиц [11]. При оценке реакции организма на нагрузку принимают во внимание степень изменения систолического и диастолического артериального давления до нагрузки и сразу после неё, а также время восстановления этих показателей до исходного значения (табл. 4).

Таблица 4
Типы реакции сердечно-сосудистой системы на дозированную физическую нагрузку

Тип реакции	ЧСС	САД	ДАД	Время восстановления
Нормотонический	Увеличивается на 50–70%	Повышается на 15–30 мм рт. ст. (на 15–30%)	Не изменяется или снижается на 5–10 мм рт. ст. (на 10–30%)	До 3 минут
Гипотонический (астенический)	Значительно увеличивается (более 120%)	Не изменяется, незначительно снижается или незначительно повышается	Не изменяется или незначительно повышается	Более 5–10 минут
Гипертонический	Значительно увеличивается (более 100%)	Повышается до 180–200 мм рт. ст.	Повышается до 90 мм рт. ст. и более	Более 5 минут
Дистонический (феномен бесконечного тона)	Значительно увеличивается (более 100%)	Повышается до 200 мм рт. ст. и выше	Снижается до 0 мм рт. ст.	Более 3 минут
Ступенчатый	Значительно увеличивается (более 100%)	Повышается на 2-й или 3-й минуте восстановительного периода	Не изменяется или повышается	Более 3 минут

Ортостатическая проба

Одной из разновидностей нагрузочных тестов без использования оборудования является ортостатическая проба. В настоящее время известны более 13 видов ортостатических проб, некоторые из которых представлены ниже.

1. Активная ортопроба (3 минуты) из исходного горизонтального положения с традиционным ежеминутным контролем АД и ЧСС. Выделяются виды ортопроб: а) модифицированная из исходного положения сидя с подставкой для ног с традиционным ежеминутным контролем АД и ЧСС; б) модифицированная из исходного положения сидя на корточках с традиционным ежеминутным контролем АД и ЧСС.
2. Активная ортопроба (5 минут) из исходного горизонтального положения с традиционным ежеминутным контролем АД и ЧСС. Выделяются виды ортопроб: а) модифицированная из исходного положения сидя с подставкой для ног с традиционным ежеминутным контролем АД и ЧСС; б) модифицированная из исходного положения сидя на корточках с традиционным ежеминутным контролем АД и ЧСС.
3. Активная ортопроба (10 минут) из исходного горизонтального положения с традиционным ежеминутным контролем АД и ЧСС. Выделяются виды ортопроб: а) модифицированная из исходного положения сидя с подставкой для ног с контролем АД и ЧСС; б) модифицированная из исходного положения сидя на корточках с контролем АД и ЧСС.

Методика выполнения ортостатической пробы состоит в следующих последовательных действиях. Тест проводит медицинская сестра. Необходимо провести регистрацию ЭКГ покоя перед исследованием согласно стандартной операционной процедуре [8]. Измерить АД и занести результаты в протокол исследования. При отличии от «рабочего» САД более 20 мм рт. ст. и 10 мм рт. от ДАД – решение о проведении пробы принимает лечащий врач. Помочь пациенту принять вертикальное положение (вместе с электродами). Пациент должен стоять спокойно, прямо, но без напряжения мышц в течение десяти минут. Проводят регистрацию ЭКГ непосредственно после вставания пациента через 1, 2, 3, 5, 10 минут. Важно измерять АД в вертикальном положении после каждой регистрации ЭКГ, результаты измерений необходимо заносить в протокол исследования. После завершения исследования нужно сохранить данные, остановив запись ЭКГ.

Выводы

Тесты без применения эргометров допустимы к использованию в клинической практике. Они не заменяют стандартизированных нагрузочных проб, указанных в клинических рекомендациях, порядках оказания медицинской помощи и алгоритмах ведения пациентов, но дополняют имеющиеся методы обследования. Применение тестов без эргометров являются надежным дополнительным инструментом в скрининговых, массовых обследованиях населения, а также для динамической оценки

состояния пациентов при контроле процесса лечения и реабилитации. Стоит отметить, что в связи с легкостью и доступностью данных тестов, приверженность пациентов к ним выше, чем при выполнении проб с использованием эргометров. В условиях ограниченного оснащения детских лечебно-профилактических учреждений нагрузочные тесты с успехом могут применяться в педиатрической практике, в том числе для решения вопроса о допусках к занятиям спортом. Внедрение в широкую клиническую практику тестов без применения эргометров позволит улучшить качество и доступность медицинской помощи населению и повысит информативность оценки функционального состояния организма у конкретного пациента.

Список литературы / References

1. Рекомендации ESC по спортивной кардиологии и физическим тренировкам у пациентов с сердечно-сосудистыми заболеваниями. Клинические рекомендации 2020 // Российский кардиологический журнал. – 2021. – 26(5):4488. DOI:10.15829/1560-4071-2021-4488. ESC Recommendations on Sports Cardiology and physical training in patients with cardiovascular diseases. Clinical recommendations 2020 // Russian Journal of Cardiology. – 2021. – 26(5):4488. DOI:10.15829/1560-4071-2021-4488.
2. Tran D. Cardiopulmonary Exercise Testing. // Methods Mol Biol. – 2018. – 1735. С. 285–295. DOI:10.1007/978-1-4939-7614-0_18.
3. Пром А.К., Иваненко В.В., Илюхин О.В. Пробы с физической нагрузкой (велозерометрия, тредмил-тест). – Волгоград: ВолГМУ. – 2023. – 76с. Prom A.K., Ivanenko V.V., Ilyukhin O.V. Tests with physical activity (bicycle ergometry, treadmill test). – Volgograd: VolgSMU. – 2023. – 76 p.
4. Хроническая сердечная недостаточность. Клинические рекомендации 2020. // Российский кардиологический журнал. – 2020. – 25(11):4083. DOI:10.15829/1560-4071-2020-4083. Chronic heart failure. Clinical recommendations 2020 // Russian Journal of Cardiology. – 2020. – 25(11):4083. DOI:10.15829/1560-4071-2020-4083.
5. Аракелян М. Г., Бокерия Л. А., Васильева Е. Ю. и др. Фибрилляция и трепетание предсердий. Клинические рекомендации 2020. // Российский кардиологический журнал. – 2021. – 26(7):4594. DOI:10.15829/1560-4071-2021-4594. Arakelyan M. G., Bockeria L. A., Vasilyeva E. Yu. et al. Atrial fibrillation and flutter. Clinical recommendations 2020. // Russian Journal of Cardiology. – 2021. – 26(7):4594. DOI:10.15829/1560-4071-2021-4594.
6. Шутлов Д.В., Арзамасов К.М., Дроздов Д.В. и др. Технические решения для индивидуального телемониторинга функционального состояния организма // Авиакосмическая и экологическая медицина. – 2021. – Т. 55, № 2. – С. 84–89. DOI: 10.21687/0233-528X-2021-55-2-84-89. Shutov D.V., Arzamasov K.M., Drozdov D.V. and others. Technical solutions for individual telemonitoring of the functional state of the body // Aerospace and environmental medicine. – 2021. – 55(2). – P. 84–89. – DOI: 10.21687/0233-528X-2021-55-2-84-89.
7. Бубнова М.Г., Персиянова-Дуброва А.А. Применение теста с шестиминутной ходьбой в кардиореабилитации. // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2020. – 19(4):2561. DOI:10.15829/1728-8800-2020-2561. Bubnova M.G., Persianova-Dubrova A.A. Application of the six-minute walk test in cardiac rehabilitation // Cardiovascular therapy and prevention. – 2020. – 19(4):2561. DOI:10.15829/1728-8800-2020-2561.
8. Дроздов Д.В., Макаров Л.М., Баркан В.С. и др. Регистрация электрокардиограммы покоя в 12 общепринятых отведениях взрослым и детям 2023. Методические рекомендации // Российский кардиологический журнал. – 2023. – 28(10):5631. DOI:10.15829/1560-4071-2023-5631. Drozdov D.V., Makarov L.M., Barkan V.S. and others. Registration of a resting electrocardiogram in 12 generally accepted leads for adults and children 2023. Methodological recommendations // Russian Journal of Cardiology. – 2023. – 28(10):5631. DOI:10.15829/1560-4071-2023-5631.
9. Тихоненко В.М. Подбор и контроль антиангинальной терапии с помощью холтеровского мониторирования. // Вестник Аритмологии. – 2002. – № 26. – С. 31–34. Tikhonenko V.M. Selection and control of antianginal therapy using Holter monitoring. // Bulletin of Arrhythmology. – 2002. – No. 26. – P.31-34.
10. Воронина В.П., Киселева Н.В., Марцевич С.Ю. Пробы с дозированной физической нагрузкой в кардиологии: прошлое, настоящее и будущее (I часть) // Кардиоваскулярная терапия и профилактика. – 2015. – 14(2). – С. 80–87. DOI:10.15829/1728-8800-2015-2-80-87. Voronina V.P., Kiseleva N.V., Martsevich S.Yu. Tests with dosed physical activity in cardiology: past, present and future (Part I) // Cardiovascular therapy and prevention. – 2015. – 14(2). – P. 80–87. DOI:10.15829/1728-8800-2015-2-80-87.
11. Буйкова О.М., Булаева Г.И. Функциональные пробы в лечебной и массовой физической культуре. – Иркутск: ИГМУ – 2017. – 26 с. Buikova O.M., Bulaeva G.I. Functional tests in therapeutic and mass physical culture. – Irkutsk: IG MU – 2017. – 26 p.
12. Духова Г.А. Методика определения и оценка функционального состояния сердечно-сосудистой системы. М.: МИИТ. – 2014. – 25 с. Dukhova G.A. Methodology for determining and assessing the functional state of the cardiovascular system. M.: MIIT. – 2014. – 25 p.

Статья поступила / Received 01.11.2024
Получена после рецензирования / Revised 07.11.2024
Принята в печать / Accepted 20.11.2024

Информация об авторах

Шутов Дмитрий Валерьевич¹, д.м.н., врач функциональной диагностики, руководитель проекта

E-mail: dmitry.shutov@bk.ru. ORCID 0000-0003-1836-3689

Пром Альберт Киманович², к.м.н., доцент кафедры лучевой, функциональной и лабораторной диагностики

E-mail: albertprom2@gmail.com. ORCID 0000-0002-7216-8932

¹ НПКЦ диагностики и телемедицинских технологий Департамента здравоохранения города Москвы, Москва

² ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Волгоград

Контактная информация:

Пром Альберт Киманович. E-mail: albertprom2@gmail.com

Author information

Shutov Dmitry Valerievich¹

ORCID 0000-0003-1836-3689

Prom Albert Kimanovich²

ORCID 0000-0002-7216-8932

¹ SPCC of diagnostics and telemedicine technologies of the Moscow Health Department, Moscow

² Volgograd State Medical University, Volgograd

Contact information

Prom Albert Kimanovich. E-mail: albertprom2@gmail.com

Для цитирования: Шутов Д.В., Пром А.К. Нагрузочные тесты без велоэргометра и тредмила: методы и интерпретация. Медицинский алфавит. 2024;(30):42–47. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-42-47>

For citation: Shutov D.V., Prom A.K.. Stress test protocols applied without treadmill and bicycle ergometer: procedures and interpretation. Medical alphabet. 2024;(30):42–47. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-42-47>



Влияние упражнений йоги с произвольными изменениями вентиляции легких на интракраниальный артериальный кровоток

А.В. Фролов¹, С.А. Ермолаева¹, М.Д. Дидур²

¹ ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Россия, Санкт-Петербург

² ФГБУ «Институт мозга человека имени Н.П. Бехтерева РАН», Россия, Санкт-Петербург

РЕЗЮМЕ

Введение. Дыхательные упражнения йоги с произвольными изменениями параметров вентиляции легких потенциально способны оказывать воздействие на мозговое кровообращение за счет изменений содержания CO_2 в артериальной крови. **Цель.** Оценка влияния дыхательных упражнений йоги с изменениями уровня легочной вентиляции на параметры кровотока в средней мозговой артерии (СМА). **Методы.** В исследовании приняли участие 21 человек, способные выполнять упражнения йоги с частотой дыхания (ЧД) 3–3,5/мин и 1–1,5/мин. Средний возраст участников составил $39,5 \pm 8,7$ лет. В течение 5 минут участники выполняли свободное дыхание (этап 1), дыхание с ЧД=3–3,5/мин (этап 2), и с ЧД=1–1,5/мин (этап 3). На 2 и 3 этапах участниками выполнялась техника «полное дыхание» с максимально глубоким вдохом и выдохом. Методом спиро-газоанализа регистрировалась частота дыхания (ЧД), дыхательный объем (ДО), минутный объем дыхания (МОД), парциальное давление CO_2 в выдыхаемом воздухе в конце выдоха (PetCO_2) и процентное содержание кислорода в выдыхаемом воздухе (FeO_2). Методом транскраниального дуплексного сканирования в правой СМА регистрировалась пиковая систолическая скорость кровотока Vps и конечная диастолическая скорость кровотока Vd (см/с), усредненная по времени максимальная скорость кровотока TAMAX, а также индекс резистентности RI. Рассчитывался индекс вариации скорости (ИВС) для каждого этапа. **Результаты.** По сравнению с 1 этапом 2 этап (ЧД=3–3,5/мин) сопровождался увеличением МОД и FeO_2 , снижением PetCO_2 , снижением Vps, Vd, TAMAX и увеличением RI. ИВС при этом статистически незначимо уменьшался. 3 этап (ЧД=1–1,5/мин) по сравнению с 1 этапом сопровождался увеличением PetCO_2 , уменьшением МОД и FeO_2 , а также увеличением Vps, Vd, TAMAX и снижением RI. ИВС при этом значимо увеличивался. **Выводы.** Выполнение дыхательных упражнений йоги с частотой дыхательных движений 3–3,5/мин и 1–1,5/мин приводит к разнонаправленным сдвигам параметров вентиляции и газообмена, которые сопровождаются изменениями артериального мозгового кровотока (снижение и повышение скорости кровотока при увеличении и уменьшении МОД соответственно). ИВС, отражающий колебания скорости кровотока значительно возрастает в случае снижения МОД, что может быть связано с вазодилатационным эффектом CO_2 .

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дыхательные упражнения, дуплексное сканирование, спирометрия, газоанализ, мозговое кровообращение, йога.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The influence of yoga exercises with voluntary pulmonary ventilation changes on intracranial arterial blood flow

Artem V. Frolov¹, Sargylana A. Ermolaeva¹, Michael D. Didur²

¹ St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, St. Petersburg, Russia

² Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

SUMMARY

Introduction. Yoga breathing exercises that involve voluntary changes in pulmonary ventilation parameters can potentially influence cerebral circulation due to changes in CO_2 content in arterial blood. **Objective.** To assess the effect of yoga breathing exercises with changes in pulmonary ventilation levels on blood flow parameters in the middle cerebral artery (MCA). **Methods.** The study included 21 participants, with an average age of 39.5 ± 8.7 years, who were capable of performing yoga exercises at respiratory rates (RR) of 3–3.5/min and 1–1.5/min. For 5 minutes, participants underwent three stages: free breathing (stage 1), breathing with RR=3–3.5/min (stage 2), and breathing with RR=1–1.5/min (stage 3). During stages 2 and 3, the «full breathing» technique, which involves maximum deep inhalation and exhalation, was employed. Respiratory rate (RR), tidal volume (TI), minute ventilation (MV), end-tidal CO_2 partial pressure (PetCO_2), and oxygen fraction in exhaled air (FeO_2) were recorded using spiro-gas analysis. Transcranial duplex scanning was used to measure peak systolic blood flow velocity (Vps), end-diastolic blood flow velocity (Vd), time-averaged maximum blood flow velocity (TAMAX), and resistance index (RI) in the right MCA. The velocity variation index (VVI) was calculated for each stage. **Results.** Compared to stage 1 (free breathing), stage 2 (RR = 3–3.5/min) showed an increase in MV and FeO_2 , a decrease in PetCO_2 , and reductions in Vps, Vd, and TAMAX, with an increase in RI. VVI decreased statistically insignificantly. In stage 3 (RR = 1–1.5/min), compared to stage 1, there was an increase in PetCO_2 , a decrease in MV and FeO_2 , and increases in Vps, Vd, and TAMAX, with a decrease in RI. VVI increased significantly. **Conclusions.** Yoga breathing exercises at respiratory rates of 3–3.5/min and 1–1.5/min result in multidirectional shifts in ventilation and gas exchange parameters, leading to changes in arterial cerebral blood flow (a decrease and increase in blood flow velocity with an increase and decrease in MV, respectively). VVI, reflecting fluctuations in blood flow velocity, increases significantly with reduced MV, likely due to the vasodilatory effect of CO_2 .

KEYWORDS: breathing exercises, duplex scanning, spirometry, gas analysis, cerebral circulation, yoga.

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

Введение

Дыхательные упражнения йоги с произвольными изменениями параметров вентиляции легких потенциально способны оказывать воздействие на мозговое кровообращение за счет изменений содержания CO_2 в артериальной крови. Показано, что в нормальных физиологических условиях между содержанием CO_2 в организме и уровнем мозгового кровотока имеется практически линейная зависимость: повышению PaCO_2 на 1 мм рт. ст. соответствует прирост мозгового кровотока на 1,1–1,3 мл/100 г/мин. Снижение PaCO_2 до 20–25 мм рт. ст. снижает церебральное кровообращение на 40–50% [1].

В исследованиях дыхательных упражнений с использованием транскраниальной доплерографии продемонстрированы разнонаправленные изменения артериального мозгового кровотока: при выполнении техник с частым глубоким дыханием наблюдалось снижение конечной диастолической скорости и средней скорости потока в средней мозговой артерии (СМА); при задержке дыхания имели место противоположные изменения; авторы связывают это с изменениями газообмена – гипоканией при гипервентиляции и гиперкаанией при задержке дыхания и влиянием PaCO_2 на мозговое кровообращение [2]. Увеличение частоты дыхания до 2 Гц сопровождается снижением конечной диастолической и средней скорости кровотока в СМА, что авторы предположительно объясняют развитием гипервентиляции и гипоканией [3]. Выполнение дыхательной техники йоги «квадрат пранаямы» с задержками дыхания сопровождается циклическими колебаниями линейной скорости кровотока в СМА в соответствии с фазами дыхания [4].

На сегодняшний день имеется дефицит научных работ, детально рассматривающих влияние произвольных изменений параметров легочной вентиляции на церебральный артериальный кровоток (корреляция показателей вентиляции и газообмена с параметрами мозгового кровотока, цикличность колебаний мозгового кровотока). В проведенных ранее работах регистрировались частота дыхания и изменения мозгового кровотока, но не всегда осуществлялась детальная оценка параметров легочной вентиляции и газообмена, которые являются важнейшими факторами влияния.

Исследование может дать важную информацию о влиянии дыхательных упражнений йоги на интракраниальное артериальное кровообращение и в целом улучшить понимание взаимосвязей процессов дыхания и церебрального кровотока.

Цель исследования – оценка влияния дыхательных упражнений йоги с изменениями уровня легочной вентиляции на параметры кровотока в средней мозговой артерии.

Материалы и методы

Набор участников проводился из числа студентов образовательной программы профессиональной переподготовки по специальности «Тренер» Санкт-Петербургского института восточных методов реабилитации (СПб ИВМР), давших согласие на участие в исследовании, а также ос-

воивших выполнение дыхательных упражнений йоги с частотой дыхания 1–1,5/мин под руководством педагогического состава СПб ИВМР. Исследование одобрено Этическим комитетом Санкт-Петербургского государственного университета в области исследований с привлечением людей (уведомление №115-03-5 от 20.02.2024 г.).

В исследовании приняли участие 21 человек, считающих себя здоровыми, не курящих и не принимающих никаких фармакологических препаратов на постоянной основе. Средний возраст участников составил $39,5 \pm 8,7$ лет. Участники имели опыт регулярной практики дыхательного упражнения «полное дыхание» не менее 6 месяцев. Каждому участнику выполнялся предварительный стандартный протокол исследования брахиоцефальных сосудов для исключения патологии и аномалий развития.

Для оценки параметров вентиляции легких и газообмена использовался модифицированный медицинский спирометр «MAC2-C» с функцией газоанализа и пульсоксиметрии (производство компании «Белинтелмед», г. Минск, Беларусь). При подготовке к исследованию мы столкнулись с тем, что изучение дыхательных упражнений йоги с экстремально низкими скоростями воздушного потока требует особых характеристик, которыми не обладают спирометры, предназначенные для выполнения стандартных дыхательных проб и клинической диагностики.

Дыхательные паттерны с экстраординарно низкими частотами дыхания (1–1,5/мин и менее), имеющие место при упражнениях йоги, отличаются сверхмалыми скоростями движения воздуха на вдохе и выдохе, лежащими на пороге чувствительности стандартного спирометра (100 мл/с и менее). При этом спирометр должен корректно измерять столь малые скорости, а также быть нечувствительным к 100% влажности выдыхаемого воздуха с возможностью образования конденсата в дыхательном сенсоре.

Для выполнения поставленных научных задач компанией «Белинтелмед» был специально спроектирован и изготовлен прибор, способный регистрировать такие паттерны дыхания. В качестве базового был выбран спирогазоанализатор MAC2-C; разработан долговременно стабильный термостабилизированный сенсор потока типа «трубка Флейша» со встроенной метеостанцией, измеряющей температуру, давление и относительную влажность воздуха; термостатирование сенсора потока осуществляется до температуры выдоха с целью предотвращения образования конденсата, чрезвычайно выраженного при требуемых длительностях дыхательных упражнений. Разработка описанной выше оригинальной модели спирогазоанализатора и специального программного обеспечения позволила осуществлять сбор и регистрацию данных для достижения целей исследования.

Регистрация кровотока в правой СМА методом дуплексного сканирования проводилась с использованием ультразвукового сканера VIVID-T8 производства компании General Electric (США). Регистрация выполнялась из транстемпорального доступа секторным фазированным датчиком 2–4 МГц.

Положение обследуемого: сидя на кушетке, ноги опущены вниз. Регистрация данных проводилась в три этапа:

1 этап: на фоне свободного дыхания (контроль); 2 этап: при выполнении испытуемым дыхательной техники йоги «полное дыхание» с ЧД = 3–3,5/мин; 3 этап: при выполнении испытуемым дыхательной техники йоги «полное дыхание» с ЧД = 1–1,5/мин. Регистрация данных спирогазоанализа на каждом этапе длилась в течение 5 минут, данных интракраниального кровотока – непрерывно с 3 по 5 минуту включительно. На 2 и 3 этапах участниками выполнялась техника «полное дыхание» с максимально глубоким вдохом и выдохом. Между 2 и 3 этапами участникам предоставлялся отдых 10 минут.

Методом спиро-газоанализа регистрировалась частота дыхания (ЧД), дыхательный объем (ДО), минутный объем дыхания (МОД), парциальное давление CO_2 в выдыхаемом воздухе в конце выдоха (PetCO_2) и процентное содержание кислорода в выдыхаемом воздухе (FeO_2).

Методом транскраниального дуплексного сканирования в правой СМА регистрировалась пиковая систолическая скорость кровотока V_{ps} и конечная диастолическая скорость кровотока V_d (см/сек), усредненная по времени максимальная скорость кровотока TAMAX , а также индекс резистентности RI .

Проводилась оценка изменений (вариаций) максимальной линейной скорости кровотока V_{ps} на каждом этапе (свободное дыхание, ЧД = 3–3,5/мин, ЧД = 1–1,5/мин). Для этого выбирались минимальные и максимальные значения V_{ps} на каждом 3-минутном фрагменте записи и далее рассчитывался индекс вариации скорости (ИВС) по формуле (1):

$$\text{ИВС} = 100 \frac{V_{ps \max} - V_{ps \min}}{\left(\frac{V_{ps \max} + V_{ps \min}}{2} \right)}$$

где $V_{ps \max}$ – максимальная пиковая систолическая скорость; $V_{ps \min}$ – минимальная пиковая систолическая скорость (на зарегистрированном фрагменте).

Статистический анализ проводился с использованием программы StatTech v. 4.2.7 (разработчик – ООО «Статтех», Россия). В случае отсутствия нормального распределения количественные данные описывались с помощью медианы (Me) и нижнего и верхнего квартилей (Q1-Q3). При сравнении трех и более зависимых совокупностей, распределение которых отличалось от нормального, использовался непараметрический критерий Фридмана с апостериорными сравнениями с помощью критерия Коновера – Имана с поправкой Холма. Различия считались статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты

На фоне свободного дыхания (1 этап) ЧД составила 10,01 [9,01–12,33] /мин. По сравнению с 1 этапом режим дыхания с ЧД = 3–3,5/мин (2 этап) сопровождался статистически значимым увеличением МОД и FeO_2 , снижением PetCO_2 (пример протокола спиро-газоанализа приведен на рис. 1), а также изменениями параметров кровотока в правой СМА: снижением V_{ps} , V_d , TAMAX и увеличением RI . Индекс вариации скорости (ИВС) при этом по сравнению с исходным уменьшался; изменение было статистически незначимым.

При выполнении дыхания с ЧД = 1–1,5/мин (3 этап) по сравнению с исходным свободным дыханием (1 этап) имело место статистически значимое уменьшение МОД и FeO_2 , увеличение PetCO_2 (пример протокола на рис. 2), а также увеличение V_{ps} , V_d , TAMAX и снижение RI . Индекс вариации скорости (ИВС) при этом увеличивался (изменения ИВС на всех этапах исследования отображены на рис. 3).

На этапе 2 по сравнению с этапом 1 ДО значительно возрастал (так как участники получали установку выполнять дыхательную технику «полное дыхание» с максимально глубоким вдохом и выдохом). На этапе 3

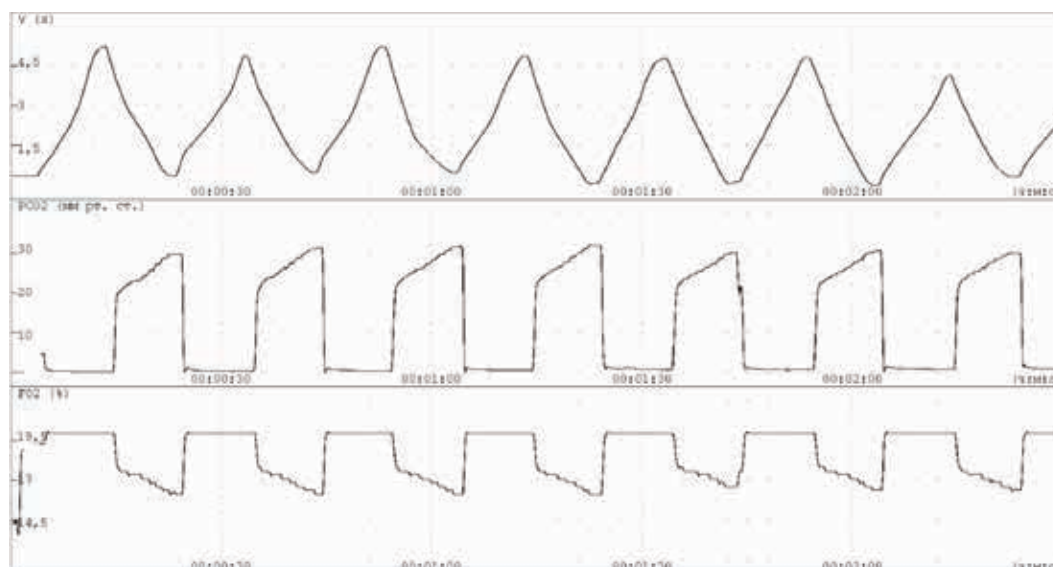


Рисунок 1. Фрагмент протокола спирографии с функцией газоанализа. Регистрируется паттерн дыхания с ЧД = 3/мин. Верхний график — спирографическая кривая: восходящая часть кривой – вдох, нисходящая часть кривой – выдох. Средний график – PetCO_2 ; $\text{PetCO}_2 = 30$ мм рт. ст. (при норме 35–45 мм рт. ст.) Нижний график: FeO_2 (процентное содержание O_2 в выдыхаемом воздухе), $\text{FeO}_2 = 16,2\%$

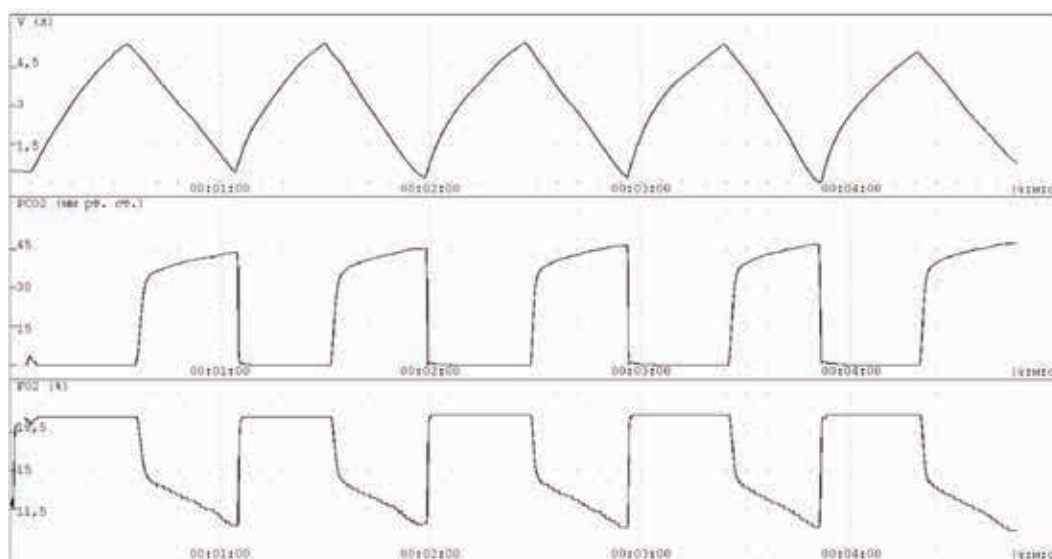


Рисунок 2. Фрагмент протокола спирографии с функцией газоанализа. Регистрируется паттерн дыхания с ЧД = 1,06/мин. Верхний график – спирографическая кривая: восходящая часть кривой – вдох, нисходящая часть кривой – выдох. Средний график – PCO_2 ; $\text{PetCO}_2 = 45,1$ мм рт. ст. (при норме 35–45 мм рт. ст.). Нижний график: FO_2 (процентное содержание O_2 в выдыхаемом воздухе), $\text{FeO}_2 = 10$ мм рт. ст.

Таблица
Параметры легочной вентиляции, газообмена и кровотока в СМА на всех этапах исследования

	Свободное дыхание Ме [Q1–Q3] (1 этап)	ЧД = 3–3,5/минуту Ме [Q1–Q3] (2 этап)	ЧД = 1–1,5/минуту Ме [Q1–Q3] (3 этап)	p
МОД (л/мин)	7,57 [6,85–8,65]	11,07 [9,52–13,46]	3,90 [3,43–4,76]	< 0,001* $p_{1-2} = 0,005^*$ $p_{1-3} = 0,005^*$ $p_{2-3} < 0,001^*$
АО (л)	0,78 [0,65–0,88]	3,67 [3,20–4,66]	3,23 [2,79–4,30]	< 0,001* $p_{1-2} < 0,001^*$ $p_{1-3} < 0,001^*$
PetCO_2 (мм рт. ст.)	34,90 [33,20–36,50]	29,60 [28,70–31,30]	42,20 [41,50–45,10]	< 0,001* $p_{1-2} = 0,005^*$ $p_{1-3} = 0,005^*$ $p_{2-3} < 0,001^*$
FeO_2 (%)	13,70 [13,40–13,90]	15,90 [15,50–16,10]	10,50 [9,40–11,80]	< 0,001* $p_{1-2} = 0,005^*$ $p_{1-3} = 0,005^*$ $p_{2-3} < 0,001^*$
Vps	91,24 [77,82–108,24]	73,93 [66,03–83,35]	120,40 [101,52–132,73]	< 0,001* $p_{1-2} = 0,003^*$ $p_{1-3} = 0,006^*$ $p_{2-3} < 0,001^*$
Vd	42,23 [34,90–49,01]	27,49 [24,12–37,10]	58,16 [49,71–64,80]	< 0,001* $p_{1-2} = 0,003^*$ $p_{1-3} = 0,006^*$ $p_{2-3} < 0,001^*$
TAMAX	65,71 [52,92–71,55]	47,80 [37,54–54,31]	82,54 [69,55–91,23]	< 0,001* $p_{1-2} = 0,003^*$ $p_{1-3} = 0,006^*$ $p_{2-3} < 0,001^*$
RI	0,56 [0,51–0,59]	0,62 [0,55–0,68]	0,51 [0,47–0,55]	< 0,001* $p_{1-2} = 0,019^*$ $p_{2-3} < 0,001^*$

* – различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$).

Используемый метод: критерий Фридмана с апостериорными сравнениями с помощью критерия Коновера – Имана с поправкой Холма.

участники также выполняли технику «полное дыхание» и на этапах 2 и 3 значения ДО не демонстрировали существенных различий.

В таблице представлены суммарные данные о динамике ДО и МОД, содержания CO_2 и O_2 в выдыхаемом воздухе, а также параметров кровотока в правой СМА.

Обсуждение результатов

Мы получили значимые различия в показателях скорости кровотока и резистентности в бассейне СМА при выполнении дыхательных упражнений (2 и 3 этап), в том числе по сравнению с исходным свободным дыханием (1 этап). При этом непрерывная регистрация 3-минут-

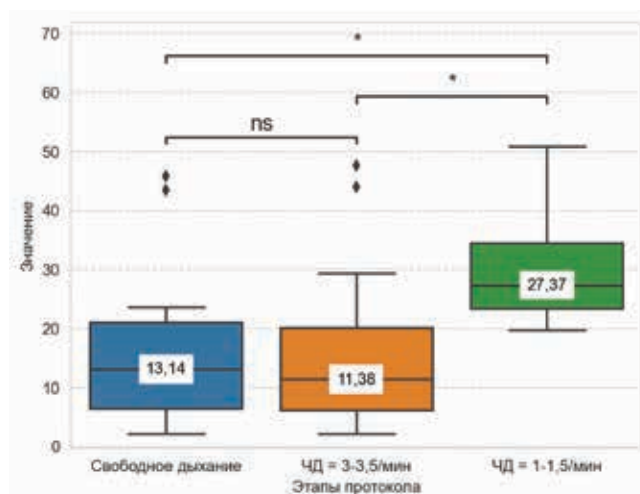


Рисунок 3. Динамика индекса вариации скорости при разных режимах дыхания (* – различия показателей статистически значимы ($p < 0,05$), ns – различия показателей статистически не значимы)

ных фрагментов в импульсном доплеровском режиме демонстрирует, что изменения скорости кровотока при уменьшении и увеличении МОД имеет не постоянный, а волнообразный характер (пример на рис. 4).

Скорости интракраниального артериального кровотока присущи колебания, получившие название В-волн. В-волны – это периодические колебания скорости кровотока и внутричерепного давления (ВЧД). Амплитуда В-волн может варьироваться от 10% до 50% от средней скорости кровотока [6]. Первоначально предполагалось, что В-волны занимают диапазон частот от 0,5 до 2 циклов/мин. Недавно диапазон определен заново от 0,33 до 3 циклов/мин [7]. Непрерывный одновременный мониторинг скорости в СМА и ВЧД показал, что у пациентов, находящихся на ИВЛ, В-волны возникали несмотря на постоянный уровень PetCO_2 и артериального давления (АД) [5, 8].

Так как В-волны представляют собой нормальное физиологическое явление, а во время выполнения дыхательных упражнений на 3-минутной записи мы также наблюдали явные колебания скорости кровотока, перед нами встала задача дифференцировать В-волны и колебания скорости, вызванные собственно дыхательными упражнениями. Для этого был применен способ расчета, названный нами индекс вариации скорости (ИВС), формула вычисления которого приведена в разделе «Материалы и методы». Данный способ оценки вариаций скорости ранее был использован в научных работах [11].

В полученных нами данных не выявлено зависимости колебаний скорости от амплитуды дыхательных движений: ДО на этапах 2 и 3 (в обоих случаях – выполнение по возможности максимально глубокого дыхания) не демонстрирует значимых различий; при этом ИВС (характеризующий именно размах вариаций скорости) увеличивается более чем в 2 раза при выполнении упражнения с ЧД = 1–1,5/мин (этап 3) по сравнению с исходным дыханием (этап 1) и с выполнением упражнения с ЧД = 3–3,5/мин (этап 2). Это позволяет сделать вывод, что размах вариации V_{ps} зависит не от амплитуды дыхательных движений и глубины вдоха. Вероятнее, основным фактором, приво-

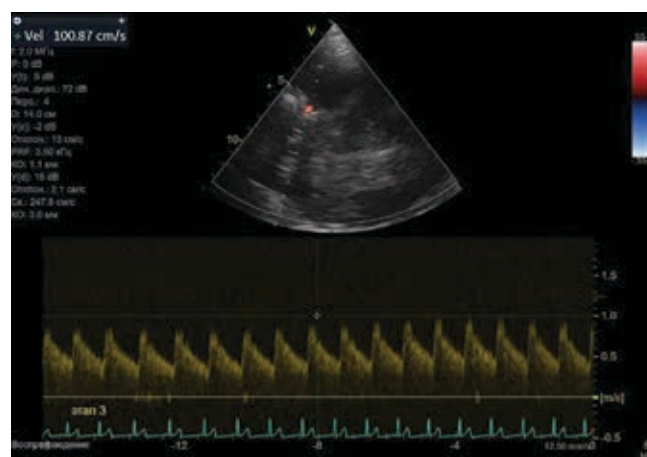


Рисунок 4. Вариации значений V_{ps} на этапе 3 (выполнение упражнения с ЧД=1-1,5/мин). На представленном фрагменте записи импульсной доплерограммы V_{ps} в правой СМА варьирует от 82 до 100 см/с.

дящим к увеличению ИВС, здесь выступают сдвиги газообмена: увеличение уровня CO_2 (как следствие снижения МОД при ЧД = 1–1,5/мин) и влияние CO_2 на тонус резистивных артериол (вазодилатация). Волнообразный характер изменений скорости, наиболее выраженный при уменьшении вентиляции и увеличении PetCO_2 , может быть связан как с периодическим изменением газового состава альвеолярного воздуха (который обновляется с частотой 1–1,5/мин), так и с периодическим рекрутированием венозной крови (наиболее богатой CO_2) из большого круга кровообращения. Также можно предполагать усиление естественных колебаний скорости (В-волн) увеличением уровня CO_2 , возникающим в результате упражнения.

Как показывают исследования, сдвиги PetCO_2 за определенные границы приводят к изменениям системного АД – которое, в свою очередь, является самостоятельным фактором влияния на мозговой кровоток (МК). Повышение PetCO_2 более 43 мм рт. ст. при возвратном дыхании приводит к достоверному увеличению АД, тогда как понижение PetCO_2 менее 26 мм рт. ст. при гипервентиляции приводит к снижению АД. При изменении PetCO_2 от 26 до 43 мм рт. ст. АД не меняется. Когда PetCO_2 достигает указанных предельных значений, также происходит значительное изменение цереброваскулярной реактивности на CO_2 . Это означает, что изменения показателей МК в ответ на сдвиги газообмена в пределах значений PetCO_2 от 26 до 43 мм рт. ст. отражают «истинную» реактивность на CO_2 мозговых сосудов, независимую от АД [9, 10]. Экстраполируя эти данные на результаты нашей работы, можно предполагать, что сдвиги PetCO_2 от 29,6 до 42,4 мм рт. ст. (полученные на группе наших участников, выполнявших паттерны дыхания с ЧД=3–3,5/мин и ЧД = 1–1,5/мин), не вызывают изменений АД и также отражают «истинную» реактивность мозгового артериального русла.

Тем не менее, ограничением данного исследования является отсутствие регистрации системного АД, которое может оказывать свое воздействие на параметры МК при превышении значений PetCO_2 более 43 мм рт. ст. –

и хотя на этапе 3 средние значения PetCO_2 по группе в нашем исследовании составляют 42,6 мм рт.ст. (то есть в пределах диапазона от 26 до 43 мм рт. ст., в котором реакция МК на уровень CO_2 представлена в чистом виде без влияния изменений АД), отдельные участники при дыхании с ЧД = 1–1,5/мин достигали значений PetCO_2 46–47 мм рт. ст. – что могло приводить к изменениям системного АД и влиянию этого фактора на параметры МК.

К ограничениям исследования также следует отнести и то, что регистрация параметров кровотока проводилась унилатерально (в правой СМА). Кроме того, регистрация кровотока в течение лишь 3 минут не позволяет достоверно судить о характере периодики скоростных показателей и взаимосвязи с параметрами легочной вентиляции. Для устранения данных ограничений нужно выполнять более длинные интервалы регистрации с использованием транскраниального доплерографического шлема, фиксирующего датчики билатерально.

Заключение

Выполнение дыхательных упражнений йоги с частотой дыхательных движений 3–3,5/мин и 1–1,5/мин приводит к разнонаправленным сдвигам параметров вентиляции и газообмена, которые сопровождаются изменениями артериального мозгового кровотока (снижение и повышение скорости кровотока при увеличении и уменьшении МОД соответственно). При этом колебания скорости кровотока во время выполнения дыхательных упражнений значительно возрастают в случае снижения вентиляции легких, что может быть связано с вазодилатационным эффектом CO_2 .

Дыхательные упражнения со снижением МОД и увеличением PetCO_2 потенциально могут рассматриваться

как элемент реабилитации при дисциркуляторной энцефалопатии, а также как возможный способ профилактики нарушений мозгового кровообращения атеросклеротического генеза; для подтверждения данного тезиса требуются дальнейшие исследования.

Список литературы / References

1. Johnny E. Brian, Jr., M.D. Carbon dioxide and the Cerebral Circulation. *Anesthesiology*. 1998. 88: 1365–1386.
2. Nivethitha L., Mooventhana A., Manjunath N.K., Bathala L., Sharma V.K. Cerebrovascular hemodynamics during pranayama techniques. *J Neurosci Rural Pract*. 2017. Jan–Mar. 8(1): 60–63. doi: 10.4103/0976-3147.193532.
3. Ankur Kumar, Niranjana Kala, Shirley Telles, Cerebrovascular Dynamics Associated with Yoga Breathing and Breath Awareness Int J Yoga 2022 Jan-Apr;15(1):19-24. doi: 10.4103/ijoy.ijoy_179_21. Epub 2022 Mar 21.
4. Joshua A.A. McKay, Cara L. McCulloch, Jordan S. Querido, Glen E. Foster, Michael S. Koehle, A. William Sheel, The effect of consistent practice of yogic breathing exercises on the human cardiorespiratory system, *Respiratory Physiology & Neurobiology* 233 (2016) 41–51. DOI: 10.1016/j.resp.2016.07.005.
5. Newell, D. W., Aaslid, R., Stooss, R., & Reulen, H. J. (1992). The relationship of blood flow velocity fluctuations to intracranial pressure B waves. *Journal of Neurosurgery*, 76(3), 415–421. doi:10.3171/jns.1992.76.3.0415.
6. Newell DW, Nedergaard M and Aaslid R (2022) Physiological Mechanisms and Significance of Intracranial B Waves. *Front. Neurol.* 13:872701. doi: 10.3389/fneur.2022.872701.
7. Andreas Spiegelberg, Matthias Preuß, Vartan Kurtcuoglu, B-waves revisited Interdisciplinary Neurosurgery: Advanced Techniques and Case Management 6 (2016) 13–17 https://doi.org/10.1016/j.inat.2016.03.004.
8. K.M. Einhäupl, C. Garner, U. Dirnagl, G. Schmieder, P. Schmiedek, G. Kufner, J. Rieder, Oscillations of ICP related to cardiovascular parameters, *Intracranial Pressure VI*, Springer 1986, pp. 290–297. DOI: 10.1007/978-3-642-70971-5_55.
9. Daria V. Kuznetsova, Vladimir P. Kulikov Cerebrovascular and systemic hemodynamic response to carbon dioxide in humans Blood Press Monit 19:81–89, 2014 Wolters Kluwer Health | Lippincott Williams & Wilkins. DOI: 10.1097/MBP.0000000000000033.
10. В.П. Куликов, Д.В. Кузнецова. Реакция мозгового кровотока и системного артериального давления на гиперкапнию и гипоксию у людей. «Патологическая физиология и экспериментальная терапия», июнь, 2013. V.P.Kulikov, D.V.Kuznetsova The response of cerebral blood flow and systemic arterial blood pressure to hypercapnia and hypocapnia in humans. «Patologicheskaya fiziologiya i eksperimental'naya terapiya» June 2013
11. Song, Y., Kwak, Y. L., Song, J. W., Kim, Y. J., & Shim, J. K. (2014). Respirophasic carotid artery peak velocity variation as a predictor of fluid responsiveness in mechanically ventilated patients with coronary artery disease. *British Journal of Anaesthesia*, 113(1), 61–66. doi:10.1093/bja/aeu057.

Благодарности

Авторы выражают глубокую благодарность профессору, д.м.н. В. П. Куликову и заведующей отделением гематологии СЗГМУ Е. С. Павлюченко за неоценимую помощь в проведении этой работы, а также всем волонтерам, принявшим участие в настоящем исследовании.

Acknowledgements

The authors express their deep gratitude to professor, D.Sc. (Medicine) V.P. Kulikov and chief of the Hematology Department of the North-Western State Medical University E.S. Pavlyuchenko for their invaluable assistance in carrying out this work, as well as to all the volunteers who took part in this study.

Статья поступила / Received 14.09.2024
Получена после рецензирования / Revised 20.11.2024
Принята в печать / Accepted 20.11.2024

Информация об авторах

Фролов Артем Владимирович¹, врач функциональной диагностики
E-mail: polyclinic@list.ru. ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-8774-6996
Ермолаева Саргилана Александровна¹, аналитик медицинских данных, методист по адаптивной физкультуре
E-mail: supersagi@gmail.com. ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-4754-9255
Дидур Михаил Дмитриевич², д.м.н., профессор, директор
E-mail: Didour@mail.ru. ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-4086-5992

¹ ООО «Санкт-Петербургский институт восточных методов реабилитации», Россия, Санкт-Петербург

² ФГБУ «Институт мозга человека имени Н.П. Бехтерева РАН», Россия, Санкт-Петербург

Контактная информация:

Фролов Артем Владимирович. E-mail: polyclinic@list.ru

Для цитирования: Фролов А.В., Ермолаева С.А., Дидур М.Д. Влияние упражнений йоги с произвольными изменениями вентиляции легких на интракраниальный артериальный кровоток. Медицинский алфавит. 2024;(30):49–54. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-49-54

Author information

Artem V. Frolov¹, functional diagnostics doctor St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, Russian Federation
ORCID ID: http://orcid.org/0000-0001-8774-6996
Sargilana A. Ermolaeva¹, medical data analyst
ORCID ID: http://orcid.org/0000-0003-4754-9255
Michael D. Didur², D.Sc. (Medicine), professor, chief at N.P. Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences
ORCID ID: 0000-0003-4086-5992

¹ St. Petersburg Institute of Oriental Rehabilitation Methods, St. Petersburg, Russia

² Bekhtereva Human Brain Institute of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Contact information

Artem Frolov. E-mail: polyclinic@list.ru

For citation: Frolov Artem V., Ermolaeva Sargilana A., Didur Michael D. The influence of yoga exercises with voluntary pulmonary ventilation changes on intracranial arterial blood flow. *Medical alphabet*. 2024;(30):49–54. https://doi.org/10.33667/2078-5631-2024-30-49-54

