

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

Издается с 2002 года. Включен в Перечень ВАК

Серии научно-практических рецензируемых журналов



# Медицинский АЛФАВИТ

№22/2023



Modern Functional  
DIAGNOSTICS

**MEDICAL ALPHABET**  
Russian Professional Medical Journal

Современная  
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ  
ДИАГНОСТИКА (3)

**РАСФД**



[www.medalfavit.ru](http://www.medalfavit.ru)  
[www.med-alphabet.com](http://www.med-alphabet.com)

**Научный сайт журнала**[www.med-alfabet.com](http://www.med-alfabet.com)**Медицинский портал издательства**[www.medalfavit.ru](http://www.medalfavit.ru)**Издательство медицинской литературы**

ООО «Альфмед»

+7 (495) 616-48-00

[medalfavit@mail.ru](mailto:medalfavit@mail.ru)

Россия, 129515, Москва, а/я 94

**Учредитель и главный редактор  
издательства**

Татьяна Владимировна Синецка

**Адрес редакции**Москва, ул. Академика Королева, 13,  
стр. 1, оф. 720**Главный редактор журнала**Сергей Сергеевич Петриков, д.м.н., проф.,  
член-корр. РАН, директор ГБУЗ «НИИ СП им.  
Н.В. Склифосовского ДЗМ»**Руководитель проекта «Современная  
функциональная диагностика»**[Sfd.ma@list.ru](mailto:Sfd.ma@list.ru)**Технический редактор**

Александр Сергеевич Савельев

**Руководитель отдела продвижения,  
распространения и выставочной  
деятельности**

Борис Борисович Будович

[medalfavit\\_pr@mail.ru](mailto:medalfavit_pr@mail.ru)

Журнал включен в Перечень ВАК.

Публикуемые материалы могут

не отражать точку зрения редакции.

Исключительные (имущественные)

права с момента получения

материалов принадлежат редакции

журнала «Медицинский алфавит».

Любое воспроизведение материалов

и иллюстраций допускается

с письменного разрешения издателя

и указанием ссылки на журнал.

Редакция не несет ответственности

за содержание рекламных материалов.

К публикации принимаются статьи,

подготовленные в соответствии

с правилами редакции.

За точность сведений об авторах,

правильность цитат и библиографических

данных ответственность несут авторы.

В научной электронной библиотеке

[elibrary.ru](http://elibrary.ru) доступны полные тексты статей.

Каждой статье присвоен идентификатор

цифрового объекта DOI.

Журнал зарегистрирован Министерством

РФ по делам печати, телерадиовещания

и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации средства

массовой информации

ПИ № 77-11514 от 04.01.2002.

**Подписка:** на портале[www.medalfavit.ru](http://www.medalfavit.ru), [podpiska.ma@mail.ru](mailto:podpiska.ma@mail.ru),

«Почта России», «Урал-Пресс» индекс

014517.

**Периодичность:** 35 номеров в год.**Подписано в печать** 29.09.2023.

Формат А4. Цена договорная.

© Медицинский алфавит, 2023

**Содержание**

- 7 Обновленные отечественные рекомендации по спирометрии. Часть 1. Правила проведения исследования и критерии его качества  
*М. Ю. Каменева, Л. Д. Кирюхина, П. В. Стручков*
- 20 Когерентный анализ в электроэнцефалографии. Опыт применения когерентного анализа в оценке расстройств ментальных функций человека в практической электроэнцефалографии. (Лекция третья)  
*Л. Б. Иванов, А. В. Будкевич*
- 29 Методология электромиографии параспинальных мышц на поясничном уровне. Лекция  
*Е. Г. Селиверстова, М. В. Синкин, А. Ю. Кордонский, А. А. Гринь*
- 36 Электрокардиограмма на вдохе: физиологические механизмы и диагностические возможности пробы  
*В. С. Баркан, Д. В. Дроздов, Г. Д. Резвцов*
- 44 Ультразвуковая диагностика гипертрофии миокарда левого желудочка: еще раз об индексации массы миокарда  
*С. Н. Богомолов, В. Н. Солнцев, А. Н. Куликов, А. Н. Кучмин*
- 50 Систолическая функция левого и правого желудочков и показатели деформации миокарда у лиц молодого возраста с метаболическим синдромом  
*С. Ю. Бартош-Зеленая, В. В. Степанова, Н. Е. Павлова, О. П. Мамаева, С. Г. Щербак*
- 56 Возможности медицинского тепловидения в обследовании и лечении пациентов с ожогами  
*М. Г. Воловик, И. М. Долгов, Ю. В. Карамышев, Ю. А. Лошенко, В. С. Коскин*
- 63 А. Ф. Самойлов: от синапса к системной организации функций  
*М. А. Подольская, Ю. Э. Терезулов*

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

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

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

В связи с продвижением контента журнала в международном научном сообществе и расширением его индексирования в 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 церебропротекции у полиморбидного пациента, перенесшего инсульт. Медицинский алфавит. 2020; (2):15-19. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2020-2-15-19>

#### Journal's Website

www.med-alphabet.com

#### Publishing House's Website

www.medalfavit.ru

#### Founder and Editor-in-Chief

Tatyana Sinitska

#### Alfmed Publishing

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

medalfavit@mail.ru

Box 94, Moscow, 129515, Russia

#### Editorial Office

Office 720, Bldg. 1, 13 Academician

Korolev Str., Moscow, Russia

#### Editor-in-Chief

Sergey S. Petricov,

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

Prof.

"Morden Functional  
Diagnostics"

#### Project Manager

Sfd.ma@list.ru

#### Technical Editor

Alexander Savelyev

#### Promotion and Distribution

Boris Budovich

medalfavit\_pr@mail.ru

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

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

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

are responsible for the accuracy of information, the correctness of citations and bibliographic data.

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

#### Frequency of publication:

35 issues per year.

**Subscription:** podpiska.ma@mail.ru

Free price.

**Signed for press:** 29 September 2023.

© 2023 Medical Alphabet

## Contents

- 7 **Updated national guidelines for spirometry. Part 1. Test rules and quality criterias**  
*M. Yu. Kameneva, L. D. Kiryukhina, P. V. Struchkov*
- 20 **Coherent analysis in electroencephalography. Experience in the use of coherent analysis in the assessment of disorders of human mental functions in practical electroencephalography. (Lecture three)**  
*L. B. Ivanov, A. V. Budkevich*
- 29 **Methodology of electromyography of the lumbar paraspinal muscles**  
*E. G. Seliverstova, M. V. Sinkin, A. Y. Kordonskiy, A. A. Grin*
- 36 **Deep inspiration electrocardiogram test: physiologic mechanisms and diagnostic capabilities**  
*V. S. Barkan, D. V. Drozdov, G. G. Rezvetsov*
- 44 **Ultrasound diagnostics of left ventricular hypertrophy: once more about the indexation of myocardial mass**  
*S. N. Bogomolov, V. N. Solntsev, A. N. Kulikov, A. N. Kuchmin*
- 50 **Systolic function of the left and right ventricles and myocardial strain in young adults with metabolic syndrome**  
*S. Y. Bartosh-Zelenaya, V. V. Stepanova, N. E. Pavlova, O. P. Mamaeva, S. G. Scherbak*
- 56 **Medical thermography as a method to assessment of burn depth and treatment effectiveness in patients with burn injury**  
*M. G. Volovik, I. M. Dolgov, Y. V. Karamyshev, I. A. Loshenko, V. S. Koskin*
- 63 **А. Ф. Самойлов: от синанса к системной организации функций**  
*М. А. Подольская, Ю. Э. Тергулов*

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);
- 3.1.18 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 СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»

## Редакционный совет журнала

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Редакционная коллегия серии «Современная функциональная диагностика»

Главный редактор серии «Современная функциональная диагностика»

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

Заместители главного редактора

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

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

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

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

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

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

**Иванов Лев Борисович**, к.м.н. (Москва)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Editor-in-Chief

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

## Editorial Board

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

## Editorial board of the series 'Modern functional diagnostics'

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

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

*Deputy editors-in-chief*

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

**Drozdoz D.V.**, MD Ph.D. (Moscow)

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

# Обновленные отечественные рекомендации по спирометрии. Часть 1. Правила проведения исследования и критерии его качества

М. Ю. Каменева<sup>1</sup>, Л. Д. Кирюхина<sup>2,3</sup>, П. В. Стручков<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВПО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Минздрава России

<sup>2</sup> ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» ФМБА России, Москва

<sup>3</sup> ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России

<sup>4</sup> Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России, Москва

<sup>5</sup> ФГБУЗ «Клиническая больница № 85» ФМБА России, Москва

## РЕЗЮМЕ

Усовершенствованные подходы к обеспечению качества, привели к необходимости обновления технических стандартов спирометрии с учетом современных технических возможностей. Целью серии статей является изложение основных положений обновленных методических рекомендаций по спирометрии с пояснениями и дополнениями, которые важны для каждодневной работы в условиях практического здравоохранения. Анализ документов по техническим стандартам спирометрии, разработанными целевой группой специалистов, обладающих опытом в проведении и анализе тестов функции легких и обеспечении лабораторного качества Российского респираторного общества, Российской ассоциации специалистов функциональной диагностики, Российского научного медицинского общества терапевтов, а также совместной группой Американского торакального общества и Европейского респираторного общества. В 1-й части представлены разделы, посвященные показаниям и противопоказаниям к проведению спирометрии; техническим условиям проведения, включая инфекционный контроль; методике проведения спирометрии; описаны основные показатели и критерии качества исследования. Внедрение представленных стандартов для клиницистов, операторов и исследователей необходимо для повышения точности спирометрических измерений и улучшения качества обслуживания пациентов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** спирометрия, легочные функциональные тесты, вентиляционные нарушения, должные величины, нижняя граница нормы, z-оценка, бронходилатационный тест, бронходилатационный ответ

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Updated national guidelines for spirometry. Part 1. Test rules and quality criterias

M. Yu. Kameneva<sup>1</sup>, L. D. Kiryukhina<sup>2,3</sup>, P. V. Struchkov<sup>4,5</sup>

<sup>1</sup> Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Russia

<sup>2</sup> Pulmonology Scientific Research Institute, Moscow, Russia

<sup>3</sup> Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology

<sup>4</sup> Academy of Postgraduate Education under Federal State Budgetary Unit "Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical Biological Agency", Moscow, Russia

<sup>5</sup> Clinical Hospital No.85 of FMBA of Russia, Moscow, Russia

## SUMMARY

Improved approaches to quality assurance have led to the need to update the technical standards of spirometry taking into account modern technical capabilities. The aim of the study is to present updated recommendations on spirometry with explanations and additions that are important for everyday work in practical healthcare. Analysis of documents on technical standards of spirometry developed by a joint task force of specialists with expertise in conducting and analyzing lung function tests and ensuring laboratory quality, appointed by the Russian Respiratory Society, the Russian Association of Functional Diagnostics Specialists, the Russian Scientific Medical Society of Therapists, as well as a joint group of the American Thoracic Society and the European Respiratory Society. The 1st part presents sections on indications and contraindications to spirometry; technical conditions of the procedure, including infection control; methods of spirometry; describes the main indicators and criteria for the quality of the study. The implementation of the presented standards and consensus recommendations for clinicians, operators and researchers is necessary for improving the accuracy of spirometric measurements and the patient experience.

**KEYWORDS:** spirometry, lung function tests, ventilatory impairment, reference equations, low limits of normal, z-score, bronchodilator responsiveness test, bronchodilator response

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

Спирометрия является основным методом исследования внешнего дыхания, применяемым на всех уровнях оказания медицинской помощи от первичного звена до уровня высокотехнологичной помощи. В последние годы вышло в свет достаточное количество литературы по этой теме [1, 2, 3], в том числе и опубликованные ранее в нашем журнале статьи [4, 5, 6].

Долгое время придерживались стандартов проведения и интерпретации спирометрии Европейского Респираторного общества (ЕРО) и Американского торакального общества (АТО) от 2005 года, им в целом соответствовали Федеральные клинические рекомендации Российского Респираторного общества (РРО) по использованию метода спирометрии 2014 года [7, 8, 9].

Новые требования к проведению спирометрии ЕРО/АТО были опубликованы в 2019 году [10], а в 2022 году обновлены стандарты интерпретации легочных функциональных тестов, включая и спирометрию [11].

Эта информация, обобщающая опыт отечественных и зарубежных профессиональных сообществ, была изложена в Методическом руководстве по спирометрии, разработанном РРО совместно с Российской ассоциацией специалистов функциональной диагностики (РАСФД) и Российским научно-медицинским обществом терапевтов (РНМОТ) [12]. Однако изложенные в этом руководстве положения требуют, с нашей точки зрения, более подробного освещения с учетом потребностей специалистов (врачей и среднего медицинского персонала), непосредственно проводящих исследование и анализирующих его результаты, с тем, чтобы избежать ошибок, которые порой допускаются при выполнении и описании спирометрии.

Все это побудило подготовить серию статей по спирометрии. В 1-й части будут освещены основные правила проведения исследования и критерии его качества; во 2-й части — интерпретация результатов спирометрии с анализом примеров заключений; в 3-й части — правила проведения и анализ результатов бронходилатационного теста, а также особенности исследования у детей.

Спирометрия определяется как неинвазивный метод измерения воздушных потоков и объемов при выполнении спокойных и форсированных дыхательных маневров [12]. В зависимости от конструктивных особенностей оборудования, первично измеряемыми параметрами могут быть либо объем, либо поток (объемная скорость).

### Показания к проведению спирометрии:

#### Диагностика:

- диагностика наличия, степени выраженности и обратимости нарушений вентиляционной функции легких при заболеваниях органов дыхания, других органов и систем;
- уточнение причин респираторных жалоб больного, клинических симптомов либо отклонений в лабораторных показателях, получение ответа на вопрос о том, связаны ли жалобы пациента на кашель и одышку с поражением легких;
- скрининг популяций людей с высоким риском заболеваний органов дыхания, например, работников ряда предприятий или жителей отдельных территорий;
- предоперационная оценка для определения объема и способа оперативного вмешательства, риска развития возможных осложнений во время хирургической операции или в послеоперационный период;
- оценка прогноза течения заболевания;
- профессиональный отбор;
- оценка функционального состояния перед участием пациента в программах с физическими нагрузками высокой интенсивности, дыхательными нагрузками (пребывание в условиях высокогорья, задержка дыхания, кардиопульмональное тестирование и др.).

#### Наблюдение:

- оценка эффективности лечебных мероприятий;
- мониторинг течения заболевания;
- наблюдение популяций людей, подвергающихся воздействию неблагоприятных факторов, в том числе, связанных с их профессиональной деятельностью;

- мониторинг побочных эффектов лекарств с известной способностью оказывать влияние на функциональное состояние или вызывать повреждения органов дыхания.

#### Экспертная оценка:

- обследование больного перед началом реабилитации;
- оценка рисков при страховании здоровья и жизни;
- экспертиза трудоспособности;
- экспертная оценка состояния здоровья по другим юридическим поводам.

#### Общественное здоровье:

- эпидемиологические исследования;
- разработках систем должных величин;
- клинические исследования.

*Противопоказания к проведению спирометрии* разделяют на абсолютные и относительные. Абсолютными противопоказаниями для проведения спирометрии следует считать любые острые состояния, при которых выполнение форсированных дыхательных маневров чреваты угрозой жизни больного (например, легочное кровотечение, гидроторакс, пневмоторакс при сохранении симптомов или признаков утечки воздуха). При назначении исследования важно оценить возможность пациента адекватно выполнить все требуемые дыхательные маневры. Если полноценный контакт с пациентом невозможен (когнитивные нарушения, языковой барьер, дети младшей возрастной группы, пожилые пациенты и др.), то качественно выполнить спирометрию не удастся. Ограничением для проведения исследования может быть наличие травм и заболеваний челюстно-лицевого аппарата, не позволяющих пациенту герметично подсоединиться к загубнику или специальной маске. При наличии трахеостомы спирометрию можно выполнить, если существует возможность герметизации трубки на время исследования.

Относительные противопоказания к проведению спирометрии связаны с необходимостью выполнения форсированных дыхательных маневров. Значительное изменение внутригрудного, внутрибрюшного и интракраниального (внутричерепного) давления при дыхании с максимальным усилием может влиять на органы грудной клетки и брюшной полости, венозный возврат и системное артериальное давление, поэтому спирометрию следует выполнять с осторожностью в следующих случаях:

- первая неделя после развития инфаркта миокарда;
- снижение или значительное повышение системного кровяного давления;
- выраженные нарушения сердечного ритма;
- декомпенсированная сердечная недостаточность;
- неконтролируемая легочная гипертензия;
- острая правожелудочковая недостаточность;
- клинически нестабильные формы легочной тромбоэмболии;
- наличие в анамнезе синкопальных состояний, внезапно возникающих судорожных приступов, связанных с кашлем или форсированным дыханием;
- аневризмы церебральных сосудов;
- недавнее сотрясение головного мозга с сохраняющимися симптомами;
- первые 4 недели после операций на головном мозге, грудной и брюшной полостях;
- первая неделя после офтальмологических операций и операций на придаточных пазухах носа и среднем ухе;
- пневмоторакс и первые 4 недели после него;

- осложненная беременность;
- беременность в поздних сроках (следует оценить соотношение клинической значимости результатов исследований и возможных его осложнений);
- болевой синдром, препятствующий правильному выполнению спирометрии;
- острый отит, синусит.

Проведение спирометрии пациентам с признаками острых респираторных или других инфекционных заболеваний, включая туберкулез, возможно при условии строго соблюдения существующих санитарно-эпидемиологических норм. Следует принять во внимание высокий риск заражения у пациентов с кровохарканьем, большим количеством мокроты и наличием повреждений в ротовой полости.

Следует подчеркнуть, что проведение спирометрии у пациента с симптомами острого респираторного заболевания снижает возможность полноценного выполнения исследования из-за катаральных явлений и представляет опасность заражения медицинского персонала и других пациентов.

Решение о назначении исследования принимает лечащий врач с учетом всех рисков и необходимости проведения спирометрии.

**ИНФЕКЦИОННЫЙ КОНТРОЛЬ.** Исследование должно проводиться в соответствии с санитарно-эпидемиологическими требованиями, чтобы предотвратить инфицирование медицинского персонала и пациентов во время тестирования. Оператор (обычно медсестра) должен мыть руки или использовать утвержденное дезинфицирующее средство для рук перед обследованием каждого нового пациента.

В условиях высокого риска распространения инфекционных заболеваний необходимо использовать одноразовые перчатки и защитные маски или респираторы [13]. Перчатки следует менять после каждого пациента, при смене перчаток необходимо вымыть и продезинфицировать руки. В этой ситуации пациент должен ожидать исследование в защитной маске, а перед входом в кабинет ему следует обработать руки дезинфицирующим средством (гелем, салфеткой или др.), чтобы избежать инфицирования поверхностей, к которым он может прикасаться (оборудованию, ручке спирометра, подлокотникам кресла и др.). Использование одноразовых антибактериальных/антивирусных фильтров, неотъемлемой частью которых является загубник, существенно снижает риск распространения инфекционных заболеваний при проведении спирометрии.

Использование одноразовых антибактериальных/антивирусных фильтров при каждом исследовании обязательно.

После тестирования все одноразовые расходные материалы (фильтры, загубники, перчатки и т.д.) необходимо утилизировать с соблюдением санитарных правил сбора, хранения и утилизации отходов класса Б [14].

**ТРЕБОВАНИЯ К ОБОРУДОВАНИЮ.** Все спирометры должны удовлетворять техническим требованиям ГОСТ Р ИСО 26782–2016 [15]. В отдельных ситуациях, например, при проведении клинических исследований, объем технических требований может быть увеличен.

Для оптимального контроля качества измерений спирометр должен оснащаться дисплеем, на котором отображаются как кривые поток-объем, так и кривые объем-время. Желательно, чтобы все кривые одного типа в данном исследовании накладывались на дисплее друг на друга. Это позволяет визуально оценивать

достаточность усилия при выполнении дыхательных маневров и повторяемость попыток.

**УСЛОВИЯ ИЗМЕРЕНИЯ.** Все измерения при спирометрии выполняются в условиях окружающей среды, стандартно обозначаемой аббревиатурой ATPS (Atmospheric (ambient) condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated) [16]: температура и влажность воздуха в помещении, где проводится исследование, и барометрическое (атмосферное) давление.

В инструкции производителя должны быть указаны параметры окружающей среды, в которых возможна эксплуатация спирометра.

Результаты спирометрии отображаются в условиях, соответствующих параметрам газа в легких человека, стандартно обозначаемым аббревиатурой BTPS (Body condition for Temperature and barometric Pressure, Saturated): температура тела человека (37 °C), барометрическое (атмосферное) давление и полное насыщение водяным паром [15]. Параметры окружающей среды измеряются непосредственно перед началом калибровки, а актуальные поправки для пересчета от условий ATPS к условиям BTPS определяются по завершении калибровки спирометра. Точность измерения температуры должна составлять  $\pm 1$  °C. Если температура в помещении быстро меняется, то есть более чем на 3 °C в течение менее чем 30 минут, то следует заново скорректировать условия ATPS и выполнить новую калибровку датчика.

**КАЛИБРОВКА СПИРОМЕТРА.** Калибровка — это процедура, во время которой устанавливается взаимосвязь между характеристиками потоков и объемов, определяемыми сенсором (датчиком), и их реальными величинами. Помимо этого, существует еще процедура проверки калибровки, во время которой оператор удостоверяется, что спирометр по-прежнему находится в разрешенных пределах калибровки — допустимая точность  $\pm 3\%$  ( $\pm 2,5\%$  для спирометра и  $\pm 0,5\%$  для калибровочного шприца) [15].

Калибровка проводится ежедневно или чаще, если это оговорено в инструкции производителя. Если результаты калибровки неудовлетворительные, калибровка выполняется заново. Причиной неудачной калибровки могут быть отклонения в работе спирометра. Если такие отклонения незначительны, то они могут быть скорректированы с помощью новых калибровочных коэффициентов. Программное обеспечение для спирометров должно включать в себя возможность генерировать отчет о калибровках, который включает результаты всех проверок, количество неудачных проверок калибровки в каждом сеансе и изменения калибровочных коэффициентов.

Предупреждение о некорректной работе должно выдаваться, если новые калибровочные коэффициенты выходят за диапазон  $\pm 2$  SD (standard deviation — стандартное отклонение) или отличаются более, чем на 6% от предыдущих. В инструкции производителя должны быть указаны действия, которые необходимо предпринять в случае неудавшейся проверки калибровки. На точность калибровки могут влиять следующие потенциально устранимые факторы:

- утечка в месте соединения калибровочного шприца и спирометра;
- движение воздуха у датчика при установке нулевой отметки;
- неполная амплитуда перемещения поршня калибровочного шприца;
- неисправность калибровочного шприца (утечка воздуха, затрудненное перемещение поршня, нарушение геометрии и др.);
- попадание мусора или руки оператора в зону работы датчика;

- неправильная сборка датчика, установка загубника или фильтра;
- различия между температурой калибровочного шприца и воздуха в помещении;
- ошибочные данные температуры и давления в помещении;
- повреждение измерительного блока спирометра (например, повреждение сетки датчика Лилли).

Калибровка объема обязательно выполняется ежедневно перед началом работы на приборе. В особых ситуациях (при скрининге больших популяций, быстром изменении температуры воздуха и т. д.) требуется более частая калибровка. Точные указания о режимах дополнительных калибровок обязательно указываются в инструкциях производителя оборудования.

Калибровочный шприц должен иметь объем 3 л и обеспечивать точность измерений  $\pm 0,015$  л или  $\pm 0,5\%$  на всем диапазоне изменения объема. Хранить калибровочный шприц следует в том же помещении, где проводится спирометрия, желательно рядом со спирометром, вдали от солнечных лучей, холодного окна и отопительных приборов. Калибровочный шприц очень чувствителен к изменению параметров окружающей среды, особенно температуры. Даже то обстоятельство, что шприц долго находился в руках во время калибровки, может исказить ее результаты, поэтому во время процедуры проверки желательно располагать шприц на столе.

Калибровочный шприц нуждается в периодической проверке. Не реже одного раза в месяц следует проверять его на наличие утечки. Для такой проверки перекрывается выходное отверстие шприца и делаются попытки максимально наполнить его или опустошить с разного уровня положения поршня. Кроме того, являясь метрологическим устройством, калибровочный шприц нуждается в специальной проверке, периодичность которой определяется производителем оборудования. По результатам испытания выдается специальный сертификат. В случае, если шприц поврежден или он подвергнулся механическому воздействию, например, упал, такая проверка должна быть проведена внепланово.

Калибровка должна проводиться ежедневно 3-литровым шприцом. Выполняют не менее 3-х попыток (3 вдоха и 3 выдоха) для получения нескольких потоков в диапазоне от 0,5 до 12 л/с. Каждый раз на перемещение поршня отводится от 1,5 до 6 с. Если при обследовании пациентов используют какие-либо фильтры, то калибровку спирометра следует выполнять вместе с ними. Точность измерения объема для каждого из потоков как на вдохе, так и на выдохе должна составлять  $\pm 3,0\%$  [10]. Для спирометров, первично измеряющих объем, аналогичное требование предъявляется только к измерению на выдохе. В случаях, когда в работе прибора предусмотрено использование сменных датчиков, каждый из них должен калиброваться ежедневно.

**Дополнительный контроль качества** измерений при спирометрии предусматривает проведение биологического контроля. Для этого периодически, не реже 1 раза в месяц, тестируют двух здоровых, некурящих людей, как правило, сотрудников подразделения, способных адекватно выполнять спирометрию с хорошей воспроизводимостью. Результаты измерения ФЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub> регистрируются в специальном файле или журнале. Биологический контроль не заменяет использование калибровочного шприца, однако, позволяет оператору провести быструю проверку и выявить проблему с оборудованием.

Для каждого спирометра необходимо вести журнал, где следует регистрировать следующие манипуляции, влияющие на качество проводимых измерений:

- результаты ежедневных калибровок;
- сведения о поломке и ремонте оборудования;
- сведения о замене программного обеспечения;
- сведения о перемещении оборудования.

После замены программного обеспечения рекомендуется самостоятельно проверить корректность расчетов должных величин.

**Методика проведения спирометрии.** Перед началом исследования рекомендуется:

- измерить параметры окружающей среды и выполнить калибровку спирометра;
- задать пациенту вопросы и зарегистрировать ответы относительно имеющихся заболеваний; использования лекарственных препаратов, потенциально влияющих на результаты исследования (с указанием названия, дозы и времени последней ингаляции); курения, в том числе о том, курил ли он незадолго до исследования;
- измерить рост и массу тела пациента, желательно измерить артериальное давление при подозрении на его повышение;
- проверить актуальность информации о пациенте в базе данных спирометра;
- объяснить пациенту порядок проведения исследования и важность правильного выполнения всех дыхательных маневров.

Если возраст не вычисляется прибором автоматически, его лучше рассчитывать, используя дату рождения и дату проведения исследования, и указывать число прожитых лет с точностью до одного знака после запятой, у детей до 10 лет с точностью до месяцев. Рост определяется в сантиметрах, округляя до целого числа. Измеряют его без обуви, пациенту необходимо стоять с прямой спиной, смотреть перед собой, а ноги держать вместе. В тех случаях, когда измерить рост в положении стоя невозможно (например, у пациентов с кифосколиозом или в инвалидной коляске), его можно определить либо по длине локтевой кости [17], что предпочтительно для детей, либо по размаху рук [18]. В последнем случае, если пациент может стоять, он располагается лицом к стене с раскинутыми как можно дальше руками, так чтобы расстояние между средними пальцами было максимальным. Для измерения лучевой кости предпочтительнее использовать штангенциркуль (антропометр), поскольку при использовании рулетки возможны ошибки.

В дополнение к методическому руководству приводим уравнения для расчета роста по длине лучевой кости (ДЛК) [17]:

для мальчиков —

$$\text{рост (см)} = 4,605 \times \text{ДЛК, см} + 1,308 \times \text{возраст (годы)} + 28,003;$$

для девочек —

$$\text{рост (см)} = 4,459 \times \text{ДЛК, см} + 1,315 \times \text{возраст (годы)} + 31,485.$$

Повторное измерение роста у детей проводится на каждом визите, у взрослых (25 лет и старше) рекомендуется проводить не чаще одного раза в год. Пол и популяция (этническая группа, раса) указываются в соответствии со свидетельством о рождении, даже в случаях иной гендерной самоидентификации. Массу тела измеряют без уличной одежды и обуви в килограммах, с точностью до 0,5 кг.

Спирометрию рекомендуется выполнять в положении больного сидя, с прямой спиной и слегка приподнятым подбородком. Кресло должно быть устойчивым и неподвижным (без колесиков),

с подлокотниками, чтобы снизить вероятность падения пациента при выполнении дыхательных маневров, но не для того, чтобы пациент расслабленно облокачивался. Ноги пациента должны доставать до пола, поэтому необходимо предусмотреть возможность регулировки кресла по высоте. Если при особых обстоятельствах требуется проведение исследования в положении пациента стоя или каком-либо другом, это должно быть отражено в протоколе исследования.

При наличии у пациента съемных зубных протезов не рекомендуется снимать их при проведении спирометрии, однако в ситуации, когда они мешают пациенту плотно обхватить загубник и становятся причиной утечки воздуха, следует продолжить исследование без них.

Курение (любым способом) должно быть исключено как минимум за 1 час, а употребление алкоголя и других психоактивных веществ — за 8 часов до исследования. В течение 1 часа перед проведением спирометрии следует избегать значимых физических нагрузок, чтобы минимизировать возможность появления бронхоспастической реакции, спровоцированной физической активностью.

Одежда не должна сильно обтягивать и ограничивать экскурсию грудной клетки и брюшной стенки. С этой же целью за 2 часа до исследования не рекомендуется обильный прием пищи [10]. Однако проведение спирометрии на голодный желудок не требуется и может отрицательно повлиять на качество теста из-за слабости пациента.

Возможность применения бронхорасширяющих препаратов зависит от цели исследования. При необходимости оценить исходное состояние вентиляционной функции легких или провести бронходилатационный тест следует прекратить использование препаратов в зависимости от срока их действия:

- $\beta_2$ -агонистов короткого действия — за 4–6 часов;
- $\beta_2$ -агонистов длительного действия — за 24 часа;
- $\beta_2$ -агонистов сверхдлительного действия — за 36 часов до исследования;
- антихолинергических препаратов короткого действия — за 12 часов;

- антихолинергических препаратов длительного действия — за 36–48 часов;
- назальных деконгестантов — за 4 часа.

Впервые в этот список отечественные эксперты включили назальные деконгестанты, за 4 часа до спирометрии их не рекомендуется использовать. Если спирометрия проводится для оценки эффективности базисной терапии и поиска возможностей дополнительного улучшения легочной функции, то прием бронхорасширяющих препаратов не ограничивают, а в протоколе указывают дозу и время последнего приема [10].

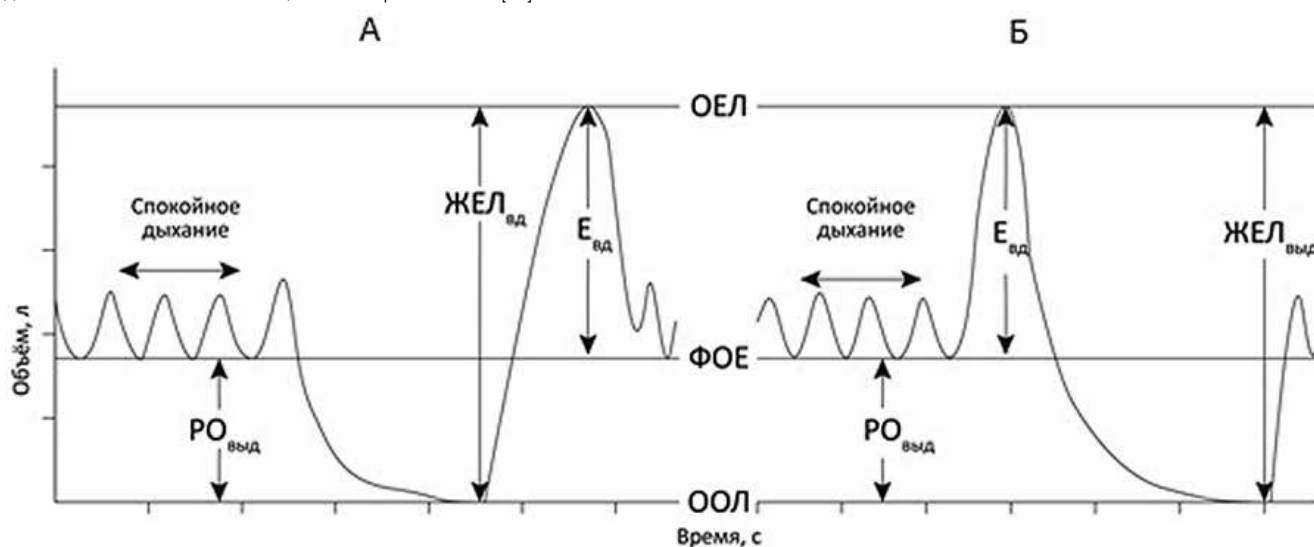
**Показатели спирометрии.** При спокойном дыхании с максимальной амплитудой измерения объема определяют следующие показатели (рис. 1):

- ЖЕЛ (жизненная емкость легких) — максимальный объем легких, который человек может вдохнуть после максимально глубокого выдоха (ЖЕЛ<sub>вд</sub>) или выдохнуть после максимально глубокого вдоха (ЖЕЛ<sub>вд</sub>), т.е. между уровнем остаточного объема легких (ООЛ) и уровнем общей емкости легких (ОЕЛ); Проба проводится при медленных нефорсированных дыхательных маневрах (спокойная или медленная ЖЕЛ);
- $E_{вд}$  (емкость вдоха) — максимальный объем, который человек может вдохнуть после спокойного выдоха, т.е. от уровня функциональной остаточной емкости легких (ФОЕ) до уровня ОЕЛ;
- $PO_{вд}$  (резервный объем выдоха) — максимальный объем, который человек может выдохнуть после спокойного выдоха, т.е. от уровня ФОЕ до уровня ООЛ.

С помощью маневра форсированного выдоха определяют следующие показатели (рис. 2):

- ФЖЕЛ (форсированная жизненная емкость легких) — ЖЕЛ, которая измеряется при форсированном выдохе;
- ФЖЕЛ<sub>вд</sub> — ЖЕЛ, которая измеряется при форсированном вдохе;
- $OFV_1$  (объем форсированного выдоха за первую секунду) — объем, который человек успевает выдохнуть за 1-ю секунду форсированного выдоха;
- соотношение  $OFV_1/ФЖЕЛ$  (индекс Генслера);

Рис. 1. Измерение жизненной емкости легких: А — кривая «объем-время» при измерении жизненной емкости легких на вдохе (ЖЕЛ<sub>вд</sub>). Б — кривая «объем-время» при измерении жизненной емкости легких на выдохе (ЖЕЛ<sub>вд</sub>). Примечание:  $E_{ва}$  — емкость вдоха;  $PO_{вд}$  — резервный объем выдоха; ФОЕ — функциональная остаточная емкость легких; ООЛ — остаточный объем легких; ОЕЛ — общая емкость легких. Цена деления по оси «объем» — 1 л; по оси «время» — 5 с [10]



- соотношение  $ОФВ_1/ЖЕЛ$  (индекс Тиффно);
- ПОС (пиковая объемная скорость выдоха) — максимальная скорость воздушного потока при форсированном выдохе;
- $МОС_{25}$  (максимальная объемная скорость при выдохе 25% ФЖЕЛ) — скорость воздушного потока в момент выдоха 25% ФЖЕЛ;
- $МОС_{50}$  (максимальная объемная скорость при выдохе 50% ФЖЕЛ) — скорость воздушного потока в момент выдоха 50% ФЖЕЛ;
- $МОС_{75}$  (максимальная объемная скорость при выдохе 75% ФЖЕЛ) — скорость воздушного потока в момент выдоха 75% ФЖЕЛ;
- $СОС_{25-75}$  (средняя объемная скорость при выдохе от 25 до 75% ФЖЕЛ) — средняя скорость воздушного потока при выдохе в диапазоне от 25 до 75% ФЖЕЛ.

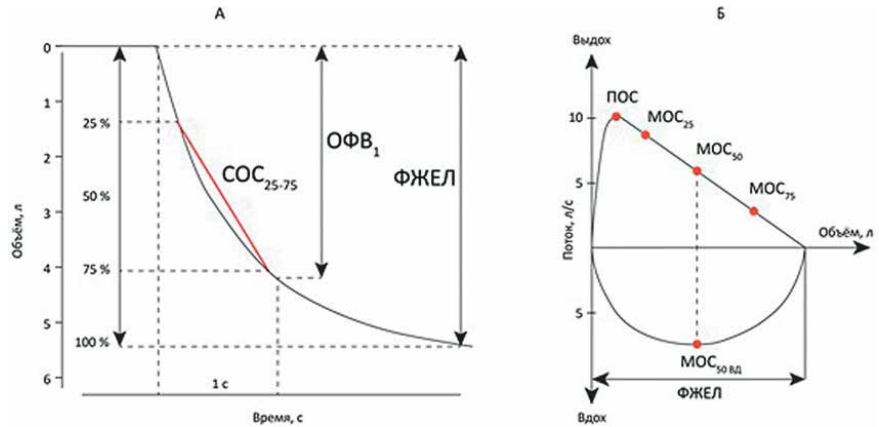


Рис. 2. Форсированная спирометрия: А — маневр форсированного выдоха в координатах «объем-время»; Б — маневры форсированных выдоха и вдоха в координатах «поток-объем». Примечание: ФЖЕЛ — форсированная жизненная емкость легких выдоха; ФЖЕЛ<sub>вд</sub> — форсированная жизненная емкость легких вдоха;  $ОФВ_1$  — объем форсированного выдоха за 1-ю секунду;  $СОС_{25-75}$  — средняя объемная скорость при выдохе от 25 до 75% ФЖЕЛ; ПОС — пиковая объемная скорость выдоха;  $МОС_{25}$ ,  $МОС_{50}$  и  $МОС_{75}$  — максимальные объемные скорости при выдохе 25, 50 и 75% ФЖЕЛ;  $МОС_{50вд}$  — максимальная объемная скорость при вдохе 50% ФЖЕЛ<sub>вд</sub>.

У детей могут быть использованы дополнительные показатели:

- $ОФВ_{0,75}$  (объем форсированного выдоха за первые 0,75 секунды) — объем, который человек успевает выдохнуть за первые 0,75 секунды форсированного выдоха;
- соотношение  $ОФВ_{0,75}/ЖЕЛ$ ;
- соотношение  $ОФВ_{0,75}/ЖЕЛ$ .

В рекомендациях РРО/РАСФД/РНМОТ 2023 уточняются русскоязычные названия и аббревиатуры основных показателей спирометрии, которые следует использовать как в практической, так и научной работе. Для обозначения стандартных показателей, характеризующих форсированный выдох, нижний буквенный индекс не используется, наличие в аббревиатуре дополнительного нижнего индекса «вд» указывает, что показатель относится к форсированному вдоху. В отношении статических легочных объемов и емкостей это правило не действует, эти параметры могут маркироваться как на вдохе (дополнительный индекс «вд»), так и на выдохе (дополнительный индекс «выд»). В табл. 1 представлены стандартные обозначения показателей и соответствующие им англоязычные варианты написания и сокращения.

**Порядок проведения спирометрии.** Все измерения выполняются при использовании носового зажима, загубник спирометра следует плотно обхватить губами и зубами. Во время выполнения дыхательных маневров нередко происходит утечка воздуха из-за того, что пациент отпускает или неплотно держит загубник, а носовой зажим слетает, поэтому очень важно контролировать надежность подсоединения пациента к спирометру на протяжении всего цикла измерений. На точность измерений также могут влиять смыкание голосовых связок и попадание языка в просвет загубника, на что необходимо обращать внимание. В исключительных случаях, когда по какой-либо причине не удастся надежно зафиксировать носовой зажим, пациент может сам зажать ноздри пальцами рук.

Отечественная школа клинической физиологии дыхания предписывает обязательное выполнение при спирометрическом исследовании двух проб: спокойной ЖЕЛ и ФЖЕЛ. Отдельно запись спокойного дыхания (режим МОД) не проводится, регистрация

спокойного дыхания важна лишь перед пробой ЖЕЛ. Маневр максимальной вентиляции легких в обычной пульмонологической практике не выполняется.

**Проба ЖЕЛ.** Спирометрическое исследование проводится при спокойном и форсированном дыхании. При спокойном дыхании оценивается паттерн дыхания, определяется ЖЕЛ и ее составляющие —  $E_{вд}$  и  $PO_{выд}$ . Исследование проводится у пациента в расслабленном состоянии, все маневры выполняются без излишней спешки. Измерение ЖЕЛ начинают после того, как дыхание станет спокойным, т.е. минимум на протяжении трех дыхательных циклов уровень дыхания (уровень ФОЕ) и величина дыхательного объема (ДО) будут стабильными. Смещение уровня спокойного дыхания в пределах 15% от ДО считается допустимым. Если на протяжении 10 дыхательных циклов не удастся добиться стабилизации спокойного дыхания, то измерение ЖЕЛ возможно, однако величина  $E_{вд}$  в этом случае будет определена некорректно. Измерение ЖЕЛ можно выполнить одним из способов [10]:

- ЖЕЛ вдоха ( $ЖЕЛ_{вд}$ ): после максимально полного выдоха делается максимально глубокий вдох (рис. 1А);
- ЖЕЛ выдоха ( $ЖЕЛ_{выд}$ ): после максимально полного вдоха без задержки делается максимально глубокий выдох (рис. 1Б).

При невозможности одновременного выполнения маневра  $ЖЕЛ_{вд}$  или  $ЖЕЛ_{выд}$  из-за тяжести состояния пациента допустимо прерывистое выполнение маневра ЖЕЛ: сначала измеряют  $E_{вд}$ , затем через несколько дыхательных циклов спокойного дыхания  $PO_{выд}$ . ЖЕЛ определяют как сумму  $E_{вд}$  и  $PO_{выд}$ .

Для определения ЖЕЛ рекомендуется измерять  $ЖЕЛ_{вд}$ , если это невозможно, то в качестве альтернативы может быть использован показатель  $ЖЕЛ_{выд}$ . У здорового человека разница между  $ЖЕЛ_{вд}$  и  $ЖЕЛ_{выд}$  незначительна, но при ряде заболеваний, особенно при эмфиземе легких,  $ЖЕЛ_{выд}$  может быть существенно меньше  $ЖЕЛ_{вд}$ . Это обусловлено феноменом патологически раннего сужения дыхательных путей (вплоть до полного смыкания их стенок) при выдохе, который принято называть экспираторным ограничением потока или экспираторным коллапсом дыхательных путей [19, 20]. Измерение ЖЕЛ следует проводить в начале исследования, до выполнения форсированной

Таблица 1  
Стандартные обозначения показателей

Показатель	Стандартное обозначение	Англоязычный вариант написания	Англоязычный вариант стандартного обозначения
Время достижения ПОС	$T_{\text{ПОС}}$	Time to PEF	FET PEF, $T_{\text{PEF}}$
Время ускорения для ПОС	—	Rise time from 10% to 90% of PEF	RT
Должная величина	ДОЛЖ	Predicted value	Pred
Дыхательный объем	ДО	Tidal volume	TV, $V_t$
Ёмкость вдоха	$E_{\text{ВА}}$	Inspiratory capacity	IC
Жизненная ёмкость лёгких	ЖЕЛ	Vital capacity	VC
		Slow vital capacity	SVC
Жизненная ёмкость лёгких вдоха	$ЖЕЛ_{\text{ВА}}$	Inspiratory vital capacity	IVC, $VC_{\text{in}}$
Жизненная ёмкость лёгких выдоха	$ЖЕЛ_{\text{ВДА}}$	Expiratory vital capacity	EVC
Максимальная объёмная скорость при выдохе 25% ФЖЕЛ	$МОС_{25}$	Forced expiratory flow at 25% of FVC	$FEF_{25}$
		Maximal expiratory flow at 75% of FVC	$MEF_{75}$
Максимальная объёмная скорость при вдохе 50% $ЖЕЛ_{\text{ВА}}$	$МОС_{50\text{ВА}}$	Forced inspiratory flow at 50% of FVC	$FIF_{50}$
		Maximal inspiratory flow at 50% of FVC	$MIF_{50}$
Максимальная объёмная скорость при выдохе 50% ФЖЕЛ	$МОС_{50}$	Forced expiratory flow at 50% of FVC	$FEF_{50}$
		Maximal expiratory flow at 50% of FVC	$MEF_{50}$
Максимальная объёмная скорость при выдохе 75% ФЖЕЛ	$МОС_{75}$	Forced expiratory flow at 75% of FVC	$FEF_{75}$
		Maximal expiratory flow at 25% of FVC	$MEF_{25}$
Средняя объёмная скорость при выдохе от 25 до 75% ФЖЕЛ	$СОС_{25-75}$	Forced expiratory flow between 25 and 75% of FVC (midexpiratory phase)	$FEF_{25-75}$
		Maximum mid-expiratory flow	MMEF
Нижняя граница нормы	НГН	Low limit of normal	LLN
Общая ёмкость легких	ОЕЛ	Total lung capacity	TLC
Объем обратной экстраполяции	ООЭ	Back-extrapolated volume	BEV
Остаточный объем легких	ООЛ	Residual volume	RV
Объем форсированного выдоха за первую секунду	ОФВ <sub>1</sub>	Forced expiratory volume in one second	$FEV_1$
Объем форсированного выдоха за первые 0,75 секунды	ОФВ <sub>0,75</sub>	Forced expiratory volume in 0.75 second	$FEV_{0,75}$
Пиковая объёмная скорость выдоха	ПОС	Peak expiratory flow	PEF
Продолжительность форсированного выдоха	$T_{\text{ФЖЕЛ}}$	Forced expiratory time	FET, $T_{\text{FVC}}$
Резервный объем вдоха	$PO_{\text{ВА}}$	Inspiratory reserve volume	IRV
Резервный объем выдоха	$PO_{\text{ВДА}}$	Expiratory reserve volume	ERV
Функциональная остаточная ёмкость легких	ФОЕ	Functional residual capacity	FRC
Форсированная жизненная ёмкость лёгких выдоха	ФЖЕЛ	Forced vital capacity	FVC
Форсированная жизненная ёмкость лёгких вдоха	$ФЖЕЛ_{\text{ВА}}$	Forced inspiratory vital capacity	FIVC
z-оценка z-критерий	—	z-score	—

спирометрии, чтобы зафиксировать максимальное значение этого параметра. Форсированное дыхание, особенно с максимальной амплитудой изменения объема, может вызвать утомление дыхательных мышц и повышение уровня ФОЕ из-за экспираторного ограничения воздушного потока, что приведет к занижению величины ЖЕЛ. Если при проведении маневра форсированного выдоха величина ФЖЕЛ окажется больше предварительно измеренной спокойной ЖЕЛ, маневр измерения спокойной ЖЕЛ рекомендуется повторить.

Здоровым пациентам достаточно 5–6 с для выполнения маневра ЖЕЛ. Нужно стремиться к тому, чтобы скорость движения воздуха на вдохе и на выдохе была примерно одинаковой без

ускорения, чтобы избежать возбуждения ирритантных рецепторов. Больным с обструкцией дыхательных путей возможно потребуются больше времени, но измерение можно завершить, если глубокий вдох или выдох длится дольше 15 с.

В современных моделях спирометров существует унифицированная система видео- и аудио-подсказок для оператора: однократный звуковой сигнал и цветовая индикация момента стабилизации дыхания и двукратный звуковой сигнал и цветовая индикация либо момента достижения максимальной глубины вдоха или выдоха, которые определяют по наличию на кривой объем-время небольшого плато на пике изменения объема (изменение объема < 0,025 л/с), либо по прошествии 15 с от начала

выполнения маневра. Для работы на приборах более простых модификаций достаточно визуального контроля правильности выполнения маневра по кривой объем-время на экране монитора.

**Проба ФЖЕЛ.** С помощью маневра форсированного выдоха измеряют величины  $ОФВ_1$ , ФЖЕЛ и объемные скорости воздушного потока.

Маневр форсированного выдоха выполняется после нескольких циклов спокойного дыхания в 3 этапа:

- 1 — максимально глубокий вдох (от уровня ФОЕ до уровня ОЕЛ);
- 2 — резкий и максимально полный и быстрый выдох (до уровня ООЛ) без задержки на глубине вдоха;
- 3 — максимально глубокий и по возможности быстрый вдох (до уровня ОЕЛ).

Оператору рекомендуется сначала объяснить и продемонстрировать пациенту правильное выполнение маневра.

Предшествующий форсированному выдоху вдох оказывает существенное влияние на экспираторные потоки, поэтому для получения максимально точных результатов рекомендуется делать максимально полный вдох без задержки. Если пауза на высоте вдоха длится больше 2 с, то возможно занижение скоростных параметров последующего форсированного выдоха из-за так называемого «стрессового расслабления», проявляющегося повышением податливости стенок дыхательных путей из-за снижения упругих свойств легких [21, 22].

После максимально глубокого вдоха пациент должен сделать мощный выдох с максимальным усилием и скоростью, продолжая его до полного опорожнения легких (до уровня ООЛ). Во время выполнения маневра рекомендуется словами и жестами поощрять пациента делать максимально мощный выдох и продолжать его как можно дольше, при этом необходимо следить за графическим отражением результатов теста на дисплее спирометра и визуально оценивать качество маневра. Одновременно следует внимательно наблюдать за пациентом во избежание нежелательных явлений, связанных с резким и глубоким выдохом (например, синкопального состояния). Если выполнение дыхательных маневров связано с болевыми ощущениями, то исследование прекращают. При появлении головокружения или ухудшении самочувствия можно сделать паузу и продолжить исследование, когда нежелательные симптомы прекратятся. Необходимо следить за тем, чтобы пациент, производя форсированный выдох, не наклонялся вперед, а сохранял вертикальное положение грудной клетки.

После завершения форсированного выдоха пациент делает максимально глубокий и по возможности быстрый вдох. Максимальная скорость вдоха необходима лишь в том случае, если измеряются скоростные параметры вдоха, что важно при диагностике стенозов внелегочных дыхательных путей. В стандартной ситуации достаточно, чтобы вдох выполнялся без намеренного сдерживания, но максимально полно. Измеряемую на вдохе сразу после форсированного выдоха ЖЕЛ принято обозначать  $ФЖЕЛ_{вд}$ . Сопоставление величин  $ФЖЕЛ$  и  $ФЖЕЛ_{вд}$  позволяет убедиться в том, что пациент полностью вдохнул перед маневром форсированного выдоха. Разница между значениями этих показателей не должна превышать 100 мл или 5%  $ФЖЕЛ$ , большие значения свидетельствуют о неполном вдохе перед форсированным выдохом.

Описанная выше последовательность проведения спирометрии является оптимальной для достижения максимально точных

и полных результатов исследования. Однако не все приборы, используемые в рутинной практике, могут обеспечить измерения и на вдохе, и на выдохе. При использовании спирометров, регистрирующих только выдох, пациент должен подсоединиться к прибору (обхватить мундштук губами) в течение первых 2 с после окончания максимально глубокого вдоха и отсоединиться от прибора после полного окончания форсированного выдоха.

**КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА СПИРОМЕТРИИ.** Для оценки качества спирометрии следует использовать следующие понятия:

- приемлемость (acceptability) — соответствие попытки всем критериям качественного измерения;
- допустимость (usability) — признание клинической ценности попытки, не соответствующей всем критериям качественного измерения;
- повторяемость (repeatability) — максимально допустимое различие между величинами одного и того же показателя, измеренными в разных попытках.

Из прежних рекомендаций сохраняется только понятие «приемлемость», характеризующее качество каждой из выполняемых пациентом попыток. Второе, уже устоявшееся понятие «воспроизводимость», которым долгие годы обозначалась несущественная разница между несколькими приемлемыми попытками, проводимыми в рамках одного исследования в один и тот же день, заменено на «повторяемость» в соответствии с ГОСТ Р ИСО 5725–1–2002 [23]. Обратным образом изменился и привычный смысл прежнего понятия «повторяемость» — теперь для характеристики различий между исследованиями, выполненными в разные дни, следует использовать понятие «воспроизводимость» [23].

Новое понятие «допустимость» расширяет возможности практического использования спирометрии. Хорошо знакома ситуация, когда пациент в силу каких-либо причин не может выполнить правильно все дыхательные маневры, однако сама по себе информация об отсутствии снижения ЖЕЛ или признаков значимой обструкции дыхательных путей крайне важна для дифференциальной диагностики или определения лечебной тактики. Критерии допустимости позволяют использовать для анализа не совсем удачные попытки, что важно для клинической практики.

**Основным критерием качества при измерении ЖЕЛ** остается повторяемость результатов. Для корректного определения ЖЕЛ необходимо выполнить минимум три технически приемлемых измерения, чтобы различие между двумя наибольшими значениями ЖЕЛ не превышало 0,150 л или 10% от величины ЖЕЛ, причем ориентироваться следует на меньший по величине критерий. Если после выполнения 8 попыток критерий повторяемости не достигнут, то рекомендуется исследование прекратить и повторить в другой день. В протокол исследования вносят максимальное из полученных значений ЖЕЛ и среднюю величину  $E_{вд}$ .

#### ВАЖНО!

Выполняем не менее 3-х приемлемых измерений ЖЕЛ. Критерии повторяемости при измерении ЖЕЛ зависят от величины ЖЕЛ и для лиц старше 6 лет составляют:

- Если  $ЖЕЛ < 1,500$  л — разница между двумя наибольшими значениями ЖЕЛ не более 10% ЖЕЛ;
- Если  $ЖЕЛ \geq 1,500$  л — разница между двумя наибольшими значениями ЖЕЛ не более 0,150 л.

**Оценку качества выполнения маневра форсированного выдоха** проводят по большому числу критериев.

**Начало форсированного выдоха**, как нулевая точка для расчета временных параметров спирометрии, определяется методом обратной экстраполяции. Нулевая точка — это точка пересечения касательной линии, которая строится к самой крутой части кривой «объем–время», соответствующей ПОС, и горизонтальной оси (рис. 3).

Объем воздуха, который человек успевает выдохнуть от уровня максимально глубокого вдоха (уровня ОЕЛ) до достижения нулевой точки, называется объемом обратной экстраполяции. Если маневр форсированного выдоха выполнен качественно, то объем обратной экстраполяции будет меньше 0,100 л или 5% ФЖЕЛ (ориентируемся на большую величину). Увеличение объема экстраполяции происходит при медленном начале маневра форсированного выдоха. Время от момента максимально глубокого вдоха до нулевой точки, соответствующее времени выдоха объема обратной экстраполяции, не должно превышать 2 с. Попытки, в которых превышен объем обратной экстраполяции не могут использоваться для дальнейших расчетов.

Для дополнительного контроля достаточности экспираторного усилия рекомендуется использовать показатели, характеризующие время развития ПОС: давно применяемое в отечественной практике время достижения ПОС ( $T_{\text{пос}}$ ) и относительно новое — время ускорения (rise time — RT). Отсчет  $T_{\text{пос}}$  производят от нулевой точки, определяемой методом обратной экстраполяции (рис. 3), до момента достижения ПОС, таким образом  $T_{\text{пос}}$  — это период, за который человек выдыхает от нулевой точки до момента достижения ПОС. Время ускорения рассчитывают от реального начала форсированного выдоха — оно соответствует периоду, за который человек выдыхает от 10 до 90% ПОС (рис. 4). При хорошем усилии  $T_{\text{пос}}$  не превышает 0,10 с, а RT не должно быть больше 0,15 с [24, 25]. Следует учитывать, что у пациентов с обструкцией внелегочных дыхательных путей значение этих двух параметров могут быть больше, ориентирами правильности выполнения маневров в таких случаях должны служить стойкое воспроизведение формы кривых при повторных попытках и величина объема обратной экстраполяции.

**Продолжение форсированного выдоха** должно проходить при сохранении максимального усилия без прерываний. При этом в координатах «поток–объем» после достижения максимальной скорости выдоха регистрируется снижение скоростных показателей:  $\text{ПОС} > \text{МОС}_{25} > \text{МОС}_{50} > \text{МОС}_{75}$ .

**Окончание форсированного выдоха.** Для определения момента окончания маневра форсированного выдоха используют какой-либо критерий из трех равнозначных:

1. Наличие так называемого «плато», то есть фактически горизонтального участка в конце кривой «объем–время» при выполнении форсированного выдоха, когда объем воздуха прак-

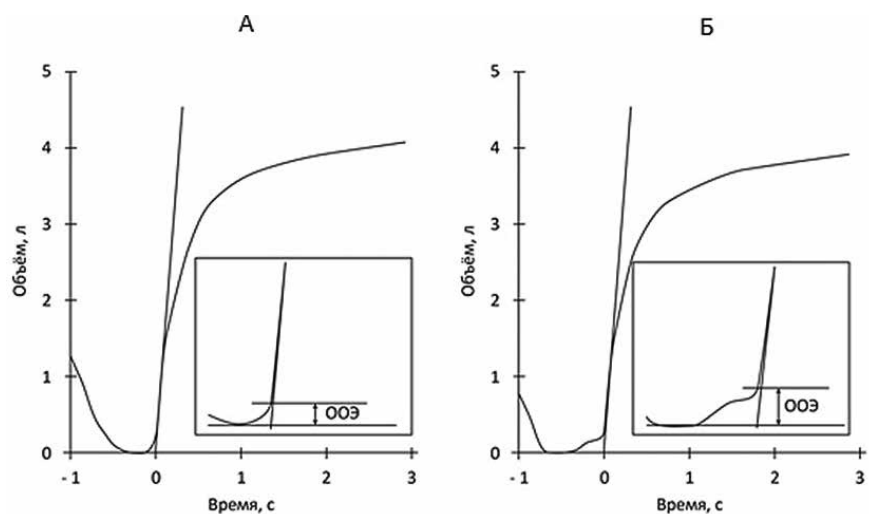
тически не меняется — за 1 с выдыхается менее 0,025 л. В современных спирометрах предусмотрена не только возможность визуального контроля достижения «плато», но и звуковая индикация этого момента, что существенно повышает возможность качественного выполнения маневра. Критерий «плато» является наиболее надежным для определения момента полного завершения форсированного выдоха. Однако следует помнить, что закрытие голосовой щели может привести к преждевременному формированию «плато», даже при достаточно продолжительном выдохе.

2. Продолжительность форсированного выдоха ( $T_{\text{ФЖЕЛ}}$ ) достигла 15 с. Такая длительность выдоха характерна для больных с выраженной обструкцией дыхательных путей. Выдох более 15 с следует прекратить, так как он не дает дополнительной информации, но может провоцировать головокружение, обмороки, вызывать усталость и дискомфорт.
3. Если пациент не может выдыхать долго, чтобы достичь «плато», что часто связано с высокой эластичностью легких у детей или больных с рестриктивным типом нарушений вентиляции, то критерием полного завершения маневра форсированного выдоха считают достижение воспроизводимых значений ФЖЕЛ: различие между наибольшими значениями ФЖЕЛ не должно превышать 0,150 л (для пациентов старше 6 лет).

В рекомендациях АТО/ЕРО 2005 критерием качественного выполнения маневра ФЖЕЛ являлась продолжительность форсированного выдоха не менее 6 с у взрослых и не менее 3 с у детей. И хотя в рекомендации АТО/ЕРО 2019 этот критерий не включен, его использование вполне целесообразно для облегчения контроля полноты выдоха со стороны оператора (медсестры).

**Полнота форсированного выдоха.** Дополнительным критерием, позволяющим оценить, насколько полно был выполнен форсированный выдох, служит разница между величинами ФЖЕЛ<sub>вд</sub> и ФЖЕЛ. При корректном выполнении маневров ФЖЕЛ<sub>вд</sub> измеряемая при глубоком быстром вдохе сразу после

Рис. 3. Объем обратной экстраполяции (ООЭ): Нулевая точка — это точка пересечения касательной линии, которая строится к самой крутой части кривой «объем–время», соответствующей пиковому потоку, и горизонтальной оси времени. Объем обратной экстраполяции равен объему воздуха, который человек успевает выдохнуть до нулевой точки. Пример двух измерений у одного человека, для которого ООЭ не должен превышать 5% ФЖЕЛ = 0,225 л. А — пример приемлемого измерения, объем обратной экстраполяции 0,136 л; Б — пример неприемлемого измерения, объем обратной экстраполяции 0,248 л [10]



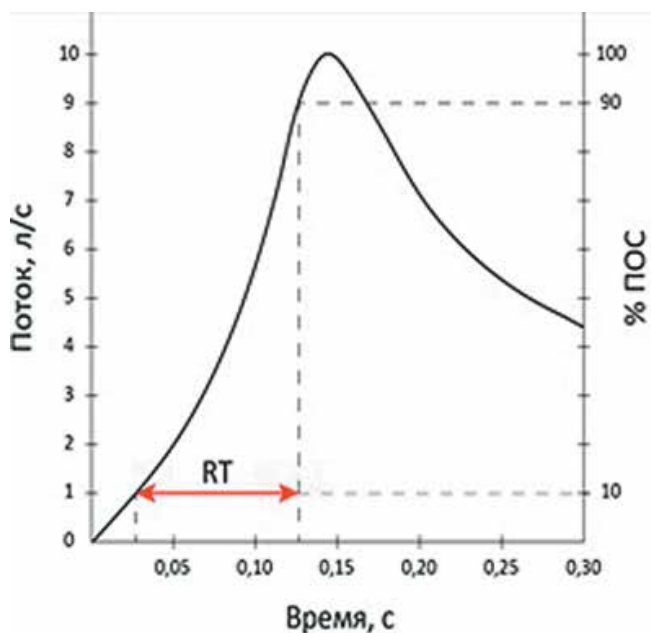


Рис. 4. Время ускорения (rise time — RT): соответствует периоду нарастания скорости форсированного выдоха от 10 до 90% пиковой объемной скорости выдоха (ПОС)

окончания форсированного выдоха, не должна превышать ФЖЕЛ, измеряемую при форсированном выдохе, больше чем на 0,100 л или 5% ФЖЕЛ (ориентируемся на большую величину).

#### ДЕФЕКТЫ МАНЕВРА ФЖЕЛ:

**Кашель.** Следует избегать кашля при выполнении дыхательных маневров, особенно важно исключить кашель в 1-ю секунду форсированного выдоха, поскольку это существенно влияет на величину ОФВ<sub>1</sub>.

**Утечка воздуха.** При неплотном прилегании губ к загубнику возникает утечка воздуха из ротовой полости, в результате спирометрические показатели занижаются. Некоторым больным со слабостью мышц или пациентам пожилого возраста трудно герметично держать загубник губами в течение всего исследования, частично это может компенсировать дополнительная фиксация губ вокруг загубника пальцами рук. Иногда причиной утечки могут быть съемные зубные протезы и проблему можно решить, если провести исследование без них.

**Обструкция загубника языком.** Попадание языка в просвет загубника может быть препятствием к проведению корректных измерений, следует обращать на это внимание при выполнении дыхательных маневров. Следует контролировать правильность положения мундштука в ротовой полости: он должен удерживаться зубами и отдавливать дистальную часть языка вниз. Важно, чтобы язык не перекрывал просвет загубника.

**Повторяемость дыхательных маневров.** Помимо технической приемлемости каждого маневра, оценивается степень вариабельности между ними (повторяемость). Критерий повторяемости определяет разницу между двумя наибольшими значениями показателя, допустимую для технически приемлемых маневров. У пациентов старше 6 лет используют следующие критерии [10]: ФЖЕЛ  $\leq 0,150$  л и ОФВ<sub>1</sub>  $\leq 0,150$  л.

Допустимо, чтобы при выполнении маневров форсированного выдоха критерии повторяемости для параметров ФЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub> были достигнуты в разных попытках, выполненных

по всем правилам. Исследования показали, что большинство взрослых способны достичь повторяемости ФЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub> в пределах 0,150 л [26, 27].

Оценка качества выполнения форсированной спирометрии проводится интегрально по совокупности параметров. Результаты спирометрии могут быть оценены при выполнении не менее 3-х технически приемлемых попыток, отвечающих критериям повторяемости. Если после выполнения 8 попыток критерий повторяемости не достигнут, то рекомендуется исследование прекратить и повторить в другой день.

#### ВАЖНО!

Выполняем не менее 3-х приемлемых маневров ФЖЕЛ. Критерии повторяемости при измерении ФЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub> для лиц старше 6 лет составляют:

- Разница между двумя наибольшими величинами ФЖЕЛ не более 0,150 л;
- Разница между двумя наибольшими величинами ОФВ<sub>1</sub> не более 0,150 л.

В реальной практике часто возникают ситуации, когда выполненные пациентом маневры не отвечают всем критериям качественных измерений, однако для принятия клинических решений важна даже приблизительная оценка респираторной функции. С учетом этих обстоятельств в современных стандартах спирометрии вводится новое понятие — допустимость попытки, то есть признание клинической ценности попытки, не соответствующей всем критериям качественного измерения.

**ОБНОВЛЕННАЯ СИСТЕМА ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ФОРСИРОВАННОЙ СПИРОМЕТРИИ** несколько отличается от уже привычной и предусматривает два этапа оценки. На первом этапе интегрально оценивают приемлемость и допустимость выполненных попыток как для ФЖЕЛ, так и для ОФВ<sub>1</sub> (табл. 2).

**Второй этап** — это формализованная интегральная оценка качества измерения величин ФЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub>, когда с помощью стандартных кодов обозначают качество и количество выполненных попыток измерения каждого из параметров (табл. 3). В финальном протоколе спирометрии стандартные коды качества измерений указываются отдельно для ФЖЕЛ и ОФВ<sub>1</sub>, что позволяет сразу определить ценность результатов спирометрии. Измерения с кодом А соответствуют всем критериям качества форсированной спирометрии и дают наиболее достоверную характеристику функционального состояния органов дыхания. Измерения с кодом В также можно отнести к качественным измерениям с высокой клинической ценностью. Тесты качества С занимают промежуточную позицию и могут применяться в клинической практике; тесты с качеством D являются сомнительными; тесты с качеством Е допустимо использовать только при нормальных значениях параметров спирометрии; тесты с качеством U и F использовать не следует. В силу того, что некоторые пациенты не могут выполнять необходимые дыхательные движения с соблюдением всех существующих требований, но стараются и демонстрируют свои максимальные возможности при проведении спирометрии, результаты таких исследований могут быть полезны в решении клинических задач. Именно с этой целью рекомендуется протоколировать все максимально возможные результаты спирометрии с обязательным указанием качества их определения.

**Таблица 2**  
**Критерии приемлемости и допустимости попыток**  
**при измерениях ОФВ<sub>1</sub> и ФЖЕЛ для пациентов старше 6 лет**

Критерий качества	Для приемлемых попыток		Для допустимых попыток	
	ОФВ <sub>1</sub>	ФЖЕЛ	ОФВ <sub>1</sub>	ФЖЕЛ
Объем обратной экстраполяции или $\leq 5\%$ ФЖЕЛ или 0,100 л (ориентируемся на большую величину)	Да	Да	Да	Да
Стабильная нулевая линия потока	Да	Да	Да	Да
Отсутствие кашля в 1-ю секунду форсированного выдоха	Да	Нет	Да	Нет
Отсутствие смыкания голосовых связок в 1-ю секунду форсированного выдоха	Да	Да	Да	Да
Отсутствие смыкания голосовых связок после 1-й секунды форсированного выдоха	Нет	Да	Нет	Нет
Достигнут один из трех критериев окончания форсированного выдоха: 1. Экспираторное плато (поток воздуха $\leq 0,025$ л за последнюю секунду форсированного выдоха) 2. Время форсированного выдоха $\geq 15$ с 3. Различие между двумя наибольшими значениями ФЖЕЛ $\leq 0,150$ л	Нет	Да	Нет	Нет
Отсутствует обструкция мундштука или измерительной части спирометра	Да	Да	Нет	Нет
Отсутствует утечка воздуха	Да	Да	Нет	Нет
ФЖЕЛ <sub>экв</sub> — ФЖЕЛ $\leq 0,100$ л или 5% ФЖЕЛ (ориентируемся на большую величину), когда ФЖЕЛ <sub>экв</sub> , измеряемая при глубоком быстром вдохе сразу после окончания форсированного выдоха, превышает ФЖЕЛ	Да	Да	Нет	Нет

**Таблица 3**  
**Стандартные коды качества измерений ОФВ<sub>1</sub> и ФЖЕЛ**  
**у пациентов старше 6 лет**

Код	Число попыток	Повторяемость
A	$\geq 3$ приемлемых	$\leq 0,150$ л
B	2 приемлемых	$\leq 0,150$ л
C	$\geq 2$ приемлемых	$\leq 0,200$ л
D	$\geq 2$ приемлемых	$\leq 0,250$ л
E	$\geq 2$ приемлемых	$> 0,250$ л
	1 приемлемая	—
U	0 приемлемых и $\geq 1$ допустимых	—
F	0 приемлемых и 0 допустимых	—

#### Список литературы / References:

- Стручков П. В., Лукина О. Ф., Дроздов Д. В. Спирометрия. В кн.: Функциональная диагностика: национальное руководство / под ред. Н. Ф. Берестень, В. А. Сандрикова, С. И. Федоровой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2019: 574–596. Struchkov P. V., Lukina O. F., Drozdov D. V. Spirometry. In: Functional diagnostics: National Guidelines / edited by N. F. Beresten, V. A. Sandrikova, S. I. Fedorova. M.: GEOTAR-Media, 2019: 574–596.
- Стручков П. В., Лукина О. Ф., Дроздов Д. В. и др. Спирометрия. В кн.: Функциональная диагностика: национальное руководство. Краткое издание / под ред. Н. Ф. Берестень, В. А. Сандрикова, С. И. Федоровой. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2023: 460–481. Struchkov P. V., Lukina O. F., Drozdov D. V., etc. Spirometry. In: Functional Diagnostics: National Guidelines. Short edition / edited by N. F. Beresten, V. A. Sandrikova, S. I. Fedorova. M.: GEOTAR-Media, 2023: 460–481.
- Стручков П. В., Дроздов Д. В., Лукина О. Ф. Спирометрия. Руководство для врачей. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2023. Struchkov P. V., Drozdov D. V., Lukina O. F. Spirometry. A guide for doctors. 4th ed., revised and supplemented. Moscow: GEOTAR-Media, 2023.
- Кирюхина Л. Д., Стручков П. В. Стандартизация спирометрии: что нового в обновлении 2019 года. Часть 1. Медицинский алфавит. 2020;(9): 9–14. DOI: 10.33667/2078–5631–2020–9–9–14. Kiryukhina L. D., Struchkov P. V. Standardization of spirometry: what's new in the 2019 update. Part 1. Medical Alphabet. 2020;(9): 9–14. DOI: 10.33667/2078–5631–2020–9–9–14.
- Кирюхина Л. Д., Стручков П. В. Стандартизация спирометрии: что нового в обновлении 2019 года. Часть 2. Медицинский алфавит. 2020;1(14):10–18. DOI: 10.33667/2078–5631–2020–14–10–18. Kiryukhina L. D., Struchkov P. V. Standardization of spirometry: what's new in the 2019 update. Part 2. The Medical Alphabet. 2020;1(14):10–18. DOI: 10.33667/2078–5631–2020–14–10–18.
- Каменева М. Ю. Новые международные рекомендации по интерпретации легочных функциональных тестов (Часть 1) Медицинский алфавит. 2022; (20): 16–22. DOI: 10.33667/2078–5631–2022–20–16–22. Kameneva M. Yu. New international recommendations on the interpretation of pulmonary functional tests (Part 1) Medical Alphabet. 2022; (20): 16–22. DOI: 10.33667/2078–5631–2022–20–16–22.
- Miller M. R., Hankinson J., Brusasco V. et al. ATS/ERS Task Force. Standardization of spirometry. Eur Respir J. 2005; 26(2): 319–338. DOI: 10.1183/09031936.05.00034805.
- Pellegrino R., Viegi G., Brusasco V. et al. Interpretative strategies for lung function tests. Eur. Respir. J. 2005; 26 (5): 948–968. DOI: 10.1183/09031936.05.00035205.
- Чучалин А. Г., Айсанов З. Р., Чикина С. Ю. и др. Федеральные клинические рекомендации Российского респираторного общества по использованию метода спирометрии. Пульмонология. 2014; (6): 11–24. DOI: 10.18093/0869–0189–2014–0–6–11–24. Chuchalin A. G., Aisanov Z. R., Chikina S. Yu. et al. Federal clinical guidelines of the Russian Respiratory Society on the use of the spirometry method. Pulmonology. 2014; (6): 11–24. DOI: 10.18093/0869–0189–2014–0–6–11–24.
- Graham B. L., Steenbruggen I., Miller M. R. et al. Standardization of spirometry 2019. Update an official American Thoracic Society and European Respiratory Society technical statement. Am. J. Respir. Crit. Care Med. 2019; 200 (8): e70–88. DOI: 10.1164/rccm.201908–1590ST.
- Stanojevic S., Kaminsky D. A., Miller M. R. et al. ERS/ATS technical standard on interpretive strategies for routine lung function tests. Eur. Respir. J. 2022; 60 (1): 2101499. DOI: 10.1183/13993003.01499–2021.
- Каменева М. Ю., Черняк А. В., Айсанов З. Р. и др. Спирометрия: методическое руководство по проведению исследования и интерпретации результатов. Пульмонология. 2023; 33 (3): 307–340. DOI: 10.18093/08690189–2023–33–3–307–340. Kameneva M. Yu., Chernyak A. V., Aisanov Z. R. et al. Spirometry: a methodological guide for conducting research and interpreting the results. Pulmonology. 2023; 33 (3): 307–340. DOI: 10.18093/08690189–2023–33–3–307–340.
- Айсанов З. Р., Калманова Е. Н., Каменева М. Ю. и др. Рекомендации Российского респираторного общества по проведению функциональных исследований внешнего дыхания в период пандемии COVID-19. Версия 1.1 от 19.05.2020 г. Практическая пульмонология. 2020; 1: 104–06. <https://rucont.ru/efd/683597> Aisanov Z. R., Kalmanova E. N., Kameneva M. Yu. et al. Recommendations of the Russian Respiratory Society on conducting functional studies of external respiration during the COVID-19 pandemic. Version 1.1 from 05/19/2020 Practical pulmonology. 2020; 1: 104–06. <https://rucont.ru/efd/683597>
- СанПиН 2.1.3684–21 «Санитарно-эпидемиологические требования к содержанию территорий городских и сельских поселений, к водным объектам, питьевой воде и питьевому водоснабжению, атмосферному воздуху, почвам, жилым помещениям, эксплуата-

- ции производственных, общественных помещений, организации и проведению санитарно-противоэпидемических (профилактических) мероприятий» (постановление Главного государственного санитарного врача РФ от 28.01.2021 г. № 3) [https://www.gospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21\\_territorii.pdf](https://www.gospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21_territorii.pdf) Дата обращения: 31.08.2023.
- SanPiN 2.1.3684-21 «Sanitary and epidemiological requirements for the maintenance of the territories of urban and rural settlements, for water bodies, drinking water and drinking water supply, atmospheric air, soils, residential premises, operation of industrial, public premises, organization and conduct of sanitary and anti-epidemic (preventive) measures» (resolution of the Chief State Sanitary Doctor RF No. 3 dated 28.01.2021) [https://www.gospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21\\_territorii.pdf](https://www.gospotrebnadzor.ru/files/news/SP2.1.3684-21_territorii.pdf) Date of access: 31.08.2023.
15. ГОСТ Р ИСО 26782-2016. Спирометры, предназначенные для измерения параметров форсированного выдоха человека. Введ. 20.07.16. М.: Стандартиформ, 2016. <https://docs.cntd.ru/document/1200137304/titles> Дата обращения: 31.08.2023.
  - GOST R ISO 26782-2016. Spirometers designed to measure the parameters of forced exhalation of a person. Introduction. 20.07.16. Moscow: Standartinform, 2016. <https://docs.cntd.ru/document/1200137304/titles> Date of access: 31.08.2023.
  16. ГОСТ Р ИСО 13731-2016. Эргономика термальной среды. Термины, определения и обозначения. Введ. 26.10.16. М.: Стандартиформ, 2016. <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=205386> Дата обращения: 31.08.2023.
  - GOST R ISO 13731-2016. Ergonomics of the thermal environment. Terms, definitions and designations. Introduction. 26.10.16. Moscow: Standartinform, 2016. <https://protect.gost.ru/document.aspx?control=7&id=205386> Date of access: 31.08.2023.
  17. Gauld L. M., Kappers J., Carlin J. B., Robertson C. F. Height prediction from ulna length. *Dev. Med. Child. Neurol.* 2004; 46 (7): 475-480. DOI: 10.1111/J.1469-8749.2004.TB00508.X.
  18. Qanjer P. H., Capderou A., Mazicioğlu M. M. et al. All-age relationship between arm span and height in different ethnic groups. *Eur. Respir. J.* 2014; 44 (4): 905-912. DOI: 10.1183/09031936.00054014.
  19. Gagnon P., Guenette J., Langer D. et al. Pathogenesis of hyperinflation in chronic obstructive pulmonary disease. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2014; 9 (1): 187-201. DOI: 10.2147/COPD.S38934.
  20. Айсанов З. Р., Калманова Е. Н. Бронхиальная обструкция и гипервоздушность легких при хронической обструктивной болезни легких. *Практическая пульмонология.* 2016; (2): 9-17. [http://www.atmosphere-ph.ru/modules/Magazines/articles/pulmo/pp\\_2\\_2016\\_9.pdf](http://www.atmosphere-ph.ru/modules/Magazines/articles/pulmo/pp_2_2016_9.pdf)
  - Aisanov Z. R., Kalmanova E. N. Bronchial obstruction and hyper-airiness of the lungs in chronic obstructive pulmonary disease. *Practical pulmonology.* 2016; (2): 9-17. [http://www.atmosphere-ph.ru/modules/Magazines/articles/pulmo/pp\\_2\\_2016\\_9.pdf](http://www.atmosphere-ph.ru/modules/Magazines/articles/pulmo/pp_2_2016_9.pdf)
  21. D'Angelo E., Prandi E., Milic-Emili J. Dependence of maximal flow-volume curves on time course of preceding inspiration. *J. Appl. Physiol.* 1993; 75 (3): 1155-1159. DOI: 10.1152/jappl.1993.75.3.1155.
  22. Wanger J. S., Ikke D. N., Cherniack R. M. The effect of inspiratory maneuvers on expiratory flow rates in health and asthma: influence of lung elastic recoil. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1996; 153 (4, Pt 1): 1302-1308. DOI: 10.1164/ajrccm.153.4.8616558.
  23. ГОСТ Р ИСО 5725-1-2002 Точность (правильность и прецизионность) методов и результатов измерений. Часть 1. Основные положения и определения». <https://gostrf.com/normadata/1/4294845/4294845443.pdf?ysclid=llu0znsrps508700275> Дата обращения: 31.08.2023.
  - GOST R ISO 5725-1-2002 Accuracy (correctness and precision) of measurement methods and results. Part 1. Basic provisions and definitions». <https://gostrf.com/normadata/1/4294845/4294845443.pdf?ysclid=llu0znsrps508700275> Date of access: 31.08.2023.
  24. Hankinson J. L., Crapo O. R. Standard flow-time waveforms for testing of PEF meters. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1995; 152 (2): 696-701. DOI: 10.1164/ajrccm.152.2.7633728.
  25. Miller M. R., Pedersen O. F., Qanjer P. H. The rise and dwell time for peak expiratory flow in patients with and without airflow limitation. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 1998; 158 (1): 23-27. DOI: 10.1164/ajrccm.158.1.9708128.
  26. Enright P. L., Beck K. C., Sherrill D. L. Repeatability of spirometry in 18,000 adult patients. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2004; 169 (2): 235-238. DOI: 10.1164/rccm.200204-347OC.
  27. Enright P., Vollmer W. M., Lamprecht B. et al. Quality of spirometry tests performed by 9893 adults in 14 countries: the BOLD Study. *Respir. Med.* 2011; 105 (10): 1507-1515. DOI: 10.1016/j.rmed.2011.04.008.

#### Сведения об авторах:

**Каменева Марина Юрьевна**, д.м.н., ведущий научный сотрудник Научно-исследовательского института ревматологии и алергологии Научно-клинического исследовательского центра<sup>1</sup>, врач функциональной диагностики кабинета функциональной диагностики поликлиники С КДЦ клиники Научно-клинического исследовательского центра<sup>1</sup>. ELibrary SPIN: 9810-9636, AuthorID: 15686. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3832-8485>

**Кирюхина Лариса Дмитриевна**, к.м.н., заведующая отделением функциональной и ультразвуковой диагностики<sup>2</sup>, ведущий научный сотрудник, руководитель научно-исследовательской лаборатории функциональных исследований<sup>3</sup>. ELibrary SPIN: 7446-4116, AuthorID: 342739 ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6550-817X>

**Стручков Петр Владимирович**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой клинической физиологии и функциональной диагностики Академии постдипломной подготовки<sup>4</sup>, заместитель руководителя диагностической службы<sup>5</sup>. ELibrary SPIN: 6093-0782, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8203-5121>

<sup>1</sup>ФГБОУ ВПО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет имени академика И. П. Павлова» Минздрава России

<sup>2</sup>ФГБУ «Научно-исследовательский институт пульмонологии» ФМБА России, Москва

<sup>3</sup>ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России

<sup>4</sup>ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий» ФМБА России, Москва

<sup>5</sup>ФГБУЗ «Клиническая больница № 85» ФМБА России, Москва

#### Автор для переписки:

Каменева Марина Юрьевна. E-mail: kmju@mail.ru

#### About authors:

**Kameneva Marina Yu.**, MD, Leading Researcher, Research Institute of Rheumatology and Allergology of the Scientific and Clinical Research Center<sup>1</sup>, Doctor of Functional Diagnostics of the Functional Diagnostics Office of the polyclinic with the CDC Clinic of the Scientific and Clinical Research Center<sup>1</sup>. ELibrary SPIN: 9810-9636. ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3832-8485>

**Kiryukhina Larisa D.**, Ph.D., Head of the Department of Functional and Ultrasound Diagnostics<sup>2</sup>, Leading researcher, Head of the Research Laboratory of Functional research<sup>3</sup>. ELibrary SPIN: 7446-4116. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6550-817X>

**Struchkov Pyotr V.**, MD, Professor, Head of the Department of Clinical Physiology and Functional Diagnostics of the Academy of Postgraduate Education<sup>4</sup>, Deputy Head of Diagnostic Department<sup>5</sup>. Electronic library SPIN: 6093-0782. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8203-5121>

<sup>1</sup>Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Russia

<sup>2</sup>Pulmonology Scientific Research Institute, Moscow, Russia

<sup>3</sup>Saint-Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology

<sup>4</sup>Academy of Postgraduate Education under Federal State Budgetary Unit "Federal Scientific and Clinical Center for Specialized Medical Assistance and Medical Technologies of Federal Medical Biological Agency", Moscow, Russia

<sup>5</sup>Clinical Hospital No.85 FMBA of Russia, Moscow, Russia

**Corresponding author:** Kameneva Marina Yu. E-mail: kmju@mail.ru.

Статья поступила / Received 08.08.2023

Получена после рецензирования / Revised 10.08.2023

Принята в печать / Accepted 22.09.2023

**Для цитирования:** Каменева М.Ю., Кирюхина Л.Д., Стручков П.В. Обновленные отечественные рекомендации по спирометрии. Часть 1. Правила проведения исследования и критерии его качества. *Медицинский алфавит.* 2023;(22):7-18. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-7-18>

**For citation:** Kameneva M. Yu., Kiryukhina L. D., Struchkov P. V. Updated national guidelines for spirometry. Part 1. Test rules and quality criteria. *Medical alphabet.* 2023;(22):7-18. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-7-18>



# Когерентный анализ в электроэнцефалографии. Опыт применения когерентного анализа в оценке расстройств ментальных функций человека в практической электроэнцефалографии. (Лекция третья)

Л. Б. Иванов, А. В. Будкевич

КДЦ при Детской городской клинической больнице № 9 имени Г. Н. Сперанского, Москва

## РЕЗЮМЕ

В лекции обсуждено, что собственно полезного может дать когерентный анализ в решении задачи оценки системно-функциональной организации корковой ритмики, которая лежит в основе клинической интерпретации количественных показателей внутримозговых связей. Авторы подчеркнули, что в корреляты нарушений ментальной функции головного мозга по данным ЭЭГ следует искать признаки диссоциации уровня бодрствования у неспящих людей, поиск особенностей электроэнцефалографической картины, которые могут рассматриваться в качестве нейрофизиологических невротических паттернов и главное определение состояния системно-функциональной организации корковой ритмики, трактуемой как состояние гипофронтальности. Авторы пошли по пути наглядной иллюстрации на примерах конкретных наблюдений с разным патологическим состояниями функции головного мозга. Приведены особенности изменений показателей когерентности у пациентов с синдромом гиперактивности, при нарушении функции внимания, при задержке психического развития, при вегето-сосудистой дистонии. Авторы приводят наблюдение ребенка с нейросенсорной тугоухостью с рождения и связывают факт снижения уровня межвисочных отношений, не с основным заболеванием, а отсутствия навыков устной речи. В работе подчеркивается, что гиперсинхронизация альфа ритма достаточно патогномична состоянию повышенной тревожности. Авторы подробно разъясняют, при каких состояниях расстройства ментальных функций более информативными являются значения средней когерентности, а в каких величины доминирующей частоты. В заключение авторы сетуют на неудовлетворительные программные возможности математической обработки в некоторых компьютерных комплексах ЭЭГ, поэтому пользователи нейрофизиологи имеют неравные возможности.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ЭЭГ, средняя когерентность, когерентность доминирующей частоты, СДВГ, дефицит внимания, повышенная тревожность, нейросенсорная тугоухость, соматоформные расстройства.

## Coherent analysis in electroencephalography. Experience in the use of coherent analysis in the assessment of disorders of human mental functions in practical electroencephalography. (Lecture three)

L. B. Ivanov, A. V. Budkevich

CDC at the Children's City Clinical Hospital No. 9 named after G. N. Speransky (Moscow)

## SUMMARY

It is discussed what actually useful coherent analysis can give in solving the problem of assessing the system-functional organization of cortical rhythms, which underlies the clinical interpretation of quantitative indicators of intracerebral connections. The authors emphasized. That in the basis of the assessment of disorders of the mental function of the brain according to EEG data, one should look for signs of dissociation of the level of wakefulness in non-sleeping people. It is necessary to look for features of the electroencephalographic picture, which can be considered as neurophysiological neurotic patterns and, most importantly, an assessment of the state of the systemic-functional organization of the cortical rhythm, interpreted as a state of hypofrontality.

The authors took the path of visual illustration using examples of specific patients with various pathological states of brain function. The features of changes in coherence indices in patients with hyperactivity syndrome, in violation of the function of attention, with mental retardation, in vegetative-vascular dystonia are given. The authors cite the observation of a child with sensorineural hearing loss from birth and connect the fact of a decrease in the level of intertemporal relations, not with the underlying disease, but with the lack of oral speech skills. The paper emphasizes that hypersynchronization of the alpha rhythm is quite pathognomonic to the state of increased anxiety. The authors explain in detail under what states of mental dysfunction the values of the average coherence are more informative, and in which the values of the dominant frequency. In conclusion, the authors complain about the unsatisfactory software capabilities of mathematical processing in some EEG computer systems, so neurophysiologists have unequal opportunities.

**KEY WORDS:** EEG, mean coherence, dominant frequency coherence, ADHD, attention deficit, increased anxiety, sensorineural hearing loss, somatoform disorders.

Диагностика расстройств ментальных функций человека по данным электроэнцефалографии до настоящего времени находится в зачаточном состоянии. Несмотря на достигнутые успехи в исследовательской деятельности в этой области, существует множество препятствий для внедрения их в практическую медицину. Чисто теоретические проблемы и факт недостаточной осведомленности практических электроэнцефалографистов по применению когерентного анализа для этих целей мы подробно осветили в двух предшествующих лекциях. Но кроме теорети-

ческих и методических проблем использования когерентного анализа на пути практики имеются и существенные прикладные проблемы.

Всякий метод диагностики полезен только тогда, когда в нем заинтересован врач-лечебник. Если заключение нейрофизиолога не подсказывает практику ничего на этапе формулирования диагноза или не влияет на выбор варианта терапии, то изощренный по бессодержательности набор слов в типовом заключении, например: «На фоне умеренного изменения кор-

ковой ритмики отмечаются признаки повышения активности на диэнцефально-стволовом уровне, эпилептиформной активности не зарегистрировано», не задержит внимания врача. Тем более, если у пациента в направляющем диагнозе обозначен СДВГ, задержка речевого развития, парасомния или, к примеру, соматоформное расстройство, то есть не стоит задача диагностировать эпилепсию. Другими словами, глядя на такое заключение, врач для себя определяет: «На ЭЭГ ничего нет. Все норма» и смотрит на исписанный лист протокола исследования со всеми подробностями про альфа-бета ритмы, как на пустую бумажку.

Нет вины электроэнцефалографиста, что он не смог раскрыть особенности системно-функциональной организации корковой ритмики характерные для ментальных расстройств данного конкретного пациента, потому что теми традиционно сложившимися методами анализа ЭЭГ он этого просто выполнить не в состоянии. Ибо столетие доминирует взгляд на ЭЭГ как исключительно диагностический метод эпилепсии. Даже основоположник электроэнцефалографии Ганс Бергер, сам будучи психиатром, разочарованно пришел к выводу, что не нашел в ЭЭГ маркеров психических заболеваний. Не нашел и не мог найти, поскольку в то время теми примитивными средствами, которыми обладали тогда ЭЭГ устройства, этого сделать было невозможно, да и концепция поиска какой-то особой ритмики на ЭЭГ при расстройствах психики оказалась ошибочной.

Нет вины и практического врача, что он ждет ответ от ЭЭГ только на один вопрос: «Есть эпилепсия или нет?». А если ему попадает заключение от более продвинутого нейрофизиолога с описанием особенностей организации корковой ритмики (подчеркиваю «организации!», а не каких-то особых волн!) в связи с особенностями метальных функций, то относится к нему с высокой степенью скептицизма. Преодолеть этот скептицизм очень трудно. Автору этой лекции пришлось потратить тридцать лет, прежде чем окружающие его клиницисты не только признали полезность математических методов обработки нативной электроэнцефалограммы, в том числе и когерентного анализа, но и стали осознанно заказывать их выполнение с учетом определенной клинической картины, особенностей ментальных функций пациента.

Сами количественные значения когерентностей (больше или меньше в тех или иных областях) никакой пользы практическому врачу не дают. До тех пор пока результаты количественных методов, будь то спектральный, дисперсионный или когерентный анализ, не будут представлены вербально с позиции оценки особенностей функционального состояния головного мозга в полезной для практика форме. Сами по себе количественные параметры, без патофизиологической трактовки являются эффективным балластом для практического нейрофизиолога. Для клинициста количественные показатели это все исходный материал, которые является сырым продуктом, а не готовым блюдом, которое можно подать к столу.

Данные когерентного анализа хорошо вписываются в задачу психофизиологической трактовки ЭЭГ. Алгоритм такой направленности электроэнцефалограммы предусматривает оценку трех компонентов функционального состояния головного мозга в норме и патологии [6]

Первый компонент это уровень бодрствования и его соответствие клинической адекватности сознания неспящего человека. Сниженный уровень бодрствования у неспящего человека сопровождается разного уровня дереализацией восприятия окру-

жающей обстановки, создающий условия для формирования неадекватного поведения человека, поэтому и может рассматриваться как один из объективных электроэнцефалографических критериев особенностей ментального расстройства церебральной деятельности.

Информационное звено этого уровня лежит преимущественно на этапе визуального и спектрального анализа ЭЭГ по наличию выраженности разных сомногенных компонентов. Когерентность на данном этапе анализа ЭЭГ практически информационно незначима, точнее ее возможности недостаточно изучены.

Второй компонент, выявление признаков невротических паттернов ЭЭГ, так же лежит преимущественно в области визуального, спектрального вариантов анализа. На этом этапе когерентность полезна при установлении невротического паттерна тревожного типа по избыточной синхронизации доминирующих значений в альфа-диапазоне, или при некоторых вариантах соматоформных расстройств со специфической картиной жалоб в виде сложных парестезий с характерных выраженным снижением синхронизации в парах с электродами расположенными над сенсомоторной зоной (С3 и С4).

Третий компонент, выявление признаков церебральной гиподоминантности [6, 8] по аномальному региональному перераспределению внутримозговых связей значений средней когерентности. На этом этапе анализа значимость показателей когерентности с топографическим распределением максимумов и минимумов по алгоритму, описанному во второй лекции, трудно переоценить. Особенно если они учитываются со степенью пространственного перераспределения альфа ритм по дисперсионному анализу [5].

В качестве иллюстрации полезности использования когерентного анализа рассмотрим несколько клинических примеров при разных вариантах психических расстройств, наиболее часто встречающихся у детей и подростков. Прежде чем приступить к демонстрации конкретных наблюдений, полагаю, необходимо подчеркнуть, что именно мы будем смотреть в когерентности. Не когерентность вообще, не когерентность по диапазонам, а региональное преобладание или снижения уровня внутримозговых связей в двух функционально отличающихся частотных диапазонах. Это *средняя когерентность* от 1 до 16 Гц или пространственное распределение *максимальной когерентности доминирующей частоты альфа ритма* в пределах одного герца, а не всего диапазона (весь диапазон имеет меньшую информативность и наглядность). Эти, выбранные варианты когерентного анализа, редко несут одновременно информационную значимость, так как в основе их формирования лежат разные физиологические механизмы, поэтому обычно смотрят или среднюю когерентность, или когерентность доминирующей частоты. И их отклонение от нормы обычно коррелирует с разной картиной ментального состояния пациента.

#### ПРИМЕРЫ ИНФОРМАЦИОННОЙ ЗНАЧИМОСТИ СРЕДНЕЙ КОГЕРЕНТНОСТИ ПО МЕЖПОЛУШАРНЫМ ПАРАМ

**Наблюдение 1.** Ребенок, С. Николай, 8 л., Диагноз: Синдром дефицита внимания с гиперактивностью. Жалобы: неусидчив, суетлив, с трудом запоминают новую информацию, невнимателен, легко отвлекается, говорлив. На ЭЭГ визуально и по спектру мощности альфа-ритм в соответствии с возрастом, умеренное усиление выраженности диффузных медленных волн. На дисперсионной карте повышенное рассеивание альфа-ритма в передних

и центральных отделах (рис. 1). На Графиках когерентности по межполушарным парам видно выраженное снижение уровня связей со смещением максимума в теменно-центральные и затылочные отделы (рис. 2).

**Наблюдение 2.** Ребенок, Г. Михаил, 17 л., Диагноз: Синдром дефицита внимания, когнитивная недостаточность. Жалобы: с трудом запоминает новую информацию, затруднена концентрация внимания. Проблемы с математикой. На ЭЭГ визуально корковый ритм в соответствии с возрастом. На Графиках когерентности по межполушарным парам видно выраженное снижение уровня связей в лобных отделах со смещением максимума в теменно-центральные и затылочные отделы (рис. 3А). Ребенок прослежен на протяжении 5-ти лет. Повторные ЭЭГ исследования выполнены в 13, 14,15 и 17 лет. Наблюдение в динамике указывает устойчивое состояние межполушарных отношений с выраженным снижением уровня межлобных отношений и смещением максимума теменно-центральные отделы. У здоровых детей максимальные значения когерентности бывают в лобных отделах.

**Наблюдение 3.** Ребенок. Б. Эмир. 4 г. наблюдается у психиатра с диагнозом: задержка психического развития, аутичные черты, задержка психоречевого развития. На ЭЭГ регистрируется замедленный эквивалент альфа-ритма с асимметрией (лучше сформирован слева) (рис. 4А). По данным когерентного анализа по межполушарным парам значительное снижение уровня межполушарных, особенно межлобных отношений 0,39 (при норме 0,5–0,6), а также отсутствие тенденции к формированию лобно-затылочных отношений 0,01 слева и 0,007 справа, при норме в данной возрастной группе 0,03–0,04 (рис. 4Б, В).

**Наблюдение 4.** Пациент, Л. Софья 17 л. Диагноз: синдром ВСД. Жалобы: состояние внутреннего напряжения, транзиторные головные боли, подъемы АД, гипергидроз, метеозависимость. На ЭЭГ регистрируется преимущественно низковольтная дизритмия быстрого типа, Альфа- ритм невысокой амплитуды, ускорен, носит случайный характер, в самостоятельный выделяется эпизодически, встречается редкими спонтанными короткими в теменно-затылочных отделах перемежается с невысокой бета-активностью. На спектре мощности альфа-ритм представлен в виде рудимен-

Рис. 1. Ребенок, С. Николай, 8 л. Диагноз: Синдром дефицита внимания с гиперактивностью. Слева фрагмент нативной ЭЭГ, справа график спектра мощности, по центру дисперсионная карта пространственного распределения альфа ритма. Комментарий в тексте

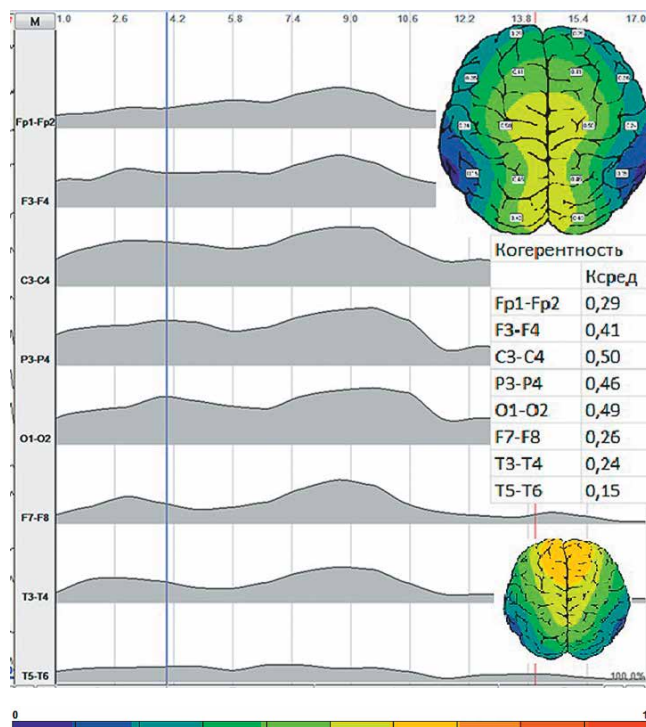
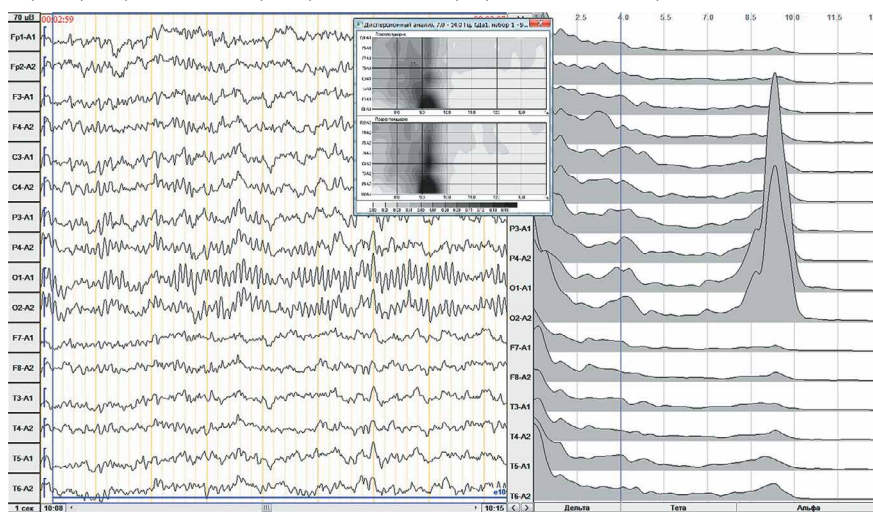


Рис. 2. Ребенок, С. Николай, 8 л. Диагноз: Синдром дефицита внимания с гиперактивностью. Устойчивое снижение уровня межлобных отношений по данным когерентного анализа по межполушарным парам электродов у пациента. В нижнем правом углу картограмма с распределением межполушарных связей здорового ребенка

тарного плато 10,3–13,5 Гц со шлейфом в сторону НЧ бета ритма. По данным средней когерентности по межполушарным парам отмечено смещение максимума в теменно-центральные отделы. Снижен уровень межлобных отношений (рис 5).

**Наблюдение 5.** Пациент О. Кирилл, 6 л. Диагноз: Нейросенсорная тугоухость. Недоразвитие речи. На ЭЭГ визуально удовлетворительно организован основной ритм, замедлен. На спектре мощности доминирующий пик альфа ритма в районе 7,2–7,6 Гц (возрастная норма — в 6 л –8.4–8.9 Гц) в затылочной области. По данным средней когерентности по межполушарным парам отмечается значительное снижение уровня межлобных связей и крайне низкий уровень межвисочных отношений (значения когерентности в районе нуля и при норме 0,2) (рис 6).

Первых пятерых пациентов объединяет сходная картина изменения показателей средней когерентности в виде снижения уровня межлобных отношений и смещение максимума в теменно-центральные и затылочные отделы. Регионарная особенность состояния внутримозговых связей неплохо коррелируется с особенностями ментальных расстройств в виде снижения уровня внимания, двигательной расторможенности или картины соматоформных расстройств. Согласно данным литературы с позиции организации мозговой деятельности это определено, как признак функциональной гипопрофронталь-

ности. Наличие ее, оказывается, можно, с определенной долей вероятности, объективизировать по характерным регионарным изменениям показателей средней когерентности. [1, 4, 8].

Объективности ради следует сказать, что лучше это делать с оценкой пространственной организации альфа ритма по дисперсионным картам [4, 6, 9].

В пятом наблюдении дополнительно к нейрофизиологической картине отмечено нетипичное снижение уровня межвисочных отношений. По данным литературы такое падение межвисочных связей характерно для детей страдающих нейросенсорной тугоухостью, возникшей раньше, чем ребенок приобрел навыки устной речи. Если она развилась у детей уже при сформированной речи, или у взрослых, то, как правило, снижения показателей когерентности ниже нормальных не наблюдается. [2, 3].

...Из чего вытекает, что низкий уровень показателей межвисочной когерентности связан не с нарушением органа слуха, а с недоразвитостью... функциональных связей с центром речи Вернике. Что интересно, имеются единичные указания, что после кохлеарной имплантации в результате восстановления функции слуха, а вслед за этим приобретение навыков устной речи, уровень межвисочных отношений по данным когерентного анализа имеет тенденцию к восстановлению.

**Примеры информационной значимости средней когерентности по внутриполушарным парам**

Нередко признаки функциональной гипофронтальности проявляются не по межполушарным, а по внутриполушарным парам. При этом аномалия внутримозговых связей определяется по соотношению передних пар (Fp1-C3, Fp2-C4, Fp1-T3, Fp2-T4) относительно задних (C3-O1, C4-O2, T3-O1, T4-O2). У здоровых, напомним, значения когерентностей всегда выше в передних отделах. При патологии происходит снижение уровня связей в передних новых (передних) и возрастает в старых (задних) отделах коры. При этом в описании этих изменений удобно пользоваться такими формулировками, как «сглаженность переднезаднего соотношения», а то и даже «инверсия переднезаднего соотношения» с указанием стороны преобладания.

**Наблюдение 6.** Пациент, П Анна, 5 л. Диагноз: Задержка речевого развития.

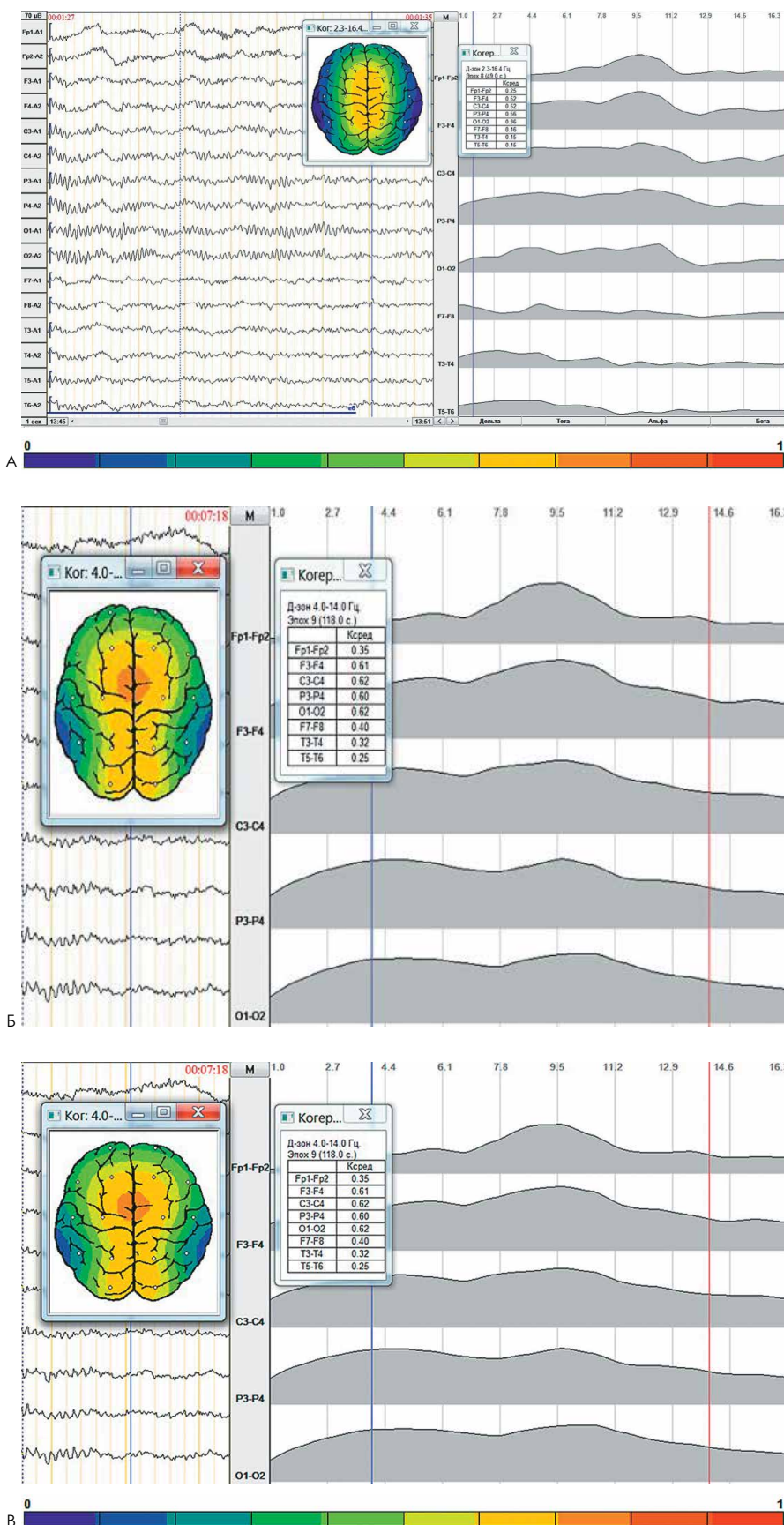


Рис. 3. Ребенок, Г. Михаил, 17 л., диагноз: Синдром дефицита внимания и когнитивная недостаточность. ЭЭГ, графики и картограмма когерентности (А). Устойчивое снижение уровня межлобных отношений прослежено в течение пяти лет по данным когерентного анализа по межполушарным парам электродов. Графики и картограмма когерентности того же ребенка в 14 и 15 лет соответственно (Б, В). Комментарий в тексте

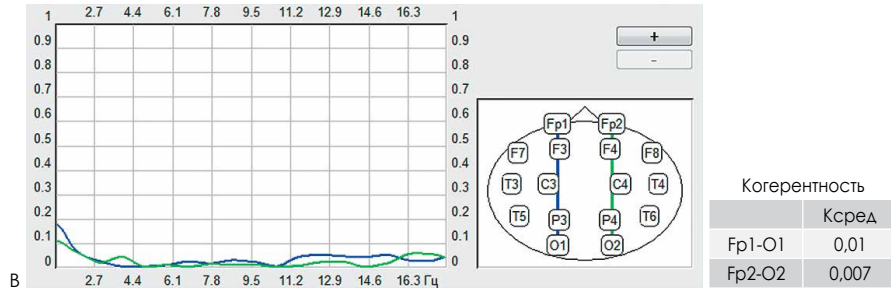
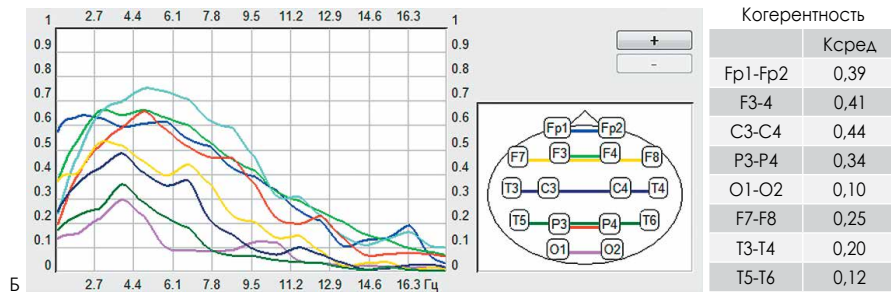
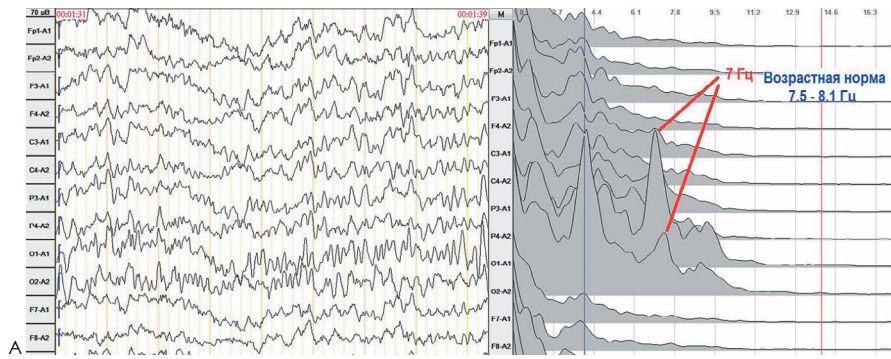
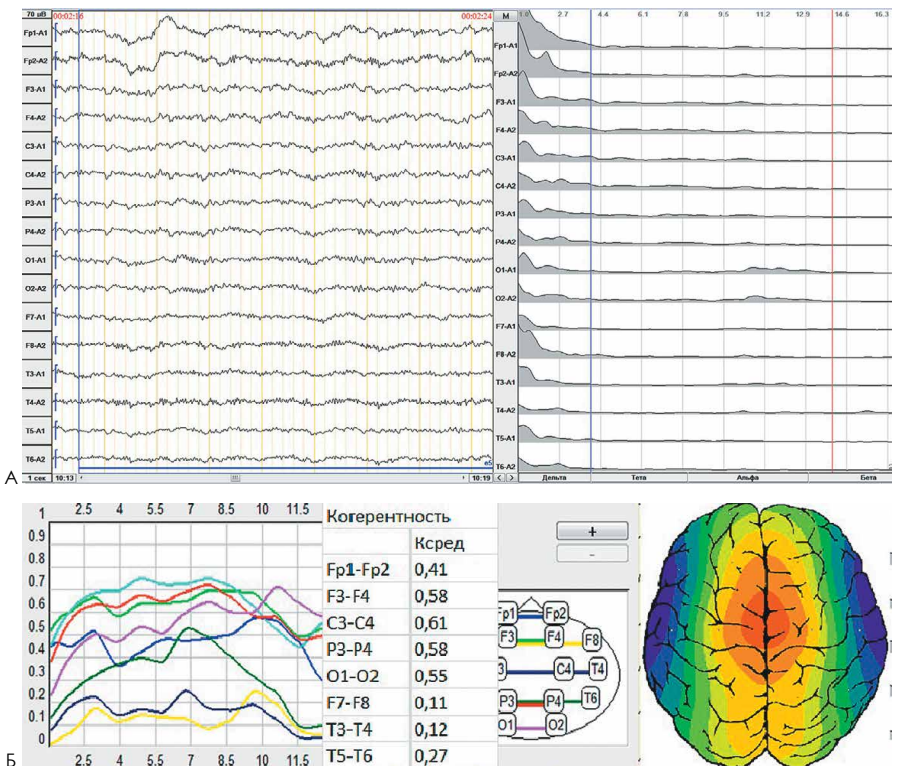


Рис. 4. Пациент, Б. Эмир, 4 г. Диагноз: задержка психического развития, аутичные черты (с положительной динамикой), задержка речевого развития. Электроэнцефалограмма со спектром мощности (А), графики и таблица когерентности по межполушарным парам (Б), графики и таблица когерентности по лобно-затылочным парам (В). Комментарии в тексте

Нарушение экспрессивной речи. Транзиторные моторные и вокальные тики. На ЭЭГ и спектре мощности отмечается умеренно расширенная зона пространственного распределения альфа-ритма и некоторое повышение выраженности негрубой медленной активности. По данным когерентного анализа по внутриполушарным парам отмечается инверсия переднезаднего соотношения величин в левом полушарии (рис. 7).

Выявленные нарушения пространственного распределения уровня внутримозговых связей внутриполушарно и межполушарно у разных пациентов могут как совпадать, и не совпадать. Все зависит от особенностей формирования механизма функциональной гипопфрон-

Рис 5. Пациент, Л. Софья, 17 л., ВСД. Электроэнцефалограмма со спектром мощности (А), Графики, таблица значений и картограмма средней когерентности по межполушарным парам (Б). Комментарий в тексте



тальности. Чаще изменения наблюдаются по межполушарным парам.

Примеры информационной значимости когерентности доминирующей частоты основного ритма.

**Наблюдение 7.** Пациент М. Анна, 40 л, Диагноз: панические атаки. Тревожный аффект. На ЭЭГ и на спектре мощности выраженная генерализация синхронизированного альфа ритма 9, 0 Гц с минимумом регионарных различий. На графиках когерентности доминирующей частоты в остром периоде заболевания отмечается избыточная синхронизация с максимальными значениями когерентности как на внутри-, так и на межполушарных парах. На графиках когерентности на этапе лечения отмечается «развал» патологической тотальной пространственной гиперсинхронизации альфа-ритма. Динамика более отчетлива во внутриполушарных парах (рис 8А, Б, В).

**Наблюдение 8.** Пациент, Д. Полина, 15. Диагноз: Соматоформное расстройство. Жалобы: Состояние внутреннего дискомфорта. Мнительна. Преходящие ощущения зуда или жжения кожных покровов тела переменной локализации, ощущение, что по телу ползают насекомые. Объективно кожные покровы не изменены, болевая и тактильная чувствительность в пределах нормы. На ЭЭГ альфа-ритм переменной частоты

с умеренно расширенной зоной предствительства, непостоянный, эпизодами модулированный, перемежается с участками низковольтной дизритмии. На спектре мощности и на дисперсионной карте выделяется двухмодальный альфа ритм 10,3 Гц в теменно-затылочной области и 9 Гц в теменно-центральных отделах (рис. 9А). На интерполированных графиках когерентности доминирующей частоты отмечается ее падение до уровня близкому к нулю во всех парах с электродами сенсомоторной зоны С3 и С4 внутрислоушарно и межполушарно.

**РЕЗЮМЕ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ № 7 и № 8**

Картина тревожности по клиническим жалобам может иметь разные патофизиологические механизмы своей реализации по данным ЭЭГ. В одних случаях (не более 15–20% от всех тревожных случаев) она проявляется на фоне тенденции к десинхронизации корковой ритмики, особенно в виде низковольтной дизритмии. Однако низковольтные дизритмические кривые не являются специфичными для клинической картины с симптоматикой тревожности. Для таких пациентов больше характерно наличие состояния внутреннего напряжения. Подавляющее большинство случаев с жалобами на повышенную тревожность высоко коррелируют с выраженной пространственной распространенностью альфа-ритма, которая хорошо прослеживается как по нативной ЭЭГ, так и по спектру мощности [4, 7].

Однако визуально не всегда можно распознать с каким вариантом распространенности альфа-ритма мы имеем дело с гомо- или гетерогенным его генезом. Это важно, так как нейрофизиологическим коррелятом тревожности преимущественно является частотная пространственная однородность альфа-ритма. На помощь нам приходит метод когерентного анализа. При высоком уровне тревожности значения когерентности доминирующей частоты существенно превышают среднепопуляционные величины условно здоровых людей. Яркой иллюстрацией этому является приведенное выше наблюдение в динамике пациента М. Анна, 40 л (рис 8), у которого по мере ослабления симптомов тревожного аффекта на фоне лечения снизился и уровень пространственной синхронизации альфа-ритма.

Обратная картина, выраженное падение значений когерентности доминирующей частоты встречается достаточно редко, но на модели наблюдения пациента с соматоформным расстройством со специфической картиной в чувствительной сфере, видно, что это происходит именно в парах с электродами (С3 и С4), которые расположены над областями сенсомоторной зоны коры головного мозга (рис .9), что объективно свидетельствует о расстройстве

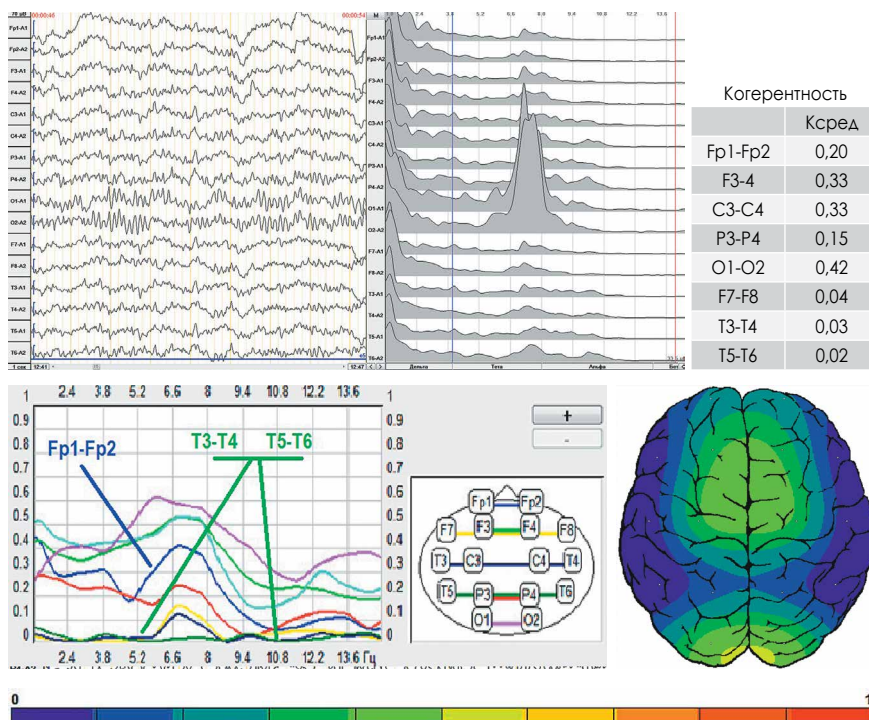
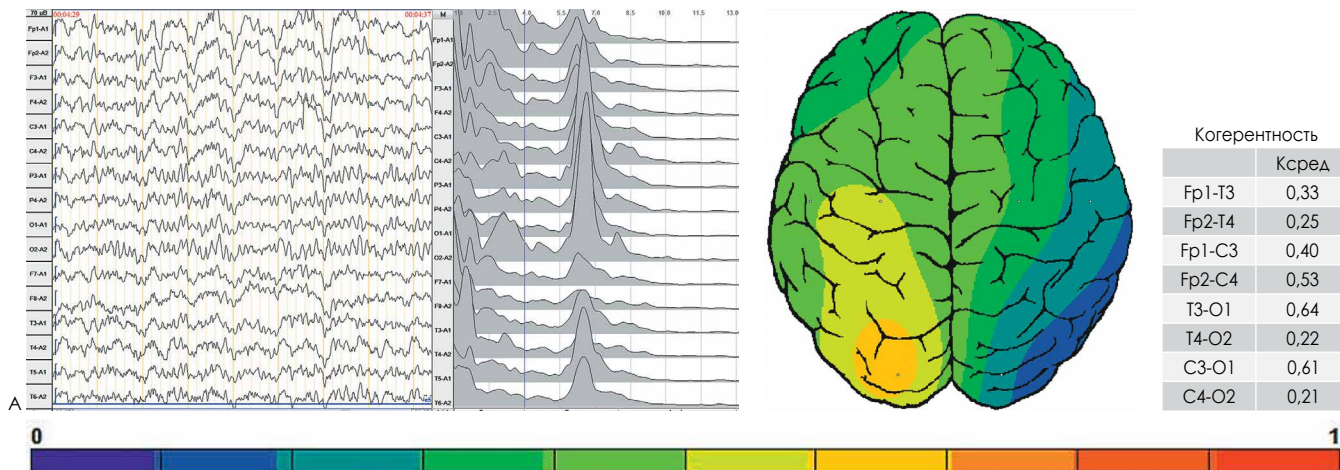


Рис. 6. Пациент О. Кирилл, 6 л. Диагноз: нейросенсорная тугоухость. На ЭЭГ и на спектре мощности выявляется выраженное снижение частоты основного ритма при визуально удовлетворительной картине организации корковой ритмики. (А) и выраженное снижение уровня межлобных и межвисочных отношений

Рис.7. Пациент, П Анна ,5 л. Диагноз: Задержка речевого развития. Нарушение экспрессивной речи. Транзиторные моторные и вокальные тики. Нативная ЭЭГ и спектр мощности (А), топограмма и таблица когерентности по внутрислоушарным парам. Комментарий в тексте



и зрительным анализатором затылочной доли. Долгое время считалось, что смысла нет измерять когерентность между столь удаленными областями, так как значения когерентностей между ними должны быть априори невысокими. Так оно и оказалось, если ориентироваться на среднепопуляционные возрастные группы. Для средней когерентности у здоровых людей величины при этом не превышают значений 0,03, для доминирующего альфа ритма — 0,15, что расценивается как крайне низкий показатель синхронизации. Тем не менее, на значительном массиве исследований выявлялись достаточно информативные количественные различия в разных группах пациентов.

Оказалось, что если средняя когерентность для пар с длинными расстояниями действительно недостаточно информативна, то величины когерентности доминирующей частоты следуют за спецификой психических особенностей. Так у клинически здоровых пациентов пределы колебаний этого варианта когерентности колеблются в пределах от 0,08 до 0,3. У пациентов с выраженной картиной тревожности она растет и нередко превышает значение 0,5–0,6. Снижение величин когерентности доминантного альфа-ритма до нулевых значений наблюдается в тех случаях, когда в жалобах присутствует симптоматика,

свидетельствующая о снижении когнитивных способностей, когда у школьников имеют место проблемы с математикой, особенно с геометрией, как признак коррелирующий с недостаточной функцией объемно-образного мышления (рис. 10).

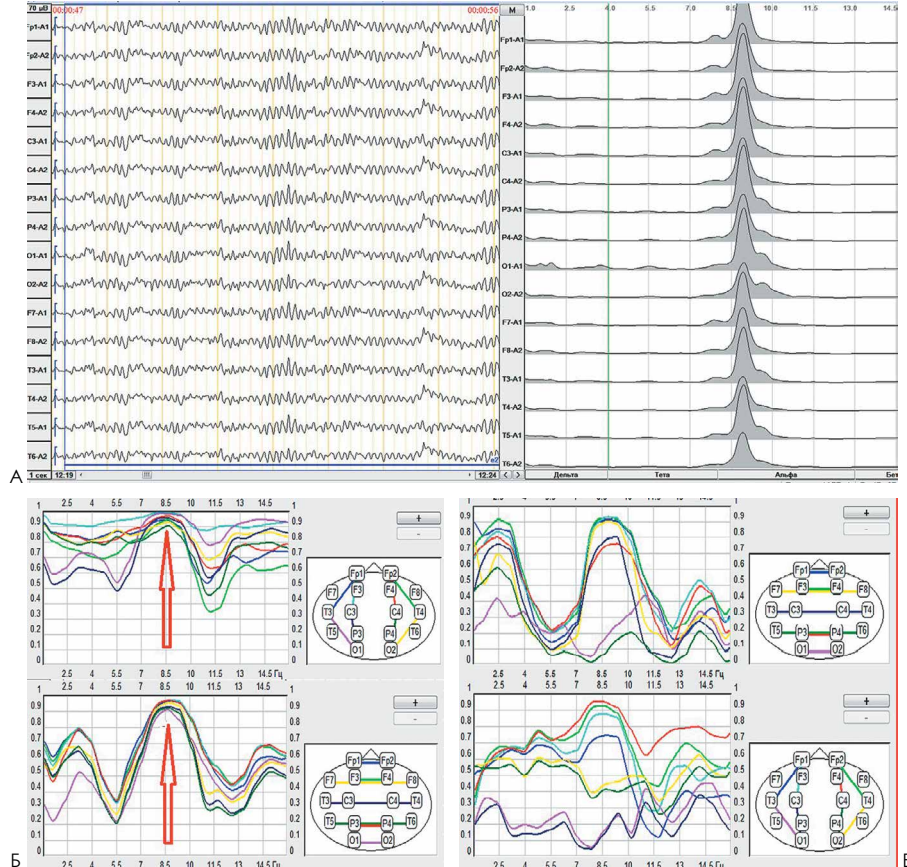


Рис. 8. Пациент М. Анна, 40 л., диагноз: панические атаки. Тревожный аффект. Нативная ЭЭГ и спектр мощности (А). Графики когерентности доминирующей частоты в остром периоде заболевания (Б). Графики доминирующей когерентности на этапе лечения. Комментарий в тексте

функциональной организации в специальных центрах высшей нервной деятельности.

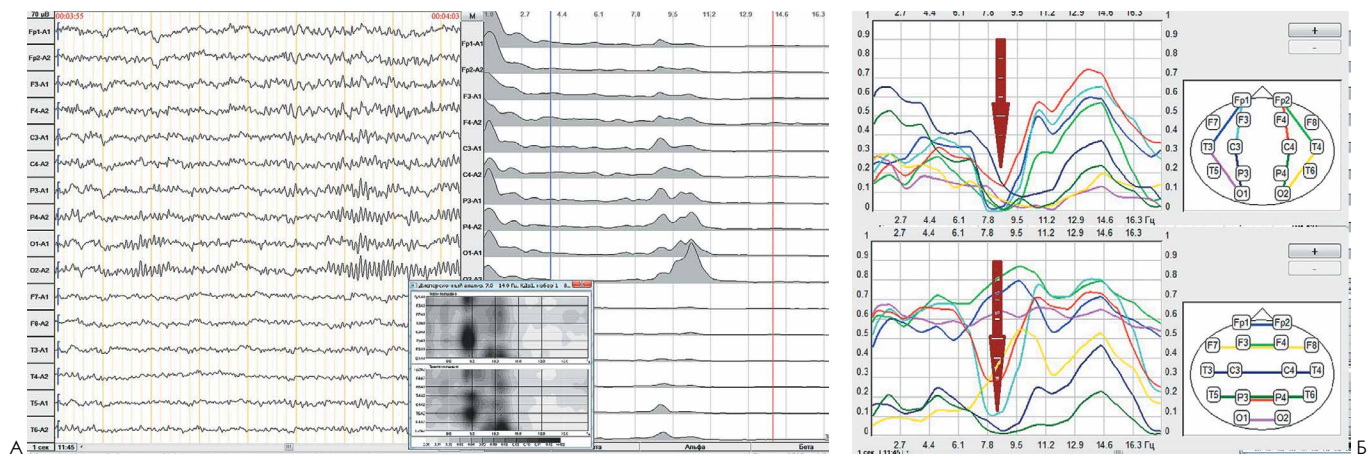
**ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ КОГЕРЕНТНОСТИ В ЛОБНО-ЗАТЫЛОЧНЫХ ПАРАХ ЭЛЕКТРОДОВ**

Отдельный интерес представляют собой пары Fp1-O1 и Fp2-O2 для оценки функциональных связей по длинным ассоциативным путям между префронтальной корой лобных отделов

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

Когерентный анализ в электроэнцефалографии, давно вышел из уровня познавательного любопытства в рамках исследователь-

Рис. 9. Пациент, Д. Полина, 15. Диагноз: Соматоформное расстройство. ЭЭГ, графики спектра мощности, дисперсионная карта (А) интерполированные графики с выраженным снижением значений когерентности доминирующей частоты в области электродов расположенных в сенсомоторной зоне. Обозначено вертикальными стрелками (Б). Комментарий в тексте



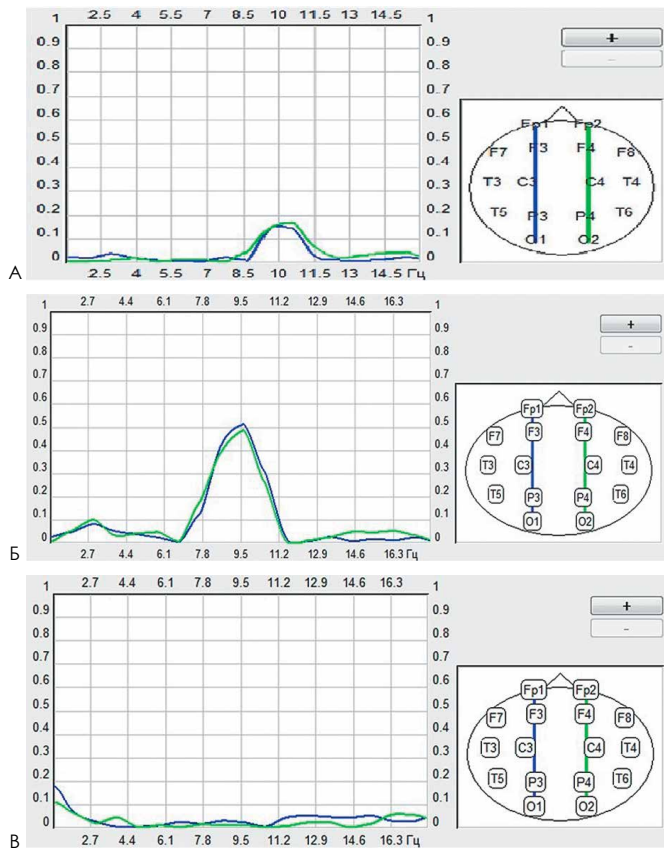


Рис. 10. Типовые графики когерентности доминирующей частоты альфа ритма в лобно-затылочных парах электродов (Fp1-O1 и Fp2-O2) в группах условно здоровых обследованных (А), у пациентов с повышенной тревожностью (Б) и при снижении когнитивных способностей (В). Комментарии в тексте

ских работ научных лабораторий и по степени установленной диагностической информативности просится в клиническую практику. Как свидетельствует изложенное выше, при осмысленном подходе его роль на этапе диагностического процесса окажется достаточно высока. Безусловно, когерентный анализ, как и любой другой вариант математической обработки биоэлектрических потенциалов мозга, не могут носить самостоятельный автономный характер. Клиническая трактовка осуществляется по совокупности оценочных критериев как визуальной картинке ЭЭГ, графиков спектра мощности и когерентности, а также пространственного распределения ритмики на дисперсионных картах.

Объем и качество количественной обработки ЭЭГ, к сожалению, не всегда зависят только от образованности врача функционалиста, но и от программного продукта разных производителей

компьютерных электроэнцефалографов, так как уровень математической обработки в них не всегда соответствует современным требованиям. Однако сегодня намечается положительная тенденция как со стороны пользователя (растет уровень понимания полезности цифровой ЭЭГ), так и со стороны производителей (происходит совершенствование компонентов программ в сторону адаптации их для клинической электроэнцефалографии).

Лекции, предложенные вниманию читателей, выполнены на базе возможностей программного комплекса МБН-Нейрокартограф, фирмы МБН (Москва).

**Список литературы / References:**

1. Будкевич А. В. Перспективы применения метода биоуправления в лечении тикозных гиперкинезов у детей. «Аутизм и нарушение развития» № 2, 2004. С. 29–32. Budkevich A. V. Prospects for the application of the biofeedback method in the treatment of tic hyperkineses in children. "Autism and Developmental Disabilities" No. 2, 2004. P. 29–32.
2. Будкевич А. В., Иванов Л. Б., Джанумова Г. М., Тарасова Г. Д. Особенности формирования межвисочной когерентности у детей, страдающих нейросенсорной тугоухостью. «Функциональная диагностика» № 1. М., 2009. С. 56–60. Budkevich A. V., Ivanov L. B., Dzhannumova G. M., Tarasova G. D. Features of the formation of intertemporal coherence in children suffering from sensorineural hearing loss. "Functional diagnostics" No. 1. M., 2009. S. 56–60.
3. Будкевич А. В., Иванов Л. Б., Джанумова Г. М., Тарасова Г. Д. Формирование межвисочной когерентности у детей, страдающих нейросенсорной тугоухостью. Материалы II всероссийской научно-практической конференции «Количественная ЭЭГ и нейротерапия». Санкт-Петербург 2009. С. 11–12. Budkevich A. V., Ivanov L. B., Dzhannumova G. M., Tarasova G. D. Formation of intertemporal coherence in children suffering from sensorineural hearing loss. Materials of the II All-Russian scientific-practical conference "Quantitative EEG and neurotherapy". St. Petersburg 2009. S. 11–12.
4. Иванов Л. Б. Прикладная компьютерная электроэнцефалография М. МБН. 2004. Ivanov L. B. Applied computer electroencephalography M. MBN. 2004.
5. Иванов Л. Б. Спектр мощности ЭЭГ: ошибки и практика применения (лекция вторая). Дисперсионный анализ ЭЭГ по Росману. СПб. Медицинский алфавит, 2022, № 9, 38–45. Ivanov L. B. EEG power spectrum: mistakes and application practice (lecture two). EEG analysis of variance according to Rosman. SFD. Medical Alphabet, 2022, No. 9, 38–45.
6. Иванов Л. Б. Психо-физиологическая трактовка ЭЭГ. в кн.: Электроэнцефалография. Под редакцией М. В. Александрова. 3-е издание. Перераб. и доп. СпецЛит. С-Петербург. 2020). Ivanov L. B. Psycho-physiological interpretation of the EEG. in: Electroencephalography. Edited by M. V. Alexandrova. 3rd edition. Revised and additional SpecLit. St. Petersburg, 2020).
7. Иванов Л. Б., Стрекалина Н. Н., Чулкова Н. Ю., Будкевич А. В. Варианты пространственного распределения альфа-активности в зависимости от формы аффективных расстройств. «Функциональная диагностика» № 1. М., 2009. С. 41–49. Ivanov L. B., Strekalina N. N., Chulkova N. Yu., Budkevich A. V. Variants of spatial distribution of alpha activity depending on the form of affective disorders. "Functional Diagnostics" No. 1. M., 2009. S. 41–49.
8. Пилина Г. С., Е. Д. Белоусова, А. В. Киселев, Н. А. Шнайдер. Динамика нейрофизиологических показателей при лечении методом адаптивной саморегуляции с использованием ЧСС-сигнала обратной связи у детей с синдромом дефицита внимания и гиперактивностью. Ж. Функциональная диагностика, 2006, № 1, 49–56. Piliina G. S., E. D. Belousova, A. V. Kiselev, N. A. Schneider. Dynamics of neurophysiological parameters during treatment by adaptive self-regulation using heart rate feedback signal in children with attention deficit hyperactivity disorder. Zh. Functional diagnostics, 2006, No. 1, 49–56.
9. Росман С. В., Шпак Л. В. Новые подходы к оценке полиморфизма альфа-ритма электроэнцефалограммы при психических заболеваниях. Псих. здоровье. 2013;2:39–44. Rosman S. V., Shpak L. V. New approaches to the evaluation of electroencephalogram alpha-rhythm polymorphism in mental illness. Psycho. health. 2013;2:39–44.

**Сведения об авторах**  
**Иванов Лев Борисович**, кандидат медицинских наук, врач высшей категории по функциональной диагностике, заведующий диагностического отделения. ORCID: 0000-0001-5954-1520  
**Будкевич Анна Викторовна**, кандидат медицинских наук, врач высшей категории по функциональной диагностике диагностического отделения. ORCID: 0009-0002-3624-5457  
 КДЦ при Детской городской клинической больницы № 9 имени Г. Н. Сперанского (Москва)  
**Автор для переписки:** Иванов Лев Борисович, email: ivanov40lb@gmail.com

**About authors:**  
**Ivanov Lev Borisovich**, candidate of medical sciences, doctor of the highest category in functional diagnostics, head of the diagnostic department. ORCID: 0000-0001-5954-1520  
**Budkevich Anna Viktorovna**, candidate of medical sciences, doctor of the highest category in functional diagnostics, head of diagnostic department. ORCID: 0009-0002-3624-5457  
 CDC at the Children's City Clinical Hospital No. 9 named after G. N. Speransky (Moscow)  
**Corresponding author:** Ivanov Lev Borisovich, email: ivanov40lb@gmail.com

Статья поступила / Received 01.08.2023  
 Получена после рецензирования / Revised 02.08.2023  
 Принята в печать / Accepted 02.08.2023

**Для цитирования:** Иванов. Л. Б., Будкевич А. В. Когерентный анализ в электроэнцефалографии. Опыт применения когерентного анализа в оценке расстройств ментальных функций человека в практической электроэнцефалографии (лекция третья). Медицинский алфавит. 2023;(22):20–28. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-20-28>

**For citation:** Ivanov. L. B., Budkevich A. V. Coherent analysis in electroencephalography. Experience in the use of coherent analysis in the assessment of disorders of human mental functions in practical electroencephalography (lecture three). Medical alphabet. 2023;(22):20–27. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-20-28>



# Методология электромиографии параспинальных мышц на поясничном уровне. Лекция

Е. Г. Селиверстова<sup>1</sup>, М. В. Синкин<sup>1,2</sup>, А. Ю. Кордонский<sup>1</sup>, А. А. Гринь<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н. В. Склифосовского Департамента здравоохранения города Москвы», г. Москва, Россия

<sup>2</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный медико-стоматологический университет имени А. И. Евдокимова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия

<sup>3</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Россия

## РЕЗЮМЕ

Электромиографию (ЭМГ) параспинальных мышц (ПМ) на поясничном уровне проводят с целью дифференциальной диагностики пояснично-крестцовой радикулопатии и других проксимальных повреждений периферических нервов, таких как поражение пояснично-крестцового сплетения или седалищного нерва. В нейрохирургии проведение ЭМГ поясничных ПМ позволяет уточнить уровень компримированного спинномозгового корешка при полирадикулярном поражении, вызванном дегенеративной болезнью позвоночника. В статье подробно описана методика проведения исследования, представлены факторы, ограничивающие применение ЭМГ ПМ в диагностике радикулопатии и определения анатомического уровня его компрессии.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** радикулопатия, электромиография, параспинальные мышцы, позвоночник, нейрофизиология.

## Methodology of electromyography of the lumbar paraspinal muscles

E. G. Seliverstova<sup>1</sup>, M. V. Sinkin<sup>1,2</sup>, A. Y. Kordonskiy<sup>1</sup>, A. A. Grin<sup>1,3</sup>

<sup>1</sup> N. V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Care, Moscow, Russia

<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation

<sup>3</sup> Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov Medical University)

## SUMMARY

Electromyography (EMG) of the lumbar paraspinal muscles (PM) is performed for differential diagnosis of lumbosacral radiculopathy and other proximal peripheral nerve injuries such as lumbosacral plexopathy or sciatic neuropathy. In neurosurgery, EMG of the lumbar PM can clarify the level of the compressed spinal nerve root in polyradiculopathy due to degenerative spinal disease. In this article we describe in detail the technique of the study, present the factors limiting the use of EMG in the diagnosis of radiculopathy and determination of its anatomical level.

**KEY WORDS:** radiculopathy, electromyography, paraspinal muscles, spine, neurophysiology.

## ВВЕДЕНИЕ

Электромиография (ЭМГ) — электрофизиологический метод исследования функционального состояния скелетных мышц, основанный на регистрации их биоэлектрической активности в покое и произвольном сокращении. В клинической практике для этого чаще всего для используют биполярный концентрический электрод, регистрирующий отдельные потенциалы двигательных единиц (ПДЕ), поэтому метод называют игольчатая миография или игольчатая ЭМГ. Методика позволяет выявить денервационные и реиннервационные изменения в мышце, косвенно указывающие на повреждение периферического нерва или его моторного корешка. При подозрении на радикулопатию, ЭМГ является основным нейрофизиологическим методом диагностики. Обычно проводят ЭМГ мышц конечностей, иннервируемых соответствующим корешком. При таком способе ЭМГ обладает уровнем доказательности II и рекомендации B [1]. Менее распространена ЭМГ параспинальных мышц (ПМ), которую используют в дополнение к ЭМГ миотомов конечностей. По данным литературы такая комбинация повышает чувствительность метода в диагностике радикулопатии до 100% [2].

Исследование проведения по нерву (ИПН) не информативно для диагностики корешкового повреждения, поскольку при сохранности более 50% аксонов (т.е. при нейропраксии) амплитуда М-волн и скорость моторного проведения будут оставаться в норме. Лишь при обширном повреждении аксонов и наличии моторного дефицита, можно выявить снижение амплитуды М-волны в мышцах, иннервируемых пораженным корешком соответствующего спинномозгового нерва [7]. При подозрении на радикулопатию основной целью ИПН является исключение других повреждений периферических нервов, имеющих сходную клиническую картину [8].

Ранее считали, что изменение параметров поздних ответов, к которым относят исследование F-волн и H-рефлекса, может указывать на корешковый уровень поражения. Однако, широкое внедрение методов нейровизуализации позволило доказать, что информативность этих методик для диагностики радикулопатии крайне низка [9].

Изменения, выявляемые при ЭМГ, зависят от срока проведения исследования от начала заболевания. Первым миографическим признаком после острого аксонального повреждения

моторного спинномозгового корешка будет снижение рекрутирования ПДЕ пропорционально объему его поражения. Через 2–3 недели появляется спонтанная активность, представленная потенциалами фибрилляции и положительными острыми волнами, и их количество является графическим отображением числа поврежденных двигательных аксонов. Первые электрографические признаки денервации регистрируют в мышцах, наиболее проксимально расположенных к месту повреждения. В случае радикулопатии такими мышцами являются параспинальные. В результате процесса реиннервации в течение последующих недель и месяцев меняются параметры ПДЕ: сначала увеличивается длительности и число фаз, а впоследствии отмечается нарастание амплитуды ПДЕ [3].

При миографии ПМ, исследованию биполярным игольчатым электродом доступны мышцы латерального и медиального трактов [4]. Латеральный тракт представлен мышцей, выпрямляющей позвоночник (*m. Erector spinae*), она заполняет на всем протяжении спины углубление по бокам от остистых отростков. Медиальный тракт представлен поперечно-остистой мышцей (*m. Transversospinalis*), пучки которой перекидываются через разное количество позвонков и формируют: полуостистую мышцу (*m. Semispinalis*), через 5–7 позвонков; многораздельные мышцы (*mm. Multifidi*), через 2–4 позвонка и мышцы-вращатели (*mm. Rotatores*), через 1–2 позвонка.

**M. erector spinae** получает иннервацию от задних ветвей спинномозговых нервов, сохраняющих свое сегментарное строение, которые идут в дорсо-каудальном направлении, между поперечными отростками позвонков, в последующем разделяясь на 2–3 конечные ветви, называемые латеральной, медиальной и промежуточной, а на уровне L5 имеются только две последние.

**Mm. Multifidi** получают моносегментарную иннервацию от медиальных ветвей моторных корешков спинномозговых нервов. Мышечные пучки, прикрепленные к остистому отростку L5 позвонка иннервируются исключительно медиальной порцией задней ветви спинномозгового нерва L5 [5]. Такая сегментарная иннервация позволяет точно локализовать уровень поражения с помощью ЭМГ [6].

Из-за этих особенностей анатомии исследование параспинальных мышц при радикулопатии S1 невозможно [15].

#### ИСТОРИЯ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ ПАРАСПИНАЛЬНЫХ МЫШЦ В ДИАГНОСТИКЕ РАДИКУЛОПАТИИ

Первое упоминание в литературе об использовании ЭМГ в диагностике радикулопатии относится к 1950 году. Paul A. Shea с соавт. проводили исследование при помощи монополярного игольчатого электрода, а референт представлял собой поверхностный электрод, который фиксировали на коже вблизи исследуемой мышцы. В скелетных мышцах, иннервируемых поврежденным спинномозговым корешком, были зарегистрированы потенциалы фибрилляций, указывающие на наличие денервационного процесса. В последующем данные ЭМГ сопоставляли с интраоперационной картиной. Из 75 случаев в 68 методика позволила точно локализовать и подтвердить наличие радикулярного поражения [10].

В 1966 году J. G. Gough и G. H. Коерке, основываясь на особенностях иннервации глубоких мышц спины, впервые провели ЭМГ ПМ для определения уровня повреждения моторного корешка [11].

Методология проведения ЭМГ ПМ изменялась с течением времени. Большинство исследователей были сосредоточены на обнаружении спонтанной активности как признака денервационного процесса и не оценивали такие параметры ПДЕ как амплитуда и длительность.

В 1961 году Bertil Knutsson сообщал о необходимости неоднократного введения игольчатого электрода в мышцу, до тех пор, пока не будут зарегистрированы потенциалы денервации. В случае отсутствия патологических изменений в 36 различных точках (положениях игольчатого электрода) можно было судить об отсутствии денервационных изменений. Для каждой мышцы использовали три разных электрода, и каждый электрод вводили в 4 разных местах и на 3 различные глубины [12].

В 1991 Andrew J Haig с соавт. в кадаверном исследовании продемонстрировали методику введения биполярных игольчатых электродов в ряд ПМ и оценили точность этой техники. Моносегментарная иннервация *m. Multifidus* предполагает, что специфическая сегментарная денервация может быть определена при точном размещении иглы конкретно в этой мышце. Многими исследователями было подтверждено, что предполагаемое место введения электрода находится на расстоянии 2,5 см от остистого отростка а биполярный игольчатый электрод следует располагать под углом 45° на глубину 3 см (рис. 3) [13, 14].

Два года спустя Andrew J Haig с соавт. предложили использование балльной системы при оценке изменений в ПМ на различных уровнях поясничного отдела позвоночника. Данная методика получила название «параспинальное картирование» [15]. В 1995 году авторы провели обследование лиц, не страдающих люмбагией. По результатам исследования было установлено, что в ПМ у здоровых спонтанная активность практически всегда отсутствует, что позволило использовать данный метод в случаях ложноположительных результатов рентгенологических исследований [16].

В настоящее время в литературе имеются неоднозначные данные относительно нормативных параметров ПДЕ, регистрируемых в ПМ. По нашему опыту параметры ПДЕ в здоровых ПМ в большей степени совпадают с данными Marco Tomasella с соавт., которые в качестве референсных параметров ПДЕ ПМ на уровне L5 принимали значения амплитуды 323–1377 мВ и длительности 5,7–14,8 мс [17].

Tina D. Jeppesen с соавт. установили, что, в отличие от мышц конечностей, в параспинальной мускулатуре нет возрастных различий в амплитудах или длительности ПДЕ, в том числе у пациентов с признаками жировой инфильтрации на магнитно-резонансной томографии (МРТ). Авторы отметили, что наблюдали увеличение амплитуд и длительностей ПДЕ от шейного отдела к каудальному, что, вероятно, указывает на различные размеры двигательной единицы в шейном отделе по сравнению с грудным и поясничным [18].

#### МЕТОДОЛОГИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИГОЛЬЧАТОЙ МИОГРАФИИ ПАРАСПИНАЛЬНЫХ МЫШЦ НА ПОЯСНИЧНОМ УРОВНЕ

Исследование выполняют в положении пациента лежа на животе. Также возможно его проведение на боку. В начале исследования рекомендуется провести так называемую «разметку», используя основные костные ориентиры (рис. 1А).

Пальпаторно определяют верхний край крыльев подвздошных костей, после чего проводят условную линию, соединяющую их.

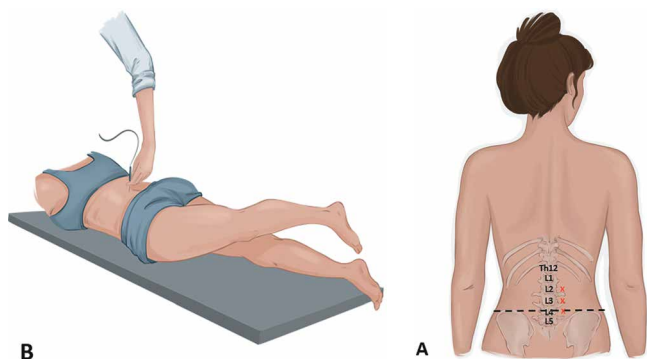


Рис.1 А. Определение места вкола биполярного игольчатого электрода, используя основные костные ориентиры. Пунктиром проведена линия, соединяющая верхний край крыльев подвздошных костей, соединяющая верхний край крыльев подвздошных костей, красными крестиками обозначены предполагаемые места вкола игольчатого электрода В. Активация параспинальных мышц подъемом ипсилатеральной ноги

Остистый отросток, пальпируемый на полученной линии, в большинстве случаев соответствует 4 поясничному позвонку (рис. 2). Далее необходимо определить 12 грудной позвонку, пальпируя нижний край реберной дуги. Ориентируясь на выступающие остистые отростки нижележащих позвонков выделяют первый, второй и третий поясничные позвонки. Остистый отросток пятого поясничного позвонка будет пальпироваться между четвертым поясничным и небольшой впадиной в области проекции пояснично-крестцового перехода.

После обработки кожи раствором антисептика биполярный игольчатый электрод вводят перпендикулярно волокнам много-раздельной мышцы (*m. multifidus*), на 2–3 см (два поперечных пальца) латеральнее остистого отростка позвонка под углом 30–45 градусов в медиальном направлении до момента, когда кончик электрода упрется в соединение между остистым и поперечными отростками тела позвонка, после чего электрод немного вытягивают в обратном направлении. Такое глубокое расположение электрода позволяет исследовать *m. multifidus*, имеющую моносегментарную иннервацию. В процессе исследования для набора необходимого количества ПДЕ электрод перемещают в ростральном и каудальном направлениях [19].

Активацию мышц проводят подъемом вытянутой прямой ноги на стороне исследования на расстояние 5–10 см от кушетки (рис. 2В).

#### ФАКТОРЫ, ОГРАНИЧИВАЮЩИЕ ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИИ ПАРАСПИНАЛЬНЫХ МЫШЦ В ДИАГНОСТИКЕ РАДИКУЛОПАТИИ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ АНАТОМИЧЕСКОГО УРОВНЯ ЕГО КОМПРЕССИИ

##### 1. Варианты развития позвонков

Пояснично-крестцовые переходные позвонки (ПКПП) являются распространенными вариантами развития позвоночника, встречаемость которых в популяции составляет 4–36% [20].

При наличии ПКПП либо пятый поясничный позвонок может демонстрировать ассимиляцию с крестцом (сакрализацию), либо первый крестцовый позвонок может частично или полностью отделяться от крестца и представлять собой дополнительный (шестой) поясничный позвонок (люмбализация) [21].

Наличие переходного позвонка увеличивает риск ранней дегенерации в вышележащем межпозвоночном диске, что объясняется его повышенной гипермобильностью [22]. В кадаверном исследовании

(n=70) Aihara T. с соавт. установили, что подвздошно-поясничные связки непосредственно над переходными позвонками были тоньше и слабее, чем у людей без переходных позвонков, что в свою очередь может приводить к нестабильности данного позвоночного сегмента [23].

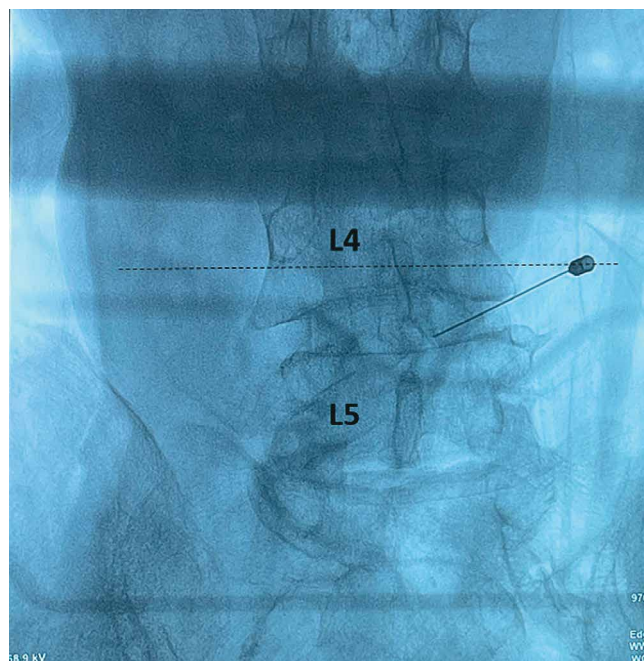
В 1980 году McCulloch и Waddel предположили, что корешок спинномозгового нерва L5 всегда берет начало в “последнем подвижном” сегменте позвоночника. Подвижность определялась полностью сформированным межпозвоночным пространством, наличием двусторонних фасеточных суставов и двумя свободными поперечными отростками, которые не имеют сочленений с крестцом или тазом. Это означало, что в случае сакрализованного позвонка L5 анатомический спинномозговой корешок L4 функционально соответствует корешку L5 [24, 25]. У пациентов с люмбализацией позвонка S1 последним полностью подвижным сегментом является L6-S2, а неврологические симптомы, вызванные компрессией шестого поясничного спинномозгового корешка, напоминают симптомы радикулопатии L5, а не S1 [26].

В 2010 году Hinterdorfer с соавт., используя интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, сравнили сегментарную иннервацию у пациентов с ПКПП. В исследовании предоставлены убедительные доказательства того, что шестой поясничный спинномозговой корешок эквивалентен корешку S1 у пациентов с люмбализацией. Кроме этого, он демонстрирует характеристики корешка S2 с тенденцией иннервировать двуглавую мышцу бедра [27].

##### 2. Варианты развития спинномозговых корешков.

Различные корешковые аномалии могут затруднять как клиническую, так и инструментальную оценку радикулопатии. Например, отсутствие корешка спинномозгового нерва в предполагаемом месте его выхода или наличие двух корешков, выходящих вместе из одной форамини, может вызвать неверную

Рис. 2. Положение биполярного игольчатого электрода при исследовании параспинальных мышц на уровне L4 справа, интраоперационный снимок, выполненный с помощью рентгенологической С-дуги (пациент лежит на животе). Пунктиром проведена линия на уровне остистого отростка L4 позвонка



интерпретацию результатов миографии и привести к ошибочному выбору уровня для нейрохирургического вмешательства [5].

### 3. Грубые дегенеративно-дистрофические изменения на верхне-поясничном уровне.

Компрессионная радикулопатия вследствие грыж МПД на уровне L1-L2 и L2-L3 встречается редко и составляет порядка 5% среди всех пояснично-крестцовых радикулопатий [28]. Учитывая анатомическую узость спинномозгового канала на этом уровне, клиническая картина может представлять сочетанное поражение нескольких СМК или мозгового конуса. При проведении ЭМГ у пациентов с длительной компрессионной верхнепоясничной радикулопатией денервационно-реиннервационные изменения могут быть выявлены в нескольких миотомах, как правило, с L2 по S1: наблюдают грубую нейрогенную перестройку ПДЕ и интерференционного паттерна, а спонтанную активность в большинстве случаев уже не регистрируют. Преобладание процесса реиннервации в данном случае обусловлено длительно текущей дегенеративно-дистрофической болезнью позвоночника, сопровождающейся хронической ишемией корешков спинномозговых нервов.

В случае грубых дегенеративных изменений на верхнепоясничном уровне (L1-L2, L2-L3 и L3-L4) может развиваться компрессия нижележащих корешков L5 и S1, которая нередко бывает двусторонней [29]. Например, односторонняя радикулопатия L5 может быть вызвана секвестрированной грыжей межпозвонкового диска L1-L2 в случае миграции секвестра [30]. В этом случае признаки денервационно-реиннервационного процесса по данным ЭМГ будут выявлять в нескольких миотомах, а более грубые изменения будут регистрировать в миотомах L5 и S1.

### 4. Конституциональные особенности пациента.

При чрезмерном развитии подкожно-жировой клетчатки (толщина слоя более 5 см) исследование глубокого слоя *m. multifidus* может быть невозможно, поскольку максимальная длина биполярного игольчатого электрода 7,5 см (рис. 3).

#### Осложнения при проведении исследования

Предполагаемыми осложнениями при проведении ЭМГ ПМ могут явиться кровотечение и формирование параспинальных гематом, частота которых, однако очень низка [31]. Gertken JT с соавт., исследовав 432 снимка МРТ пациентов, сообщили об отсутствии гематом в паравертебральной мускулатуре после проведения исследования [32]. Также не было выявлено зависимости возникновения осложнений от приема антикоагулянтов и антиагрегантов [33, 34].

В своей практике мы не сталкивались ни с одним из описанных осложнений.

#### Обсуждение

Наибольшая потребность исследования параспинальных мышц на поясничном уровне возникает у пациентов с подозрением на компрессию корешка спинномозгового нерва. Не смотря на то, что диагноз радикулопатии является клинико-радиологическим и не требует обязательного проведения электродиагностики, в случае несоответствия данных неврологического осмотра и результатов нейровизуализации следует использовать нейрофизиологические методы исследования для верификации диагноза [35].

Традиционная дифференциальная электродиагностика поражения корешков спинномозговых нервов L2, L3, L4, основанная

на ЭМГ мышц нижних конечностей может вызывать некоторые затруднения. Прямая, латеральная и медиальная мышцы бедра в большинстве случаев поражаются одинаково при радикулопатии любого из корешков L2, L3, L4. Единственной мышцей, иннервируемой корешками L2-L4, но запираемым нервом, является длинная приводящая мышца бедра. ЭМГ *m. adductor magnus* играет большую роль в дифференциальной диагностике поражения бедренного нерва и радикулопатии L2-L4, однако не позволяет дифференцировать какой из поясничных корешков спинномозговых нервов L2, L3 или L4 поврежден. При полирадикулярном поражении или наличии возможных условий для компрессии более, чем одного спинномозгового корешка по данным МРТ (рис. 4) наиболее информативным оказывается

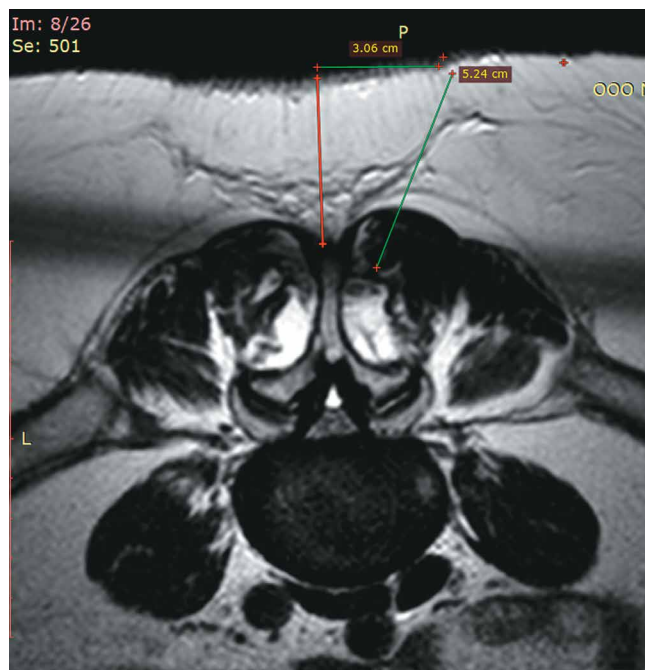


Рис. 3 МРТ (аксиальный срез) пациентки П., 40 лет, грыжа МПД L4-L5. Толщина подкожно-жировой клетчатки составляет 50,2 мм (при введении игольчатого электрода под углом 30–45°)

проведение ЭМГ ПМ. В случае острой радикулопатии в ПМ на уровне компримированного корешка регистрируют потенциалы фибрилляций и положительные острые волны, свидетельствующие о текущем денервационном процессе. При хроническом течении радикулопатии выявляют признаки реиннервационного процесса в виде увеличения амплитуды и длительности ПДЕ (нейрогенная перестройка), разрежения интерференционного паттерна.

Нейрофизиологическая диагностика повреждения L5 отличается возможностью исследования проксимальной мышцы конечности — напрягатель широкой фасции бедра (*m. tensor fasciae latae*), обусловленной высокой её чувствительностью при радикулопатии L5, достигающей по данным литературы 100% [36]. Получая иннервацию из верхнего ягодичного нерва, эта мышца остается интактной в случае повреждения седалищного нерва. Исследование ПМ на уровне L5 будет наиболее востребовано в случае необходимости проведения дифференциальной диагностики с повреждением пояснично-крестцового сплетения

или при полирадикулярном поражении вследствие спинального стеноза.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

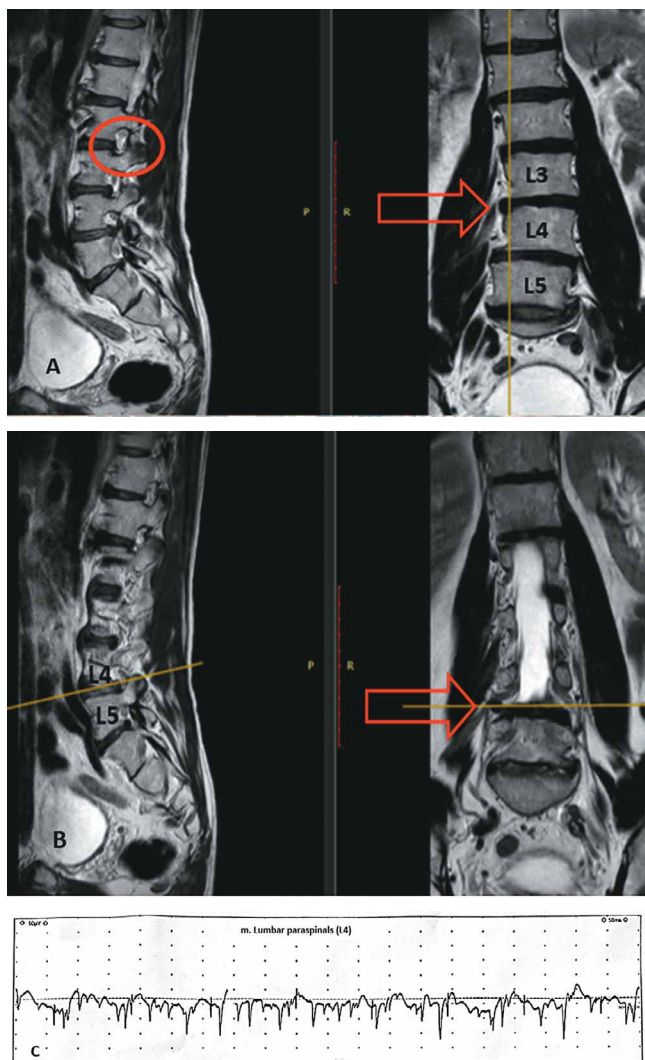
ЭМГ ПМ является легко выполнимым, безопасным и информативным нейрофизиологическим методом диагностики для подтверждения радикулопатии на поясничном уровне. Методика позволяет уточнить уровень радикулярного поражения при планировании микрохирургической декомпрессии спинномозгового корешка.

*Финансирование работы. Исследование проведено без спонсорской поддержки.*

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

*Вклад авторов в публикацию. Селиверстова Е. Г. — сбор и анализ полученных данных, концепция статьи, написание тек-*

Рис. 4 МРТ пациента А. 54 лет с болевым синдромом в области правого бедра и слабостью правого квадрицепса (А). По данным МРТ (T2 режим, сагитальный и фронтальный срезы) выявлены экстрафораминальные грыжи межпозвоночных дисков L3-L4 (А) и L4-L5 (В), красными стрелками отмечены места возможного диско-радикулярного конфликта. С спонтанная активность в параспинальных мышцах на уровне L4 справа (длительность заболевания 2 недели)



*ста рукописи, оформление рукописи; Синкин М. В. — концепция статьи, проверка интеллектуального содержания статьи; Кордонский А. Ю. — концепция статьи, проверка интеллектуального содержания статьи; Гринь А. А. — концепция статьи, проверка интеллектуального содержания статьи.*

#### Список литературы / References:

1. Cho SC, Ferrante MA, Levin KH, Harmon RL, So YT. Utility of electrodiagnostic testing in evaluating patients with lumbosacral radiculopathy: An evidence-based review. *Muscle Nerve*. 2010;42(2):276–282. <https://doi.org/10.1002/mus.21759>
2. Dillingham TR, Annaswamy TM, Plataras CT. Evaluation of persons with suspected lumbosacral and cervical radiculopathy: Electrodiagnostic assessment and implications for treatment and outcomes (Part I). *Muscle Nerve*. 2020;62(4):462–473. <https://doi.org/10.1002/mus.26997>
3. Johnson EW, Melvin JL. Value of electromyography in lumbar radiculopathy. *Arch Phys Med Rehabil*. 1971;52(6):239–243.
4. Селиверстова Е. Г., Войтенков В. Б., Команцев В. Н., Синкин М. В., Гринь А. А. Инструментальные методы оценки состояния паравертебральных поясничных мышц у пациентов с пояснично-крестцовой радикулопатией и неспецифической скелетно-мышечной болью. *Российский неврологический журнал*. 2023;28(2):73–82. <https://doi.org/10.30629/2658-7947-2023-28-2-73-82>
5. Frank LW, Schneider DS, Zuhosky JP. Anatomic and technical considerations in needle electromyography of the lumbar spine. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 1998;9(4):795–814. vi–vii.
6. Stein J, Baker E, Pine ZM. Medial paraspinal muscle electromyography: techniques of examination. *Arch Phys Med Rehabil*. 1993;74(5):497–500. [https://doi.org/10.1016/0003-9993\(93\)90113-0](https://doi.org/10.1016/0003-9993(93)90113-0)
7. Chaudhry V, Comblath DR. Wallerian degeneration in human nerves: serial electrophysiological studies. *Muscle Nerve*. 1992;15(6):687–693. <https://doi.org/10.1002/mus.880150610>
8. Никитин С. С., Супонева Н. А., Касаткина Л. Ф., Гришина Д. А., Щербакова Н. И., Савицкая Н. Г. Современные возможности электромиографии в диагностике заболеваний периферического нейромоторного аппарата. В кн.: Пирадов М. А., Илариошкин С. Н., Танащян М. М. (ред.). *Неврология XXI века: диагностические, лечебные и исследовательские технологии: Руководство для врачей*. Москва: АТМО; 2015. Т. 1. С. 237–252.
9. Lin CH, Tsai YH, Chang CH, Chen CM, Hsu HC, Wu CY, Hong CZ. The comparison of multiple F-wave variable studies and magnetic resonance imaging examinations in the assessment of cervical radiculopathy. *Am J Phys Med Rehabil*. 2013;92(9):737–745. <https://doi.org/10.1097/PHM.0b013e31827d6546>
10. Shea PA, Woods WW, Werden DH. Electromyography in diagnosis of nerve root compression syndrome. *Arch Neurol Psychiatry*. 1950;64(1):93–104. <https://doi.org/10.1001/archneurpsyc.1950.02310250099009>
11. Gough JG, Koepke GH. Electromyographic determination of motor root levels in erector spinae muscles. *Arch Phys Med Rehabil*. 1966;47(1):9–11.
12. Knutsson B. Comparative value of electromyographic, myelographic and clinical-neurological examinations in diagnosis of lumbar root compression syndrome. *Acta Orthop Scand Suppl*. 1961;49:1–135.
13. Haig AJ, Moffroid M, Henry S, Haugh L, Pope M. A technique for needle localization in paraspinal muscles with cadaveric confirmation. *Muscle Nerve*. 1991;14(6):521–526. <https://doi.org/10.1002/mus.880140606>
14. Assis RO, Souza R, Araujo R. Study on placing electromyography electrodes on lumbar multifidus muscles. *J Morphol Sci*. 2011;28(1):46–51.
15. Haig AJ, Talley C, Grobler LJ, LeBreck DB. Paraspinal mapping: quantified needle electromyography in lumbar radiculopathy. *Muscle Nerve*. 1993;16(5):477–484. <https://doi.org/10.1002/mus.880160508>
16. Haig AJ, LeBreck DB, Powley SG. Paraspinal mapping. Quantified needle electromyography of the paraspinal muscles in persons without low back pain. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1995;20(6):715–721.
17. Tomasella M, Crielaard J-M, Wang F-C. [Dorsal and lumbar paraspinal electromyographic study. Multi-MUP analysis and drawing up normal values in a reference population]. *Neurophysiol Clin Clin Neurophysiol*. 2002;32(2):109–117. [https://doi.org/10.1016/s0987-7053\(02\)00295-2](https://doi.org/10.1016/s0987-7053(02)00295-2)
18. Jeppesen TD, Levison L, Codeluppi L, Krarup C. Quantitative electromyography: Normative data in paraspinal muscles. *Muscle Nerve*. 2020;62(3):358–362. <https://doi.org/10.1002/mus.27000>
19. Barkhaus PE. *Electronic Myoanatomic Atlas for Clinical*

- Electromyography. USA, NY: CASA; 1997. Available from: <https://www.siumed.edu/sites/default/files/2021-11/Muscle%20Anatomy%20for%20EMG.pdf>
20. Crane J, Cragon R, O'Neill J, Berger AA, Kassem H, Sherman WF, Paladini A, Varrassi G, Odisho AS, Miriyala S, Kaye AD. A Comprehensive Update of the Treatment and Management of Bertolotti's Syndrome: A Best Practices Review. *Orthop Rev (Pavia)*. 2021;13(2):24980. <https://doi.org/10.52965/001c.24980> eCollection 2021.
  21. Hughes RJ, Saifuddin A. Imaging of lumbosacral transitional vertebrae. *Clin Radiol*. 2004;59(11):984–991. <https://doi.org/10.1016/j.crad.2004.02.019>
  22. Vergauwen S, Parizel PM, van Breusegem L, Van Goethem JW, Nackaerts Y, Van den Hauwe L, De Schepper AM. Distribution and incidence of degenerative spine changes in patients with a lumbosacral transitional vertebra. *Eur Spine J*. 1997;6(3):168–172. <https://doi.org/10.1007/BF01301431>
  23. Aihara T, Takahashi K, Ogasawara A, Itadera E, Ono Y, Moriya H. Intervertebral disc degeneration associated with lumbosacral transitional vertebrae: a clinical and anatomical study. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(5):687–691. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.87B5.15727>
  24. McCulloch JA, Waddell G. Variation of the lumbosacral myotomes with bony segmental anomalies. *J Bone Joint Surg Br*. 1980;62-B(4):475–480. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.62B4.7430228>
  25. Kim YH, Lee PB, Lee CJ, Lee SC, Kim YC, Huh J. Dermatome variation of lumbosacral nerve roots in patients with transitional lumbosacral vertebrae. *Anesth Analg*. 2008;106(4):1279–1283. <https://doi.org/10.1213/ane.0b013e318181605635>
  26. Chang HS, Nakagawa H. Altered function of lumbar nerve roots in patients with transitional lumbosacral vertebrae. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004;29(15):1632–1635. <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000132319.43140.d3>
  27. Hinterdorfer P, Parsaei B, Stieglbauer K, Sonnberger M, Fischer J, Wurm G. Segmental innervation in lumbosacral transitional vertebrae (LSTV): a comparative clinical and intraoperative EMG study. *J Neurol Neurosurg Psychiatry*. 2010;81(7):734–741. <https://doi.org/10.1136/jnnp.2009.187633>
  28. Tarulli AW, Raynor EM. Lumbosacral radiculopathy. *Neurol Clin*. 2007;25(2):387–405. <https://doi.org/10.1016/j.ncl.2007.01.008>
  29. Park JH, Chung SG, Kim K. Electrodiagnostic characteristics of upper lumbar stenosis: Discrepancy between neurological and structural levels. *Muscle Nerve*. 2020;61(5):580–586. <https://doi.org/10.1002/mus.26844>
  30. Shirado O, Matsukawa S, Kaneda K. Herniation of the disc between the first and second lumbar vertebrae with a monoradiculopathy of the fifth lumbar nerve root. *J Bone Joint Surg Am*. 1996;78(9):1422–1426. <https://doi.org/10.2106/00004623-199609000-00022>
  31. London Z, Quint DJ, Haig AJ, Yamakawa KS. The risk of hematoma following extensive electromyography of the lumbar paraspinal muscles. *Muscle Nerve*. 2012;46(1):26–30. <https://doi.org/10.1002/mus.23288>
  32. Gertken JT, Hunt CH, China NI, Morris JM, Sorenson EJ, Boon AJ. Risk of hematoma following needle electromyography of the paraspinal muscles. *Muscle Nerve*. 2011;44(3):439–440. <https://doi.org/10.1002/mus.22138>
  33. Lynch SL, Boon AJ, Smith J, Harper CM Jr, Tanaka EM. Complications of needle electromyography: hematoma risk and correlation with anticoagulation and antiplatelet therapy. *Muscle Nerve*. 2008;38(4):1225–1230. <https://doi.org/10.1002/mus.21111>
  34. Boon AJ, Gertken JT, Watson JC, Laughlin RS, Strommen JA, Mauermann ML, Sorenson EJ. Hematoma risk after needle electromyography. *Muscle Nerve*. 2012;45(1):9–12. <https://doi.org/10.1002/mus.22227>
  35. Barr K. Electrodiagnosis of lumbar radiculopathy. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2013;24(1):79–91. <https://doi.org/10.1016/j.pmr.2012.08.011>
  36. Burakgazi AZ, Kelly JJ, Richardson P. The electrodiagnostic sensitivity of proximal lower extremity muscles in the diagnosis of L5 radiculopathy. *Muscle Nerve*. 2012;45(6):891–893. <https://doi.org/10.1002/mus.23361>

#### Сведения об авторах

**Селиверстова Екатерина Геннадьевна** — врач функциональной диагностики, невролог, м.н.с. отделения неотложной нейрохирургии<sup>1</sup>. ORCID 0000-0001-9652-1457

**Синкин Михаил Владимирович** — д.м.н., ведущий научный сотрудник отделения неотложной нейрохирургии, руководитель группы клинической нейрофизиологии<sup>1</sup>, заведующий лабораторией инвазивных нейроинтерфейсов НИИ ТехноБиоМед<sup>2</sup>. ORCID 0000-0001-5026-0060

**Кордонский Антон Юрьевич** — к.м.н., нейрохирург, старший научный сотрудник отделения неотложной нейрохирургии<sup>1</sup>. ORCID 0000-0001-5344-3970

**Гринь Андрей Анатольевич** — член-корреспондент РАН, д.м.н., заведующий научным отд. неотложной нейрохирургии<sup>1</sup>, профессор кафедры фундаментальной нейрохирургии<sup>3</sup>. ORCID 0000-0003-3515-8329

<sup>1</sup> ГБУЗ «НИИ скорой помощи им. Н. В. Склифосовского ДЗМ», Москва, Россия

<sup>2</sup> ФГБУ «Московский государственный медико-стоматологический университет им. А. И. Евдокимова»

<sup>3</sup> Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

#### Автор для переписки:

Селиверстова Екатерина Геннадьевна, e.seliverstova.md@gmail.com

#### About authors

**Ekaterina G. Seliverstova** – MD, neurophysiologist of the Clinical Neurophysiology Laboratory of the Emergency Neurosurgery Department N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine<sup>1</sup>. ORCID 0000-0001-9652-1457

**Mikhail V. Sinkin** — head of the Clinical Neurophysiology Laboratory of the Emergency Neurosurgery Department; N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, head of Laboratory of invasive neurointerfaces of the research institute TechnoBioMed. ORCID 0000-0001-5026-0060

**Anton Y. Kordonskiy** — PhD, neurosurgeon, senior researcher of the Emergency Neurosurgery Department; N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine. ORCID 0000-0001-5344-3970

**Andrey A. Grin** — Head of scientific department of the emergency neurosurgery, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine, professor of department of fundamental neurosurgery of the Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow. Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, doctor of medicine science. ORCID 0000-0003-3515-8329

<sup>1</sup> N.V. Sklifosovsky Research Institute of Emergency Care, Moscow, Russia  
<sup>2</sup> Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “A. I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry” of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation.

<sup>3</sup> Pirogov Russian National Research Medical University (Pirogov Medical University)

#### Corresponding author:

Ekaterina G. Seliverstova, e.seliverstova.md@gmail.com

Статья поступила / Received 02.08.2023  
 Получена после рецензирования / Revised 29.08.2023  
 Принята в печать / Accepted 29.08.2023

**Для цитирования:** Селиверстова Е. Г., Синкин М. В., Кордонский А. Ю., Гринь А. А. Методология электромиографии параспинальных мышц на поясничном уровне. *Лекция. Медицинский алфавит*. 2023;(22):29–34. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-29-34>

**For citation:** Seliverstova E. G., Sinkin M. V., Kordonskiy A. Y., Grin A. A. Methodology of electromyography of the lumbar paraspinal muscles. *Medical alphabet*. 2023;(22):29–34. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-29-34>



# Электрокардиограмма на вдохе: физиологические механизмы и диагностические возможности пробы

В. С. Баркан<sup>1</sup>, Д. В. Дроздов<sup>2</sup>, Г. Д. Резветсов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина», Чита

<sup>2</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. ак. Е. И. Чазова» Минздрава РФ, Москва

<sup>3</sup> ФГБУ «52 консультативно-диагностический центр» Министерства обороны РФ, Москва

## РЕЗЮМЕ

Статья отражает современные представления о влиянии глубокого вдоха и задержки дыхания на работу сердца и отражение этих процессов в ЭКГ. Описаны позиционные изменения зубцов Q, прежде всего в отведениях III и aVF и их возможные отличия от патологических зубцов Q. Рассмотрены рефлекторные и гуморальные влияния глубокого вдоха и задержки дыхания на деятельность сердца. Приведены примеры редко возникающих во время задержки дыхания на вдохе нарушений ритма и проводимости. Описан рекомендуемый вариант реализации пробы ЭКГ на вдохе с использованием компьютерных ЭКГ систем, реализующий непрерывную запись ЭКГ на свободном дыхании, во время вдоха и на задержке дыхания. Этот вариант пробы не изменяет трудоемкости и времени выполнения регистрации ЭКГ.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** электрокардиограмма, ЭКГ, проба ЭКГ на вдохе, рефлекс Бейнбриджа, натрийуретические пептиды, проба Вальсальвы.

## Deep inspiration electrocardiogram test: physiologic mechanisms and diagnostic capabilities

V. S. Barkan<sup>1</sup>, D. V. Drozdov<sup>2</sup>, G. G. Rezvetsov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Clinical Hospital «RZD-Medicine», Chita, Russian Federation

<sup>2</sup> National medical research center for cardiology named after Academician E. Chazov, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Federal State Budgetary Establishment Ministry of Defense of the Russian Federation "52 the Advisory and Diagnostic Center"

## SUMMARY

The article reflects modern concepts about the effect of deep inspiration and breath holding on the heart functioning and the reflection of these processes at ECGs. Positional changes of Q waves, primarily in leads III and aVF, and their possible differences from pathological Q waves are described. Reflex and humoral effects of deep inspiration and breath holding on heart functions such as contractility, automatism and conductivity are considered. Examples of rhythm and conduction disturbances that rarely occur during breath holding are illustrated on ECGs. A recommended variant of the implementation of the deep inspiration ECG test using computer ECG systems is described, which implements continuous ECG recording on free breathing, during inspiration and while holding the breath. This version of the test does not change the operators' complexity and time of ECG registration.

**KEYWORDS:** electrocardiogram, ECG, deep inspiration ECG test, Bainbridge reflex, natriuretic peptides, Valsalva test.

Вопрос целесообразности регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) на высоте вдоха до сих пор является предметом обсуждения, что делает актуальным обзор физиологических механизмов влияния вдоха на деятельность сердца и диагностических возможностей регистрации ЭКГ на вдохе. Настоящая публикация охватывает вопросы терминологии и разграничения различных вариантов регистрации ЭКГ на вдохе, описывает физиологические механизмы влияния вдоха на работу сердечно-сосудистой системы и их отражение на ЭКГ. Также предлагается вариант непрерывной регистрации ЭКГ на вдохе в современных компьютерных ЭКГ системах в отличие от регистрации двух фрагментов ЭКГ электрокардиографами с прямым выводом сигналов на бумагу.

## Терминология

Проба ЭКГ на вдохе (ЭКГвд) предполагает регистрацию ЭКГ на задержке дыхания без приложения дополнительных усилий или натуживания. В этом ее принципиальное отличие от маневра

Вальсальвы, когда выполняется не просто задержка дыхания, но за счет усилий дыхательной мускулатуры поддерживается дополнительное давление в ротовой полости (как правило, 40 мм рт. ст.) в течение 15–20 с при закрытых дыхательных путях.

*Проба ЭКГвд предполагает три этапа:*

1. Регистрация ЭКГ во время спокойного дыхания в положении лежа на спине;
2. Глубокий *нефорсированный* вдох до уровня 50–80% емкости вдоха (без аппаратного контроля глубины вдоха и часто без регистрации ЭКГ в этот период);
3. Задержка дыхания на вдохе в течение не менее 5 с, в течение которых производится регистрация ЭКГ.

По завершении пробы производится сравнение ЭКГ в начале регистрации, т. е. на свободном дыхании пациента, с ЭКГ на высоте вдоха. Сравнение производится, как правило, визуально, а в электрокардиографическом заключении изменения ЭКГ фиксируются описательно.

<sup>1</sup> В англоязычной литературе данный вариант маневра Вальсальвы часто называют тестом Флэка (M. Flack Tests for flying efficiency and flying strain. Br Med Res Council Rep 53:93, 1920). Прим. авт.

### ЭФФЕКТЫ ГЛУБОКОГО ВДОХА И ИХ ОТРАЖЕНИЕ НА ЭКГ

Основные физиологические эффекты глубокого вдоха перечислены ниже:

1. Опускание диафрагмы и поворот сердца в грудной полости вокруг сагиттальной оси с занятием сердцем более вертикального положения, что находит отражение на ЭКГ в виде т. н. «позиционных изменений»;
2. Снижение внутригрудного давления, снижение центрального венозного давления и повышение венозного возврата к сердцу, что вызывает увеличение частоты и силы сокращений сердца по механизму рефлекса Бейнбриджа;
3. Изменение баланса симпатических и парасимпатических влияний, реализующиеся активацией баро- и хеморецепторов предсердий, сосудов, легких, плевры, которые в свою очередь вызывают физиологические эффекты, находящие отражение на ЭКГ.

В совокупности у здорового человека при пробе ЭКГвд могут наблюдаться:

- Увеличение ЧСС относительно ЧСС при спокойном дыхании;
- Снижение амплитуды зубца R в I отведении (для обозначения отведений далее будем использовать нижний индекс его названия — RI);
- Увеличение амплитуды зубца RIII;
- Снижение амплитуды зубца SIII или QIII вплоть до их полного исчезновения.

### ПОЗИЦИОННЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЭКГ НА ВДОХЕ

Как упомянуто выше, при достаточно глубоком, но не максимально полном, вдохе происходит опускание диафрагмы, но при этом реберные дуги поднимаются относительно незначительно. Это приводит к повороту сердца вокруг сагиттальной оси с занятием относительно более вертикального положения. (рис. 1). При дальнейшем вдохе происходит подъем реберных дуг, что приводит к расширению грудной клетки, влияние которого на положение сердца и ЭКГ картину, по-видимому, специально не изучалось.

В отечественных монографиях, посвященных электрокардиографии, часто и достаточно давно, по крайней мере, с 1980-х гг., встречается утверждение, что «„позиционный“ зубец Q, как правило, значительно уменьшается или исчезает при регистрации ЭКГ на высоте вдоха» (см. напр. [1]) Установить первоисточник и приемлемые с точки зрения доказательной медицины обоснования данного утверждения авторам статьи не удалось.

В зарубежной литературе, вероятно, наиболее раннее упоминание о позиционных изменениях зубца QIII при глубоком вдохе имеется в статье [2], опубликованной еще в 1944 г. Вероятно, по авторству этой статьи, до настоящего времени в литературе на английском языке для описания задержки дыхания на вдохе при регистрации ЭКГ встречается термин «маневр Лайль» (A. Lyle). В статье A. Lyle приведены наблюдения, что зубец QIII заметно уменьшается или исчезает у здоровых лиц, но сохраняется у пациентов с нижним инфарктом миокарда (ИМ), на фоне глубокого, но не максимального вдоха. Сама Лайл, представляя эти наблюдения, отмечала: «мы не смогли собрать достаточно случаев, чтобы доказать

что-либо статистически, но мы считаем, что показанные наблюдения иллюстрируют определенный фундаментальный принцип».

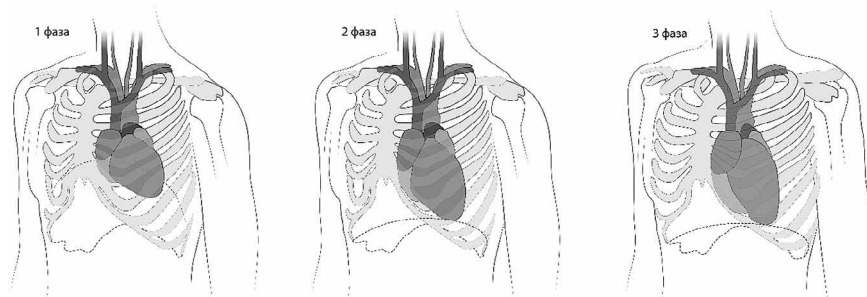
Критики (например, [3]) диагностической ценности пробы ЭКГвд часто цитируют несколько исследований, не показавших достаточной чувствительности и специфичности этой пробы. В работе [4] сопоставлены изменения  $Q_{III}$  у 33 пациентов с нижним ИМ и у 22 здоровых добровольцев. Уменьшение зубца  $Q_{III}$  на вдохе наблюдалось у 61% с нижним ИМ и только у 12% здоровых добровольцев. В другом исследовании [5] среди 48 пациентов с нижним ИМ у 20% наблюдалось уменьшение или исчезновение  $Q_{III}$  на фоне задержки дыхания на вдохе. Сходные неоднозначные для трактовки пробы ЭКГвд результаты наблюдались [6] при обследовании 31 пациента с нижним ИМ, в котором было выявлена зависимость не только амплитуды, но и продолжительности зубца  $Q_{III}$  от фазы дыхания.

Вместе с тем, имеются литературные данные о достаточно высокой диагностической ценности сохранения «нижних патологических зубцов  $Q_{III}$  при ЭКГвд для выявления «немного» инфаркта миокарда. Исследование [7] охватило 50 последовательных пациентов (27 мужчин, ср. возраст  $68 \pm 10$  лет) с наличием  $Q_{III}$  на ЭКГ покоя и отсутствием ИМ в анамнезе. Лишь у 10 из 50 пациентов  $Q_{III}$  сохранялись на вдохе. Всем пациентам была выполнена магниторезонансная томография (МРТ), на основании которой признаки перенесенного нижнего ИМ были выявлены у 10 пациентов, а также трансторакальное ультразвуковое исследование (УЗИ) сердца. Среди 10 пациентов с признаками нижнего ИМ по данным МРТ у 8 наблюдались  $QT_{III}$  на вдохе, в то время как локальные нарушения сократимости по данным УЗИ лишь в 5 случаях. Авторы делают вывод, что ЭКГвд более чувствительный и специфичный метод для верификации ИМ, чем трансторакальное УЗИ. Неоднозначность трактовки  $Q_{III}$  во время ЭКГвд отмечается и в ряде других публикаций (обзор в [8]), выполненных в основном в формате наблюдательных исследований.

В качестве иллюстраций изменений  $Q_{III}$  на вдохе приводим наблюдение у мужчины 42 лет с сахарным диабетом 2 типа, выраженной синусовой аритмией и изменением на вдохе горизонтальной электрической оси сердца на нормальную, сопровождающимся практически полным исчезновением  $Q_{III}$ . По данным ультразвукового исследования (УЗИ) сердца признаков нарушения локальной сократимости миокарда не выявлено, таким образом, зубец  $Q_{III}$  — позиционный. Признаки синусовой аритмии на вдохе нивелируются (рис. 2).

Изменение положения электрической оси сердца (ЭОС) в процессе ЭКГвд может отражаться не только в динамике  $Q_{III}$ , но и в динамике  $S_{III}$ . Это демонстрирует наблюдение (рис. 3)

Рисунок 1. Изменение положения сердца в грудной клетке на выдохе (1 фаза), при глубоком вдохе (2 фаза) и при максимальном вдохе (3 фаза). Дополнительные пояснения в тексте



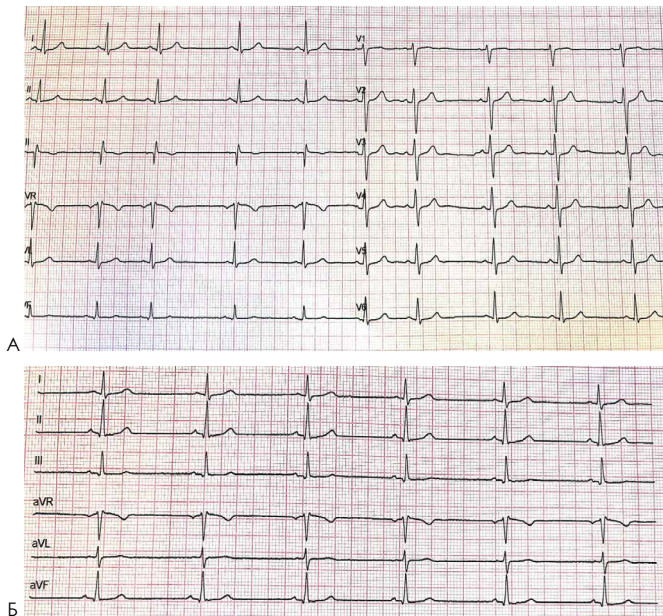


Рисунок 2. ЭКГ пациента на свободном дыхании (А) и вдохе (Б). Пояснения в тексте

пациентки 28 лет, без жалоб и заболеваний сердечно-сосудистой системы в анамнезе. Визуализируются выраженные зубцы  $S_{III}$ . На ЭКГ вд они значительно уменьшаются с 1 по 4 желудочковый комплексы и к 5 пропадают. ЭОС меняется из горизонтальной на нормальную. Кроме того, обращает на себя внимание, что зубцы Т на вдохе в переднебоковых отведениях уплощаются.

В контексте обсуждения позиционных изменений ЭКГ на высоте глубокого вдоха целесообразно обсудить возможность его влияния не только на ЭОС, но и на электрические оси зубцов Р и Т. Такие изменения вполне возможны, поскольку сердце при задержке дыхания на вдохе ротируется относительно осей ЭКГ отведений целиком. Специальных исследований на эту тему обнаружить не удалось.

В работе [9] были сделаны наблюдения об оси зубца Т и фронтальном угле QRS-T ( $FA_{QRS-T}$ ) при глубоком вдохе. 50 пациентам без фибрилляции предсердий, блокад ножек пучка Гиса и без кардиостимуляторов, были зарегистрированы ЭКГ в покое и ЭКГ вд. Определений положения осей QRS и зубца Т проводилось автоматически (к сожалению, в статье нет данных об использованном оборудовании или программном обеспечении).  $FA_{QRS-T}$  рассчитывался как модуль разницы между осью QRS и осью зубца Т во фронтальной плоскости, если разница превышала  $180^\circ$ , то проводилось приведение угла к минимальному по формуле ( $360 - FA_{QRS-T}$ ). Изменение фронтального угла QRS-T рассчитывалось по формуле ( $FA_{QRS-T}$  при глубоком вдохе —  $FA_{QRS-T}$  в состоянии покоя). В покое ось QRS и ось зубца Т составляли соответственно  $20,9^\circ \pm 30,0^\circ$  и  $40,9^\circ \pm 36,1^\circ$ .  $FA_{QRS-T}$  составлял  $35,9^\circ \pm 36,1^\circ$ . Глубокий вдох вызывал смещение оси QRS вправо ( $42,3^\circ \pm 29,5^\circ$ ,  $p < 0,001$ ) и оси Т-волны вправо ( $49,5^\circ \pm 39,7^\circ$ ,  $p < 0,001$ ). Однако, глубокий вдох не влиял на  $FA_{QRS-T}$  ( $33,9^\circ \pm 35,8^\circ$ ,  $p = 0,44$ ).  $FA_{QRS-T}$  при глубоком вдохе имел хорошую корреляцию ( $r = 0,87$ ,  $p < 0,001$ ) и согласованность с углом в состоянии покоя. Поскольку  $FA_{QRS-T}$  рассматривается как признак нарушений реполяризации и фактор, связанный с общей сердечно-сосудистой смертностью [10–13] и развитием аритмий [14, 15] и других сердечно-сосудистых заболеваний [16], приведенные выше сведения об устойчивости

$FA_{QRS-T}$  в процессе глубокого вдоха представляют несомненный интерес и подтверждают высказанную выше гипотезу о синхронном повороте осей всех зубцов ЭКГ в процессе вдоха.

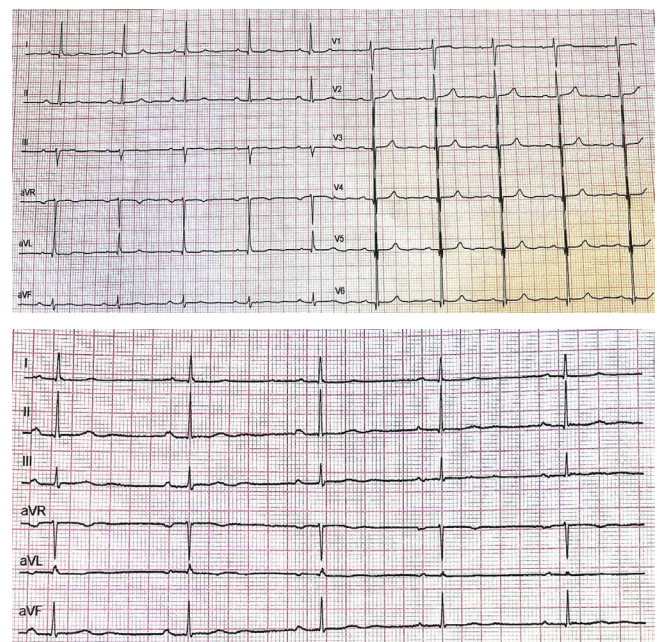
Представляет интерес наблюдение [17] пациентов с ЭКГ паттерном синдрома Бругада (у 17 паттерн наблюдался спонтанно, у 17 был спровоцирован медикаментозно). У всех пациентов наблюдался синусовый ритм и не было выявлено структурной патологии сердца. ЭКГ регистрировалась при установке электродов отведений  $V_1$  и  $V_2$  в IV и III межреберьях (стандартно и на ребро выше), а также во время спокойного дыхания и на глубоком вдохе. 19 пациентам была проведена рентгенография грудной клетки с целью определения смещения сердца при дыхании. Было показано, что из 17 пациентов с отсутствием паттерна Бругада на ЭКГ покоя глубокое дыхание провоцирует его у 6 пациентов (регистрация «на ребро выше» — в 7 случаях). Авторы применяют термин *unmasking* (разоблачение) в отношении возможностей ЭКГ вд в наблюдении паттерна Бругада. Сходные данные (вероятно, частично в той же когорте пациентов) приведены в [18]. В этой работе показано, что механизмом появления паттерна Бругада при ЭКГ вд, скорее всего, является смещение выходного тракта правого желудочка при ротации сердца на вдохе и приближение его к электродам отведений  $V_1$  и  $V_2$ .

#### РЕФЛЕКТОРНЫЕ И ГУМОРАЛЬНЫЕ ВЛИЯНИЯ НА РАБОТУ СЕРДЦА НА ВДОХЕ

Далеко не все изменения ЭКГ при задержке дыхания на вдохе можно объяснить лишь пространственными изменениями положения сердца. Поэтому представляет интерес описание физиологических процессов, обуславливающих изменения нервных и гуморальных влияний на сердца при выполнении пробы ЭКГ вд.

При вдохе за счет работы диафрагмы и дыхательной мускулатуры происходит увеличение объема грудной полости вследствие опускания купола диафрагмы, разворота реберных дуг вверх и увеличения поперечного размера грудной клетки. Давление в грудной полости при этом уменьшается. При глубоком вдохе

Рисунок 3. ЭКГ пациента на свободном дыхании (А) и вдохе (Б), динамика зубца  $S_{III}$ . Другие пояснения в тексте



понижение давления относительно атмосферного может составлять до 20 мм рт.ст. для здорового мужчины [19].

Уменьшение внутригрудного давления вызывает снижение давления заполнения правого предсердия, что увеличивает приток крови в него («присасывающее действие»). Наблюдается увеличение скорости венозного кровотока и градиента давления в венах. Обусловленное этим увеличение объема заполнения правого предсердия вызывает его большее, чем на выдохе, растяжение, и раздражение широкого спектра различных рецепторов как в миокарде, так и в сосудах. Аналогичные явления происходят и в левом предсердии. Физиологические эффекты растяжения правого предсердия, по-видимому, реализуется рефлексом Бейнбриджа [20], однако классическое его описание относится к нагрузке правого предсердия давлением [21].

Афферентная часть рефлекса Бейнбриджа начинается от барорецепторов правого предсердия и проходит через волокна блуждающего нерва. Центральное звено рефлекса представлено в продолговатом мозге. Эфферентная часть снижает тонус блуждающего нерва и увеличивает общее симпатическое влияние на сердце [22], реализуемое через симпатические нервы сердца. Таким образом происходит увеличение ЧСС и проявляется положительный инотропный эффект. Схематически эти рефлекторные связи представлены на рис. 4.

По-видимому, определенная и существенная роль в изменении гемодинамики на вдохе принадлежит гуморальным факторам. Среди них надо упомянуть натрийуритические пептиды (НУП), вырабатываемые прежде всего кардиомиоцитами. Механизм их действия до настоящего времени активно изучается. По опубликованным данным [23–29] их синтез и физиологические эффекты схематически изложены ниже.

Выделяют 3 типа НУП: А (или предсердный, 28 аминокислот), В (или мозговой — по месту выделения, 32 аминокислоты) и С (активные формы имеют 53 и 22 аминокислот). НУП-А синтезируется, преимущественно в предсердиях, НУП-В синтезируется преимущественно в миокарде желудочков, но проходит трансформацию в активную форму, в том числе и миокарде предсердий, синтез и трансформации в активные формы НУП-С происходят, преимущественно, в эндотелии сосудов. Типы НУП различаются по продолжительности своей активности. Мощными индукторами НУП-А и НУП-В являются механическое растяжение и напряжение соответственно стенок предсердий и желудочков. Таким образом, при задержке дыхания на вдохе вполне закономерно может повышаться уровень НУП, прежде всего НУП-А.

Идентифицированы 3 типа специфических рецепторов к НУП. Рецепторы типов А и В катализируют синтез внутриклеточного циклогуанозинмонофосфата (цГМФ), который связывается с ферментными белками и ионными каналами, что обуславливает их физиологические эффекты. Рецепторы типа С играют ведущую роль в деградации НУП, а также участвуют в регуляции эндотелия и сосудистого тонуса, вызывая снижение артериального

давления. Важным путем инактивации НУП является активность нейтральной эндопептидазы.

Основные физиологические эффекты НУП, известные к настоящему моменту, связаны с протективным действием на миокард, защитой миокарда от пред- и пост-нагрузки, вазодилатацией, стимуляцией диуреза и натрийуреза [30]. НУП-А и НУП-В снижают симпатический тонус, подавляют секрецию ренина и альдостерона. НУП-С вызывает отрицательное инотропное действие в миокарде, опосредованное участием рецепторов типа С, а при сердечной недостаточности — повышает передачу сигналов  $\beta 1$ -адренорецепторов. Кроме этого, НУП-С через воздействие на кальциевые каналы L-типа в синоатриальном узле участвует в регуляции ЧСС и проводимости в миокарде предсердий [31–34].

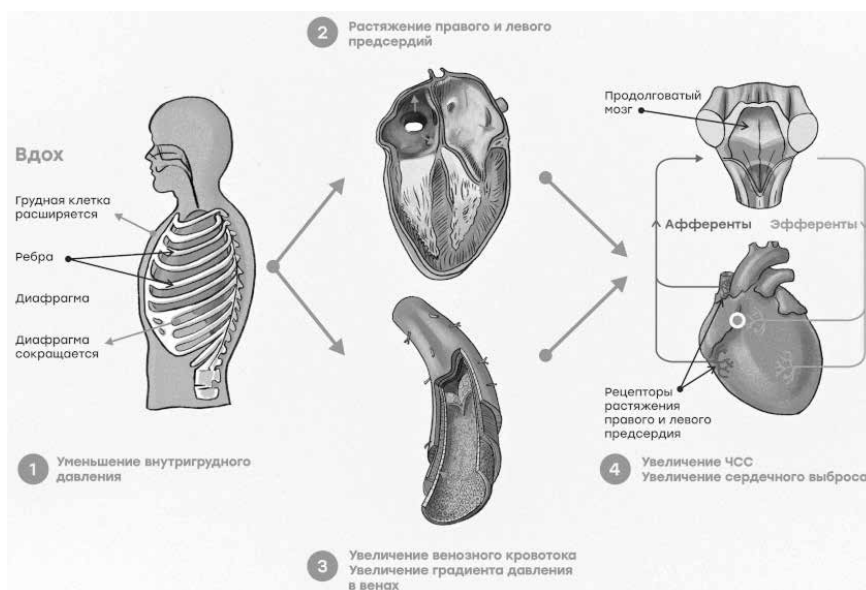


Рисунок 4. Рефлекторные взаимодействия в рефлексе Бейнбриджа

Есть сообщение [35] о подавлении НУП-С желудочковых нарушений ритма при острой ишемии в эксперименте у крыс. Эндотелиальный НУП-С регулирует реактивность лейкоцитов и тромбоцитов, участвует в ангиогенезе и ремоделированию сосудов. Доказаны эффекты НУП всех типов с регуляцией липидного обмена и глюкозы [26].

Таким образом, различные НУП и повышение их концентрации в ответ на повышение преднагрузки при глубоком вдохе вполне могут через различные биохимические механизмы вызывать разнообразные системные эффекты как в сердечно-сосудистой системе, так и в других системах организма (рис. 5). Необходимо заметить, что рефлекторные и гуморальные эффекты отчасти разнонаправлены, и при определенном дисбалансе систем могут приводить не к адапционным, а к дисрегуляторным сдвигам.

Кроме того, проба с задержкой дыхания может протекать как неполный вариант пробы Вальсальвы и сопровождаться кратковременной гипоксией, особенно у пациентов с хронической сердечной и дыхательной недостаточностью [36, 37, 38].

Как известно, проба Вальсальвы протекает в несколько стадий и сопровождается определенными изменениями гемодинамики (АД, сердечный выброс, ЧСС) [39, 40, 41]. Выделяют 4 стадии гемодинамических изменений.





Рисунок 7. Полиморфная желудочковая экстрасистолия во время задержки дыхания на вдохе

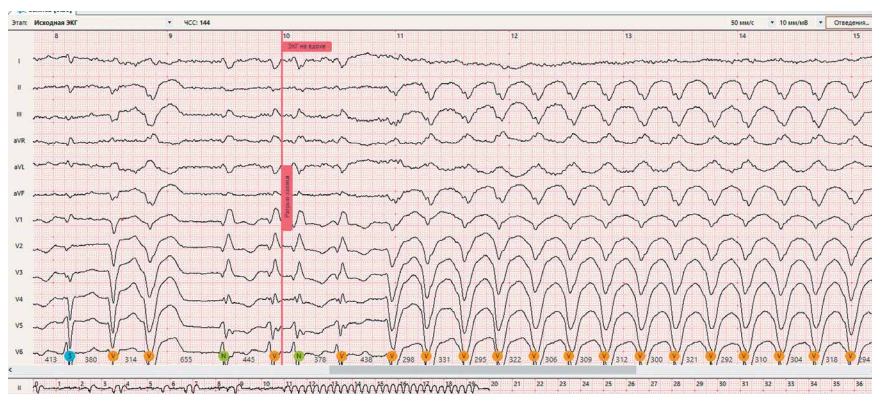


Рисунок 8. Пароксизм желудочковой тахикардии во время ЭКГвд. Купировался самостоятельно



Рисунок 9. Развитие блокады левой ножки пучка Гиса в ответ на задержку дыхания на вдохе

- при затруднении пациента задержать дыхание до окончания записи — продолжительность задержки дыхания на вдохе может быть уменьшена до 5 с, но продолжительность регистрации ЭКГ все равно составляет 30 с. В этом случае ставится еще одна метка «Вдох окончание».

Таким образом, в единой записи имеются: период свободного дыхания, переходный процесс, занимающий 3–5 с, и период фиксации на вдохе. Существенно, что такой подход не увеличивает трудоемкость регистрации ЭКГ медсестрой, незначительно увеличивает суммарное время регистрации ЭКГ (основные затраты времени, как известно, определяются подготовкой к регистрации ЭКГ и ее завершением, т.е. раздеванием пациента, установкой и снятием электродов, одеванием пациента), создает комфортные условия для работы врача при описании ЭКГ и дает возможность сформировать единое заключение для такого исследования.

## Выводы

Использование пробы ЭКГвд позволяет в значительной доле случаев дифференцировать позиционные и патологические зубцы  $Q_{III}$ ,  $Q_{aVF}$ . Следует иметь в виду, проба не является абсолютной. Уменьшение «патологических» зубцов  $Q_{III}$ ,  $Q_{aVF}$  на вдохе возможно и при острых или «старых» очаговых изменениях миокарда. Отсутствие динамики зубцов  $Q_{III}$ ,  $Q_{aVF}$  на вдохе может наблюдаться и у пациентов без патологии сердца.

Регистрация ЭКГвд позволяет оценить прямые и опосредованные воздействия вегетативной нервной системы и гуморальной регуляции на сердечный ритм и проводимость, что в ряде случаев приводит к существенным диагностическим находкам. Частота таких находок невысока, но их диагностическое значение может быть весьма существенным.

Методика непрерывной регистрации ЭКГвд в современных компьютеризированных системах позволяет получить качественную непрерывную запись сигнала, удобную для ее последующего анализа, без повышения трудоемкости регистрации ЭКГ медсестрой.

Оценка динамики косвенных показателей сократимости скомпрометированного миокарда может быть темой дальнейших клинических исследований.

Исходя из этого, можно рекомендовать регистрацию ЭКГвд всем пациентам при проведении первичного электрокардиографического исследования. С использованием современных цифровых систем регистрации ЭКГ это не вызовет сколько-нибудь существенного изменения трудоемкости как самой регистрации ЭКГ, так и ее интерпретации.

*Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

## Список литературы / References:

1. Дошцин В. Л. Клинический анализ электрокардиограммы / М.: Медицина, 1982. — 207 с. (Библиотека практического врача. Сердечно-сосудистые заболевания)
2. Lyle A. M. Further observations on the deep Q3 of the electrocardiogram // Am. Heart J. — 1944 — Vol. 28. — P. 199. DOI 10.1016/S0002-8703(44)90282-6
3. Zema M. J. Lyle's maneuver — an overdue critique // Am. Heart J. — 1980 — Vol. 99, No 5 — P. 679–680. — DOI 10.1016/0002-8703(80)90749-8.
4. Mimbs J. W., de Mello V., Roberts R. The effect of respiration on normal and abnormal Q waves // Am. Heart J. — 1977 — Vol. 94. — No. 5. — P. 579–584. — DOI 10.1016/S0002-8703(77)80126-9.
5. Sheffig U. R. et al. Diagnostic value of Q-waves in inferior myocardial infarction // Am. Heart J. — 1974. — Vol. 88. — No. 2. — P. 170–175. — DOI 10.1016/0002-8703(74)90006-4
6. Bodenheimer M. M., Banka V. S., Helfant R. H. Determination of lead III Q waves significance: utility of deep inspiration // Archives of Internal

- Medicine.— 1977.— Vol. 137.— No. 4.— P. 437–439.— DOI 10.1001/archinte.1977.03630160011006
7. Nanni S. et al. Inferior Q waves in apparently healthy subjects: Should we take a deep breath? An electrocardiographic, echocardiographic and cardiac magnetic resonance study // *Journal of electrocardiology*.— 2016.— Vol. 49.— No. 1.— P. 46–54.— DOI 10.1016/j.jelectrocard.2015.08.026
  8. Fioranelli A., Paolini E., Quaranta A. QRS Morphologies of Difficult Interpretation // *New Concepts in ECG Interpretation*.— ed. A. Capucci.— Springer: Cham.— 2019.— P. 59–73.— ISBN: 978-3-319-91677-4 — DOI 10.1007/978-3-319-91677-4-7
  9. Kurisu S. et al. Effects of deep inspiration on QRS axis, T-wave axis and frontal QRS-T angle in the routine electrocardiogram // *Heart and Vessels*.— 2019.— Vol. 34.— P. 1519–1523.— DOI 10.1007/s00380-019-01380-7
  10. Aro A.L. et al. QRS-T angle as a predictor of sudden cardiac death in a middle-aged general population // *Europace*.— 2012.— Vol. 14.— No 6.— P. 872–876.— DOI 10.1093/eurpace/eur393
  11. Сахнова Т. А. и др. Факторы, связанные с увеличением пространственного и фронтального углов QRS-T у больных инфарктом миокарда нижней локализации // *Кардиология*.— 2020.— Т. 60.— № 11.— С. 76–83.— DOI 10.18087/cardio.2020.11.n1295
  12. Сахнова Т. А. и др. Факторы, связанные с увеличением пространственного и фронтального углов QRS-T у больных инфарктом миокарда передней локализации // *Кардиология*.— 2021.— Т. 61.— № 12.— С. 22–30.— DOI 10.18087/cardio.2021.12.n1896
  13. Sweda R. et al. Diagnostic and prognostic values of the QRS-T angle in patients with suspected acute decompensated heart failure // *ESC heart failure*.— 2020.— Vol. 7.— No. 4.— P. 1817–1829.— DOI doi.org/10.1002/ehf2.12746
  14. Borleffs C. J. W. et al. Predicting ventricular arrhythmias in patients with ischemic heart disease: clinical application of the ECG-derived QRS-T angle // *Circulation: Arrhythmia and Electrophysiology*.— 2009.— Vol. 2.— No. 5.— P. 548–554.— DOI 10.1161/CIRCEP.109.859108
  15. Jogu H. R. et al. Frontal QRS-T angle and the risk of atrial fibrillation in the elderly // *Annals of Noninvasive Electrocardiology*.— 2017.— Vol. 22.— No. 2.— P. e12388.— DOI 10.1111/anec.12388
  16. LiB. et al. QRS-T angle as a predictor of pulmonary arterial hypertension: A review // *Medicine*.— 2023.— Vol. 102.— No. 2.— P. e32320.— DOI 10.1097/JMD.00000000000032320
  17. Yamawake N. et al. Unmasking Brugada-type electrocardiogram on deep inspiration // *Circulation Journal*.— 2014.— Vol. 78.— No. 2.— P. 360–365.— DOI 10.1253/circj.CJ-13-0576
  18. Nagase S., Kusano K. F. Deep-Inspiration Test — A Novel and Simple Technique of Unmasking Type I ECG in Brugada Syndrome— // *Circulation Journal*.— 2014.— Vol. 78.— No. 2.— P. 311–312.— DOI 10.1253/circj.CJ-13-1519
  19. Уэст Дж. Физиология дыхания. Основы.— М.: Мир, 1988.— 200 с.
  20. Bainbridge F. A. On some cardiac reflexes // *The Journal of Physiology*.— 1914.— Vol. 48.— No. 4.— P. 332.— DOI 10.1113/jphysiol.1914.sp001666
  21. Crystal G. J., Salem M. R. The Bainbridge and the “reverse” Bainbridge reflexes: history, physiology, and clinical relevance // *Anesthesia & Analgesia*.— 2012.— Vol. 114.— No. 3.— P. 520–532.— DOI
  22. Pakkam M. L., Brown K. N. Physiology, Bainbridge Reflex.— 2019.
  23. Коростышевская И. М., Максимов В. Ф. Где и когда в сердце секретируются натрийуретические пептиды // *Онтогенез*.— 2012.— Т. 43.— № 3.— С. 217–217.
  24. Алиева А. М. Натрийуретические пептиды: использование в современной кардиологии // *Атмосфера. Новости кардиологии*.— 2017.— № 1.— С. 26–31.
  25. Чаулин А. М., Дупляков Д. В. Повышение натрийуретических пептидов, не ассоциированное с сердечной недостаточностью // *Российский кардиологический журнал*.— 2020.— № 54.— С. 55–61.— DOI 10.15829/1560-4071-2020-4140
  26. Драпкина О. М., Шепель Р. Н., Джиоева О. Н. Натрийуретические пептиды: новые задачи-новые решения // *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*.— 2021.— Т. 20.— №. 7.— С. 106–112.— DOI 10.15829/1728-8800-2021-3102
  27. Lemaire M. et al. The heart, an endocrine gland: natriuretic peptides // *Annales d'Endocrinologie*.— Elsevier Masson, 2022.— Vo. 83.— No. 1.— P. 59–62.— DOI 10.1016/j.ando.2021.11.006.
  28. Gallo G. et al. Natriuretic Peptides: It Is Time for Guided Therapeutic Strategies Based on Their Molecular Mechanisms // *International Journal of Molecular Sciences*.— 2023.— Vol. 24.— No. 6.— P. 5131.— DOI 10.3390/ijms24065131.
  29. Arjamaa O. The endocrine heart: natriuretic peptides and oxygen metabolism in cardiac diseases // *CJC open*.— 2021.— Vol. 3.— No. 9.— P. 1149–1152.— DOI 10.1016/j.cjco.2021.04.005.
  30. Tokudome T., Otani K. Molecular Mechanism of Blood Pressure Regulation through the Atrial Natriuretic Peptide // *Biology*.— 2022.— Vol. 11.— No 9.— P. 1351.— DOI 10.3390/biology11091351
  31. Vinnakota S., Chen H. H. The importance of natriuretic peptides in cardiometabolic diseases // *Journal of the Endocrine Society*.— 2020.— Vol. 4.— No. 6.— P. bvaa052.— DOI 10.1210/endo/bvaa052
  32. Moyes A. J., Hobbs A. J. C-type natriuretic peptide: a multifaceted paracrine regulator in the heart and vasculature // *International journal of molecular sciences*.— 2019.— Vol. 20.— No. 9.— P. 2281.— DOI 10.3390/ijms20092281
  33. Dorey T. W. et al. Natriuretic peptide receptor B maintains heart rate and sinoatrial node function via cyclic GMP-mediated signalling // *Cardiovascular Research*.— 2022.— Vol. 118.— No. 8.— P. 1917–1931.— DOI 10.1093/cvr/cvab245
  34. Zhao H. et al. Chronic B-type natriuretic peptide therapy prevents atrial electrical remodeling in a rabbit model of atrial fibrillation // *Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics*.— 2019.— Vol. 24.— No. 6.— P. 575–585.— DOI 10.1177/1074248419854749
  35. He Y. et al. C-type natriuretic peptide suppresses ventricular arrhythmias in rats with acute myocardial ischemia // *Peptides*.— 2020.— Vol. 126.— P. 170238.— DOI 10.1016/j.peptides.2019.170238
  36. Task Force Members et al. 2013 ESC guidelines on the management of stable coronary artery disease: the Task Force on the management of stable coronary artery disease of the European Society of Cardiology // *European heart journal*.— 2013.— Vol. 34.— No. 38.— P. 2949–3003.— DOI 10.1093/eurheartj/ehf296
  37. Fujii H., Yasue H., Okumura K. et al. Hyperventilation-induced simultaneous multivessel coronary spasm with variant angina: an echocardiographic and arteriographic study // *J. Am. Coll. Cardiol*.— 1988.— Vol. 12.— P. 1184–1192.
  38. Горст В. Р. Исследование реакции организма на задержку дыхания // *Фундаментальные исследования*.— 2007.— №. 11.— С. 100.
  39. Аронов Д. М., Лупанов В. П. Функциональные пробы в кардиологии.— М.: МЕДпресс-информ, 2007.— 3-е изд.— 328 с.
  40. Корнеев Н. В., Давыдова Т. В. Функциональные нагрузочные пробы в кардиологии.— М.: Медика, 2010.— 128 с.
  41. Гаджиева Л. Р., Барвинченко Л. И. Фармакологические и другие диагностические пробы в кардиологии Учебное пособие. М.: 2015–57 с.
  42. M. Brignole, A. Moya, F.J de Lange et al. 2018 ESC Guidelines for the diagnosis and management of syncope. The Task Force for the diagnosis and management of syncope of the European Society of Cardiology (ESC). Developed with the special contribution of the European Heart Rhythm Association (EHRA) // *European Heart Journal* — 2018 (39) — 1883–1948. DOI 10.1093/eurheartj/ehy037

**Сведения об авторах**

**В. С. Баркан<sup>1</sup>**, ORCID 0000-0002-3772-0429  
**Д. В. Дроздов<sup>2</sup>**, ORCID 0000-0001-7374-3604  
**Г. Д. Резветсов<sup>3</sup>**, ORCID 0009-0008-6771-7504

<sup>1</sup> ЧУЗ «Клиническая больница «РЖД-Медицина», Чита  
<sup>2</sup> ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр кардиологии им. ак. Е. И. Чазова» Минздрава РФ, Москва  
<sup>3</sup> ФГБУ «52 консультативно-диагностический центр» Министерства обороны РФ, Москва

**Автор для переписки:** Дроздов Д. В., e-mail: cardioexp@gmail.com

**About authors**

**V. S. Barkan<sup>1</sup>**, ORCID 0000-0002-3772-0429  
**D. V. Drozdov<sup>2</sup>**, ORCID 0000-0001-7374-3604  
**G. G. Rezvetsov<sup>3</sup>**, ORCID 0009-0008-6771-7504

<sup>1</sup> Clinical Hospital “RZD-Medicine”, Chita, Russian Federation  
<sup>2</sup> National medical research center for cardiology named after Academician E. Chazov, Moscow, Russian Federation  
<sup>3</sup> Federal State Budgetary Establishment Ministry of Defense of the Russian Federation “52 the Advisory and Diagnostic Center”

**Corresponding author:** Drozdov D. V., e-mail: cardioexp@gmail.com

Статья поступила / Received 07.08.2023  
 Получена после рецензирования / Revised 17.08.2023  
 Принята в печать / Accepted 27.08.2023

**Для цитирования:** Баркан В. С., Дроздов Д. В., Резветсов Г. Д. Электрокардиограмма на вдохе: физиологические механизмы и диагностические возможности пробы. *Медицинский алфавит*. 2023;(22):36–42. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-36-42>

**For citation:** Barkan V. S., Drozdov D. V., Rezvetsov G. G. Deep inspiration electrocardiogram test: physiologic mechanisms and diagnostic capabilities. *Medical alphabet*. 2023;(22):36–42. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-36-42>



# Ультразвуковая диагностика гипертрофии миокарда левого желудочка: еще раз об индексации массы миокарда

С. Н. Богомолов<sup>1</sup>, В. Н. Солнцев<sup>2</sup>, А. Н. Куликов<sup>3</sup>, А. Н. Кучмин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» МЗ РФ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «СПбГМУ им. акад. И. П. Павлова» МЗ РФ Санкт-Петербург, Российская Федерация

## РЕЗЮМЕ

Рассмотрены исторические аспекты и особенности разных методов ультразвуковой диагностики гипертрофии миокарда левого желудочка, их достоинства и недостатки. Цель и методы исследования: при помощи некоторых методов статистического анализа оценить чувствительность, специфичность, диагностическую точность и согласованность двух наиболее часто используемых способов индексации массы миокарда левого желудочка (к площади поверхности тела и к росту в степени 2,7) среди пациентов с разным индексом массы тела. По результатам нашего исследования можно сделать вывод, что у пациентов с индексом массы тела менее 25,0 кг/м<sup>2</sup> оба способа индексации массы миокарда левого желудочка имеют хорошую согласованность между собой и одинаково эффективно могут быть использованы в диагностике гипертрофии миокарда левого желудочка. Достаточно хорошая согласованность между исследуемыми критериями в группах пациентов с индексом массы тела 25,0–29,9 кг/м<sup>2</sup> также, теоретически, позволяет использовать оба способа индексации для диагностики данной патологии. Учитывая плохую согласованность исследуемых критериев у пациентов с индексом массы тела более 30,0 кг/м<sup>2</sup>, следует использовать индексацию массы миокарда левого желудочка только к росту в степени 2,7.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** гипертрофия миокарда левого желудочка, индекс массы миокарда левого желудочка, эхокардиография, согласованность критериев, чувствительность, специфичность, диагностическая точность.

## Ultrasound diagnostics of left ventricular hypertrophy: once more about the indexation of myocardial mass

S. N. Bogomolov<sup>1</sup>, V. N. Solntsev<sup>2</sup>, A. N. Kulikov<sup>3</sup>, A. N. Kuchmin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Military Medical Academy, St. Petersburg

<sup>2</sup> Almazov Federal Medical Research Centre, St. Petersburg

<sup>3</sup> Pavlov Medical University, St. Petersburg

## SUMMARY

We provided historical aspects and some features of different ultrasound diagnostic methods of left ventricular hypertrophy, their advantages and disadvantages. Using some methods of statistical analysis, we tried to assess the sensitivity, specificity, accuracy and consistency of the two most commonly used methods of left ventricular mass indexations (to the body surface area and to the height 2.7) among patients with different body mass indexes. According to our results, among patients with body mass index less than 25.0 kg/m<sup>2</sup>, both left ventricular myocardial mass indexations have good consistency with each other and can be effectively used in the diagnostic of left ventricular hypertrophy. Fairly good consistency between the studied criteria among patients with a body mass index of 25.0–29.9 also, theoretically, allows to use both methods of indexation for the diagnosing of this pathology. According to the poor consistency of the studied criteria, in case of body mass index more than 30.0 kg/m<sup>2</sup>, left ventricular myocardial mass indexation to height 2.7 should be used only.

**KEY WORDS:** left ventricular hypertrophy, left ventricular mass index, echocardiography, consistency of criteria, sensitivity, specificity, accuracy.

**ВВЕДЕНИЕ.** Заболевания сердечно-сосудистой системы сохраняют уверенное лидерство среди основных причин смертности, составляя до 40% от всех летальных исходов, несмотря на существенные достижения в диагностике и лечении [1]. Гипертрофию левого желудочка (ГЛЖ) часто обнаруживают при патологоанатомическом исследовании у лиц, умерших от сердечно-сосудистых причин. И, если в популяции встречаемость ГЛЖ достигает 15–20%, то среди лиц с артериальной гипертензией (АГ) она уже втрое больше [2]. Таким образом, раннее выявление и своевременно начатое лечение ГЛЖ смогут привести к ее регрессии и, тем самым, к улучшению прогноза у таких пациентов [3], поскольку четкая связь между наличием ГЛЖ и высоким риском сердечно-сосудистых событий не вызывает сомнений [4]. Все вышеуказанное делает ГЛЖ важным прогностическим фактором при оценке кардиоваскулярного риска [5].

Золотым стандартом оценки массы миокарда левого желудочка (ММЛЖ) выступает прямое измерение при аутопсии. При этом существует несколько способов посмертного измерения ММЛЖ [6, 7, 8], которые неплохо согласуются между собой, хотя имеют и определенные недостатки. Но лишь способ, предложенный P. Casale и соавт., предлагает индексировать ММЛЖ к площади поверхности тела (ППТ) [8]. По понятным причинам, прямое прижизненное измерение ММЛЖ невозможно. Поэтому, в клинической практике суждения о наличии ГЛЖ выносятся на основании результатов косвенной оценки — по данным электрокардиографии или лучевых методов диагностики.

С 70-х годов прошлого столетия получила бурное развитие эхокардиография (ЭхоКГ), исследователи смогли визуализировать левый желудочек (ЛЖ), изучить его геометрические особенности, а на основе размеров его полости и толщины стенок были

предложены математические способы расчета как ММЛЖ [9, 10, 11, 12], так и ее индексированных производных [13, 14, 15, 16].

При ультразвуковом определении ММЛЖ используется методика, основанная на получении одно-, двух- и трехмерных изображений сердца. Расчет ММЛЖ при использовании одномерного (линейного) метода хорошо воспроизводим, доступен и прост при скрининговых обследованиях, демонстрирует высокую прогностическую ценность на основе большого количества опубликованных данных [17]. Однако, при этом, дает большую погрешность измерений при асимметрическом типе ГЛЖ, при большом конечно-диастолическом размере левого желудочка (КДРЛЖ), при разной толщине его стенок в разных сегментах, а также очень чувствителен к незначительным ошибкам в измерениях, поскольку входящие в расчеты линейные размеры возводятся в кубическую степень.

При аномальной форме и измененной геометрии ЛЖ используется данные двухмерных измерений (формулы «площадь-длина» и «усеченного эллипсоида») [12]. Ограничением данного метода являются: зависимость от получения хорошего «акустического окна», четкость определения границ эпикарда и эндокарда, еще более низкая по сравнению с линейным методом межисследовательская воспроизводимость, а также высокая вариабельность данных, получаемых при измерениях.

С целью повышения точности измерения, с начала 2000-х годов в клинической практике используется трехмерная ЭхоКГ, позволяющая непосредственно оценить объем миокарда ЛЖ. Очевидно, что при его умножении на величину условной средней плотности миокарда ( $1,05 \text{ г/см}^3$ ) и получается искомая величина ММЛЖ. Исследованиями показано, что погрешность в величине ММЛЖ при использовании трехмерного режима составляет всего 3%, тогда как при использовании одно- и двухмерного режимов — уже на порядок больше [18]. Таким образом, главным преимуществом трехмерной ЭхоКГ является более высокая по сравнению с одномерным и двухмерным методами точность измерения, что, вероятно, является актуальным у пациентов с региональными различиями в толщине стенок и аномальной геометрией ЛЖ [19]. При этом, значимыми недостатками метода являются: большая трудоемкость исследования, недостаточная оснащенность медицинских учреждений соответствующей аппаратурой, а также отсутствие надежных критериев верхней границы нормы для ММЛЖ при использовании данного метода [20].

Итак, несмотря на более высокую диагностическую точность двух- и трехмерной ЭхоКГ, ММЛЖ, рассчитанная по данным одномерной ЭхоКГ, по-прежнему, остается самым изученным и распространенным методом оценки ГЛЖ «у постели больного».

Хорошо известно, что средние показатели ММЛЖ, зависят от индивидуальных особенностей пациентов, таких как пол, возраст, этнос, факт наличия избыточной массы тела, рост [21, 16, 22, 23]. С целью адаптации величины ММЛЖ к вышеуказанным индивидуальным особенностям, проводится ее индексация к наиболее чувствительным из них — рассчитывается индекс массы миокарда левого желудочка (ИММЛЖ). В рутинной клинической работе чаще всего ММЛЖ индексируется к площади поверхности тела (ППТ), рассчитываемой по разным формулам, из которых наиболее часто используют формулу Р. Мостеллера [24]. В литературе описаны и другие способы индексации ММЛЖ: к росту,  $\text{росту}^{2,0}$ ,  $\text{росту}^{2,13}$ ,  $\text{росту}^{2,7}$ ,  $\text{росту}^{3,0}$ , коррекции с помощью регрессионной модели ММЛЖ в зависимости от возраста,

индекса массы тела и ППТ [14, 15, 5]. Не совсем понятно, какой из показателей индексации является наиболее точным, однако, по мнению Х. Чиринсо и соавт., индексация к росту в степенях 1,7, 2,13 и 2,7, имеет преимущества перед индексацией к ППТ у пациентов с избыточной массой тела [16].

Согласно действующим рекомендациям по лечению артериальной гипертензии четко указано, что индексация к ППТ может быть использована только у пациентов с нормальной массой тела [25], т.е., у пациентов, с индексом массы тела, (ИМТ) не превышающим  $24,9 \text{ кг/м}^2$  [26]. Таким образом, если ИМТ превышает  $25,0 \text{ кг/м}^2$ , то должна использоваться только индексация к росту в степени 2,7 ( $\text{рост}^{2,7}$ ).

Насколько важно придерживаться этого правила в реальной клинической практике?

**Цель исследования.** Сравнить данные двух вышеперечисленных способов индексирования ММЛЖ, полученной при линейном методе измерения, у пациентов с различным ИМТ.

**Материалы и методы.** Были проанализированы данные 374 стационарных пациентов, проходивших лечение в клинике пропедевтики внутренних болезней Военно-медицинской академии им. С. М. Кирова в период с 2014 по 2018 гг., распределенных по степени упитанности, характеризующейся величиной индекса массы тела (ИМТ), в соответствии с рекомендациями Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) [26] (таблица 1).

**Таблица 1**  
Распределение пациентов в зависимости от индекса массы тела (ИМТ)

ИМТ (кг/м <sup>2</sup> )	Описание	Количество пациентов	
		n	%
<18,5	Дефицит массы тела	3	0,8
18,5–24,9	Нормальная масса тела	127	34,0
25,0–29,9	Избыточная масса тела	133	35,6
30,0–34,9	Ожирение I степени	80	21,4
35,0–39,9	Ожирение II степени	25	6,7
≥40	Ожирение III степени	6	1,6

Для корректного статистического анализа нам пришлось исключить из исследования больных с дефицитом массы тела ( $n = 3$ ) и с ожирением III степени ( $n = 6$ ) из-за малого их числа.

Таким образом, окончательный объем выборки пациентов, включенных в исследование, сократился до 365: 129 женщин и 236 мужчин в возрасте от 14 до 92 лет. Медиана возраста женщин равна 64 года, квартили: 54 и 74 года, медиана возраста мужчин — 61,5 лет, квартили: 44 и 71 год.

Пациенты были распределены на группы в зависимости от величины ИМТ. В частности, группа «1» ( $n = 127, 34,8\%$ ):  $18,5–24,9 \text{ кг/м}^2$ ; группа «2» ( $n = 133, 36,4\%$ ):  $25,0–29,9 \text{ кг/м}^2$ ; группа «3» ( $n = 80, 21,9\%$ ):  $30,0–34,9 \text{ кг/м}^2$ ; группа «4» ( $n = 25, 6,9\%$ ):  $35,0–39,9 \text{ кг/м}^2$ .

*Перечень анализируемых данных включал:*

- I. Антропометрические данные: возраст, рост, масса тела, ИМТ.
- II. Эхокардиографические данные с расчетом ММЛЖ и ИММЛЖ, где в качестве критериев ГЛЖ рассмотрены два варианта:

1. ИММЛЖ, представленный отношением ММЛЖ к ППТ — ИММЛЖ (ASE):

$$ИММЛЖ (ASE) = ММЛЖ (ASE) / ППТ.$$

В данной формуле ММЛЖ (ASE) — масса миокарда левого желудочка, рассчитанная по формуле ASE (American Society of Echocardiography) [11].

$$ММЛЖ (ASE) = 0,8 \times \{1,04 \times [(КДРЛЖ + МЖП + ЗСЛЖ) - КДРЛЖ] \} + 0,6,$$

где КДРЛЖ — конечно-диастолический размер левого желудочка, см; МЖП — толщина межжелудочковой перегородки, см; ЗСЛЖ — толщина задней стенки левого желудочка, см.

Величина площадь поверхности тела (ППТ), вычисляемая по формуле Р. Мостеллера [24].

$$ППТ = \sqrt{(m \times h) / 60},$$

где  $m$  — масса тела, кг;  $h$  — рост, см.

ГЛЖ в этом случае регистрируется, если ИММЛЖ (ASE) более 115 г/м<sup>2</sup> у мужчин или более 95 г/м<sup>2</sup> женщин [20].

2. Критерий с аллометрическим масштабированием, предложенный для использования у пациентов, чей ИМТ превышает 24,9 кг/м<sup>2</sup> — ИММЛЖ (2,7).

$$ИММЛЖ (2,7) = ММЛЖ (ASE) / h^{2,7},$$

где  $h$  — рост, м.

ГЛЖ регистрируется, если ИММЛЖ (2,7) больше 50 г/м<sup>2,7</sup> у мужчин или больше 47 г/м<sup>2,7</sup> у женщин [25].

III. Статистические расчетные характеристики связи между тестами и характеристики согласованности критериев:

- $B$  — коэффициент линейного уравнения регрессии, которое можно использовать для предсказания референтных значений ИММЛЖ по сравниваемым:

$$y = B \cdot x + Const,$$

где  $x$  — значение ИММЛЖ, сравниваемого с референтным;

$y$  — значение референтного ИММЛЖ;  $Const$  — константа этого уравнения.

- 95% ДИ — ширина 95%-го интервала для прогноза референтного ИММЛЖ по уравнению линейной регрессии;
- $rS$  — коэффициент корреляции Спирмена между ИММЛЖ (ASE) и ИММЛЖ (2,7);
- $\phi$  (фи-коэффициент) — коэффициент согласия, отражающий силу (величину) связи между исследуемыми критериями ГЛЖ;
- $\Gamma I$  — информационный коэффициент корреляции между критериями ГЛЖ [27].
- Информационные характеристики сравниваемого критерия ГЛЖ относительно референтного: чувствительность (TPR), специфичность (TNR), положительная прогностическая ценность (PPV), отрицательная прогностическая ценность (NPV), диагностическая точность (ACC), согласованность критериев собой ( $\kappa$ -критерий, или каппа-критерий Козна):

Результаты исследования. Распределение пациентов, включенных в исследование по полу и группам в зависимости от ИМТ, представлено в таблице 2 (указаны количество пациентов в абсолютных величинах и доля в процентах, от общей численности по строкам).

Распределение мужчин и женщин по группам оказалось почти аналогичным ( $p=0,02$ ), разброс ИМТ у женщин несколько больше, чем у мужчин, так как у мужчин несколько меньше доля лиц с ожирением II степени.

Учитывая, что критерии ГЛЖ формируются в зависимости от пола пациента, имеет смысл рассмотреть средние характе-

ристики показателей, участвующих в анализе, отдельно для женщин и мужчин. В таблице 3 приведены медианы, квартили и  $p$ -значения критерия Манна-Уитни.

Далее был проведен анализ соответствия между показателями ИММЛЖ (ASE) и ИММЛЖ (2,7), а также построенными по ним критериям ГЛЖ в каждой группе для всех пациентов вместе без разделения по полу. Причем, для группы «1» в качестве референтного показателя наличия ГЛЖ выступал ИММЛЖ (ASE), а в качестве сравниваемого — ИММЛЖ (2,7). Для прочих групп, по понятным соображениям, ситуация обратная: в качестве референтного критерия ГЛЖ уже выступает ИММЛЖ (2,7), а в качестве сравниваемого — ИММЛЖ (ASE).

В таблице 4 приведено фактическое соответствие оценок наличия ГЛЖ по двум критериям в выборках пациентов без разделения по полу.

По результатам регрессионного анализа установлена достаточно хорошая однородность групп «2», «3» и «4», в которых вне прогностических границ остается менее 5% исследуемых пациентов, тогда как группа «1» предстала менее однородной: вне прогностических границ оказалось 6,3% пациентов. Основной проблемой анализа связи между ИММЛЖ в группах, не разделенных по полу, является оценка двух порогов (для мужчин и женщин) по одному уравнению регрессии. Рекомендуемые расстояния между порогами в двух индексах оказываются несопоставимыми. Для ИММЛЖ (ASE) расстояние между порогами равно 20 условных единиц (115–95), тогда как для ИММЛЖ (2,7) это расстояние равно 3 условным единицам (50–47), т.е. почти в 7 раз меньше. Это, возможно, и является основной причиной некоторого «рассогласования» критериев ГЛЖ.

Анализ связи между двумя ИММЛЖ в группе «1» показал ее заметную неоднородность. Пороговому значению для женщин ИММЛЖ (ASE) равному 95 г/м<sup>2</sup> по уравнению регрессии соответствует порог ИММЛЖ (2,7) равный 38,9±8,3 г/рост<sup>2,7</sup>, а для

**Таблица 2**  
Распределение пациентов по группам в зависимости от пола и ИМТ

Группа (ИМТ, кг/м <sup>2</sup> )	«1» (18,5–24,9)	«2» (25,0–29,9)	«3» (30,0–34,9)	«4» (35,0–39,9)	Всего
Женщины	41; 31,8%	45; 34,9%	27; 20,9%	16; 12,4%	129
Мужчины	86; 36,4%	88; 37,3%	53; 22,5%	9; 3,8%	236
Всего	127; 34,8%	133; 36,4%	80; 21,9%	25; 6,9%	365

**Таблица 3**  
Значения антропометрических показателей характеристик ГЛЖ у мужчин и женщин всех групп («1», «2», «3», «4»), включенных в исследование

Показатель	Женщины	Мужчины	$p$
Рост	161 (156; 165)	175 (170; 180)	<0,0001
Масса тела	71 (62; 84)	82 (72; 93)	<0,0001
ИМТ	27,5 (24,1; 31,6)	27,0 (23,5; 30,1)	0,14
ППТ	1,78 (1,68; 1,93)	2,00 (1,88; 2,13)	<0,0001
МЖП	1,1 (1,0; 1,2)	1,2 (1,0; 1,3)	0,003
ЗСЛЖ	1,0 (0,9; 1,1)	1,1 (1,0; 1,2)	0,003
КДРАЖ	4,7 (4,5; 4,9)	5,1 (4,8; 5,5)	<0,0001
ММЛЖ (ASE)	181 (157; 212)	220 (182; 271)	<0,0001
ИММЛЖ (ASE)	98,9 (86,4; 115,6)	107,7 (92,3; 129,5)	0,002
ИММЛЖ (2,7)	51,1 (41,7; 59,7)	48,2 (38,6; 59,2)	0,38

**Таблица 4**  
**Согласованность случаев диагностики ГЛЖ**  
**при 2-х способах ее индексации**  
**для пациентов обоих полов**

Группы пациентов			Каппа-критерий
Группа «1»			
ГЛЖ (ASE) = 0	ГЛЖ (ASE) = 0	ГЛЖ (ASE) = 1	0,89
ГЛЖ (2,7) = 0	82	6	
ГЛЖ (2,7) = 1	0	39	
Группа «2»			0,85
ГЛЖ (ASE) = 0	ГЛЖ (2,7) = 0	ГЛЖ (2,7) = 1	
ГЛЖ (ASE) = 0	58	8	
ГЛЖ (ASE) = 1	2	65	
Группа «3»			0,70
ГЛЖ (ASE) = 0	ГЛЖ (2,7) = 0	ГЛЖ (2,7) = 1	
ГЛЖ (ASE) = 0	29	11	
ГЛЖ (ASE) = 1	1	39	
Группа «4»			0,30
ГЛЖ (ASE) = 0	ГЛЖ (2,7) = 0	ГЛЖ (2,7) = 1	
ГЛЖ (ASE) = 0	3	8	
ГЛЖ (ASE) = 1	0	14	

мужчин  $48,0 \pm 8,3$  г/рост<sup>2,7</sup>, вместо рекомендуемых порогов 47 и 50 г/рост<sup>2,7</sup>, соответственно. Расчеты показывают, что такой выбор мог бы обеспечить несколько худшую согласованность критериев в данной подгруппе: величина каппа-критерия ( $\kappa$ ) уменьшится с 0,89 до 0,88; фи-коэффициента ( $\phi$ ) — с 0,90 до 0,88, диагностической точности (ACC) — с 95,3% до 94,5% и информационного коэффициента корреляции ( $rI$ ) — с 0,78 до 0,77. В группе «2» пороговым значениям ИММЛЖ (2,7) равным 47 и 50 г/рост<sup>2,7</sup> (для женщин и мужчин) по уравнению регрессии соответствуют пороги ИММЛЖ (ASE) равные  $101,4 \pm 3,6$  и  $107,7 \pm 3,6$  г/м<sup>2</sup>, вместо рекомендуемых порогов 95 и 115 г/м<sup>2</sup>, что, как и в группе «1», приводит к худшей согласованности критериев в данной подгруппе: величина каппа-критерия ( $\kappa$ ) и фи-коэффициента ( $\phi$ ) уменьшится с 0,85 до 0,82, диагностической точности (ACC) — с 92,5% до 91,0% и информационного коэффициента корреляции ( $rI$ ) — с 0,76 до 0,73. При анализе согласованности исследуемых критериев в достаточно однородной группе «3» пороговым значениям ИММЛЖ (2,7) равным 47 и 50 г/рост<sup>2,7</sup> (для женщин и мужчин) по уравнению регрессии соответствуют пороги ИММЛЖ (ASE) равные  $94,6 \pm 3,5$  и  $100,6 \pm 3,5$  г/м<sup>2</sup>, вместо рекомендуемых порогов 95 и 115 г/м<sup>2</sup>. При замене порога на вычисленные по уравнению регрессии согласованность критериев ГЛЖ улучшается. Величина каппа-критерия ( $\kappa$ ) увеличивается с 0,70 до 0,78; фи-коэффициента ( $\phi$ ) — с 0,72 до 0,79, диагностической точности (ACC) — с 85,0% до 90,0% и информационного коэффициента корреляции ( $rI$ ) — с 0,68 до 0,71. В группе «4» пороговым значениям ИММЛЖ (2,7) равным 47 и 50 г/рост<sup>2,7</sup> (для женщин и мужчин) по уравнению регрессии соответствуют пороги ИММЛЖ (ASE) равные  $85,4 \pm 5,3$  и  $90,4 \pm 5,3$  г/м<sup>2</sup>, вместо рекомендуемых порогов 95 и 115 г/м<sup>2</sup>. При замене порога на вычисленные по уравнению регрессии согласованность критериев ГЛЖ по одним показателям улучшается, а по другим — ухудшается. Величина каппа-критерия ( $\kappa$ ) увеличивается с 0,30 до 0,34; фи-коэффициента ( $\phi$ ) уменьшается с 0,42 до 0,35, диагностической точности (ACC) увеличивается с 68,0% до 88,0%, а информационного коэффициента корреляции ( $rI$ ) уменьшается с 0,44 до 0,28.

В таблице 5 приведены характеристики соответствия критериев ИММЛЖ (ASE) и ИММЛЖ (2,7) для исследуемых групп у пациентов, включенных в исследование без разделения по полу.

По результатам регрессионного анализа видно, что исходные показатели ИММЛЖ, используемые для построения критериев ГЛЖ, хорошо согласуются друг с другом в каждой из рассматриваемых групп. Все уравнения регрессии оказались сильно значимы ( $p < 0,0001$ ). Однако, коэффициент линейного уравнения регрессии (B) для группы «4» значительно меньше такового в группах «2» и «3». При этом группа «4» сильно отличается от остальных как по информационным характеристикам (особенно по коэффициентам корреляции  $\phi$  и  $rI$ ), так и по величине  $\kappa$ -критерия. Это может быть связано как с относительно небольшим объемом группы «4» ( $n = 25$ ), так и с возможным влиянием ожирения II степени. При этом наиболее ценными характеристиками следует считать величины  $\kappa$ -критерия и информационного коэффициента корреляции ( $rI$ ).

В дальнейшем был проведен анализ соответствия между показателями ИММЛЖ (ASE) и ИММЛЖ (2,7), а также построенными по ним критериям ГЛЖ в каждой группе для мужчин и женщин в отдельности. Полученные данные показали, что как среди пациентов мужского, так и женского пола в каждой из рассматриваемых групп, показатели ИММЛЖ (ASE) и ИММЛЖ (рост2,7), используемые для построения критериев ГЛЖ, хорошо согласуются друг с другом, подтверждая тенденцию, исследованную на выборках пациентов без разделения по полу. При этом как среди пациентов женского, так и мужского пола, в группах «2», «3» и «4», у которых в качестве референтного критерия выступал ИММЛЖ (2,7), показатель ИММЛЖ (ASE) продемонстрировал наибольшую взвешенность по показателям качества теста в группе «2»: для лиц женского пола — чувствительность 100% при диагностической точности 97,8%, для мужчин — чувствительность 95,5% при диагностической точности 89,8%, тогда как при увеличении ИМТ эти показатели закономерно снижались.

Также было показано, что имеется, хотя и небольшое, но систематическое различие между характеристиками мужчин и женщин, причем согласие между двумя критериями у мужчин

**Таблица 5**  
**Соответствие критериев ГЛЖ для исследуемых групп пациентов**  
**без разделения по полу**

	Группа «1»	Группа «2»	Группа «3»	Группа «4»
B	2,18±0,04	0,48±0,01	0,50±0,01	0,60±0,04
Const.	10,2±2,1	-1,5±1,1	-0,4±1,6	-4,4±5,1
95% ДИ	16,3	7,0	6,8	10,3
rS	0,97	0,96	0,94	0,87
$\phi$	0,90	0,85	0,72	0,42
rI	0,78	0,76	0,68	0,44
TPR,%	100	96,7	96,7	100
(95% ДИ)	(99, 100)	(89, 100)	(83, 100)	(29, 100)
TNR,%	86,7	89,0	78,0	63,6
(95% ДИ)	(85, 88)	(88, 90)	(77, 79)	(61, 66)
PPV,%	93,2	87,9	72,5	27,3
(95% ДИ)	(86, 98)	(87, 88)	(71, 74)	(24, 32)
NPV,%	100	97,0	97,5	100
(95% ДИ)	(98, 100)	(96, 98)	(96, 98)	(95, 100)
ACC,%	95,3	92,5	85,0	68,0
(95% ДИ)	(95, 97)	(92, 93)	(84, 86)	(66, 70)
$\kappa$ -критерий	0,89	0,85	0,70	0,30

**Примечание:** для процентных показателей приведены их 95%-е доверительные интервалы.

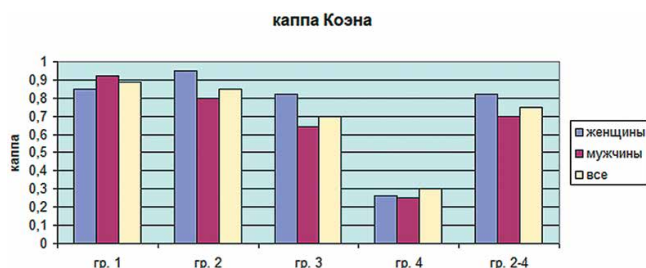


Рисунок 1. Согласованность исследуемых показателей индексов массы миокарда левого желудочка между собой («ASE» и «2,7») в четырех исследуемых группах пациентов

оказывается слабее (рисунок 1).

**Обсуждение.** Наиболее простым способом сравнения двух критериев ГЛЖ является проверка факта статистической связи между ответами на данные критерии. В нашем исследовании для ответа на этот вопрос был использован критерий хи-квадрат Пирсона. Поскольку во всех случаях такая связь оказалась статистически значимой, встал вопрос о силе, величине этой связи. В качестве показателей силы связи были выбраны три величины; коэффициент согласия  $\phi$  (фи), информационный коэффициент корреляции ( $rI$ ) и каппа-критерий Коэна ( $\kappa$ ). Такое большое количество характеристик связи было использовано по нескольким причинам.

*Во-первых*, не существует одной «правильной» характеристики соответствия или связи между двумя показателями, каждая характеристика имеет свои преимущества, недостатки и ограничения. В таком случае целесообразно применить комбинированные методы, использующие одновременно несколько показателей.

*Во-вторых*, в случае сравнения двух показателей, измеряющих одну и ту же количественную величину, обычно рекомендуется применение процедуры Бленда-Альтмана, которая позволяет оценить наличие смещения между показателями, характер этого смещения и относительную погрешность между ними.

*В-третьих*, при оценке связи между дискретными показателями имеется много характеристик, основывающихся на анализе их сопряженности. Чаще всего для этих целей используется какой-либо вариант критерия хи-квадрат Пирсона, либо иные варианты коэффициентов корреляции.

И, наконец, если сравниваются бинарные показатели (показывающие наличие или отсутствие какого-то состояния), рекомендуется использовать каппа-критерий Коэна.

В нашем исследовании сравниваемые критерии ГЛЖ сформированы на основе двух различных ИММЛЖ. Очевидно, что согласованность критериев ГЛЖ определяется согласованностью используемых индексов. Однако, метод Бленда-Альтмана в нашем случае имеет ограничения, т.к. любой индекс является не измеряемой величиной, а вычисляемой характеристикой, да, к тому же, еще и имеет разный масштаб.

Учитывая вышесказанное, в нашем исследовании, вместо метода Бленда-Альтмана был использован анализ диаграммы рассеяния значений двух ИММЛЖ с одновременным построением уравнения линейной регрессии и «анализом остатков» для этого уравнения.

Как видно, сравнение методов определения ГЛЖ по результатам индексации ИММЛЖ к ППТ и к росту в степени 2,7 у пациентов с разной степенью упитанности (с разным ИМТ) изначально

представляет определенные трудности, связанные с фактическим отсутствием не только «истинного» показателя ГЛЖ, но и единого устойчивого референтного критерия. Фактически оба эти критерия (как ИММЛЖ (ASE), так и ИММЛЖ (2,7)) оказываются референтными друг для друга. С одной стороны, в такой ситуации не вполне корректно говорить о критериях качества тестов (чувствительность, специфичность и диагностическая точность), поскольку они являются асимметричными и требуют четких указаний, какой из них является референтным, а какой исследуемым. С другой стороны, с учетом более частого использования индексации ИММЛЖ к ППТ в рутинной клинической практике, было целесообразно провести анализ показателей качества тестов, поменяв местами референтный и исследуемый критерии в выборках пациентов с ИМТ  $\geq 25,0$  кг/м<sup>2</sup>.

Из наших данных следует, что у пациентов группы «1» (мужчины, женщины, объединенная) с ИМТ  $< 25,0$  кг/м<sup>2</sup> отмечена высокие чувствительность, диагностическая точность и специфичность исследуемого показателя ИММЛЖ (ASE) по отношению к ИММЛЖ (2,7). Между тем, у пациентов с ИМТ  $> 25,0$  кг/м<sup>2</sup> высокие показатели качества теста отмечаются только среди обследуемых группы «2» (ИМТ 25,0–29,9 кг/м<sup>2</sup>), но не у лиц с ИМТ  $\geq 30$  кг/м<sup>2</sup> (группы «3» и «4»). Отмечена сильная значимость ( $p < 0,0001$ ) всех уравнений регрессии и коэффициента корреляции Спирмена ( $rS$ ), при этом по величине  $\kappa$ -критерия пациенты группы «4» значительно отличались от пациентов групп «2» и «3». В объединенной выборке пациентов отмечено хорошее согласование исследуемых критериев между собой, но несколько худшее, чем у мужчин и женщин по отдельности. Для мужчин характерна большая величина коэффициентов регрессии при меньшей точности прогноза в сравнении с женщинами.

## Выводы

1. Показана различная точность в оценке степени гипертрофии миокарда левого желудочка при использовании критериев ИММЛЖ (ASE) и ИММЛЖ (2,7) в зависимости от индекса массы тела.
2. У пациентов с нормальной массой тела (ИМТ  $< 25,0$  кг/м<sup>2</sup>) оба критерия ГЛЖ (ИММЛЖ (ASE) и ИММЛЖ (2,7)) имеют высокую согласованность между собой и одинаково эффективно могут быть использованы в диагностике ГЛЖ. Согласованность между исследуемыми критериями у лиц с ИМТ  $< 30,0$  кг/м<sup>2</sup> также представляется приемлемой.
3. Лицам с ИМТ, превышающим 30 кг/м<sup>2</sup>, для оценки степени гипертрофии миокарда левого желудочка целесообразно использовать только критерий ИММЛЖ (2,7), который, впрочем, и претендует на универсальность.

*Авторы согласны с тем, что редакция имеет право на литературное и техническое редактирование и доведение статьи до редакторских стандартов, принятых в рамках журнала.*

## Список литературы / References:

1. Kalbfleisch, J. D. *Competing risks: the statistical analysis of failure time data* / J. D. Kalbfleisch, R. L. Prentice. — New York: John Wiley & Sons, 1980. — P. 163–188.
2. Oikarinen, L. *Electrocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy with time-voltage QRS and QRST-wave areas* / L. Oikarinen, M. Karvonen // *J. Hum Hypertens.* — 2004. — Vol. 18, № 1. — P. 33–40. doi:10.1038/sj.jhh.1001631

3. Devereux R. B. Regression of left ventricular hypertrophy as a surrogate end-point for morbid events in hypertension treatment trials / R. B. Devereux, E. Agabiti-Rosei, B. Dahlöf // *J. Hypertens. Suppl.*— 1996.— Vol. 14, № 2.— S95-S101.
4. Koren, M. J. Changes in left ventricular mass predict risk in essential hypertension / M. J. Koren, D. D. Savage, P. N. Casale // *Circulation.*— 1990.— Vol. 82; suppl. 11.— P. 29.
5. Levy D. Prognostic implications of echocardiographically determined left ventricular mass in the Framingham Heart Study / D. Levy, R. J. Garrison, D. D. Savage // *N. Engl. J. Med.*— 1990.— Vol. 322.— P. 1561–1566. doi: 10.1056/NEJM199005313222203
6. Лившиц А. М. Классификация и критерии гипертрофии сердца по данным разделного взвешивания его частей / А. М. Лившиц // *Архив патологии.*— 1981.— Т. 43, № 6.— С. 24–30. Livshits A. M. Classification and criteria of hypertrophy of the heart according to the separate weighing of its parts / A. M. Livshits // *Archives of pathology.*— 1981.— Vol. 43, No. 6.— P. 24–30. (In Russ)
7. Bove K. E. Observations on the assessment of cardiac hypertrophy utilizing a chamber partition technique / K. E. Bove, D. T. Rowlands, R. C. Scott // *Circulation.*— 1966.— Vol. 33 — P. 558–568. doi.org/10.1161/01.CIR.33.4.558
8. Casale, P. N. Improved sex-specific criteria of left ventricular hypertrophy for clinical and computer interpretation of electrocardiograms: validation with autopsy findings / P. N. Casale, R. B. Devereux, D. R. Alonso // *Circulation.*— 1987.— Vol. 75, № 3 — P. 565–572. doi.org/10.1161/01.CIR.75.3.565
9. Troy B. L. Measurement of left ventricular wall thickness and mass by echocardiography / B. L. Troy, J. Pombo, C. E. Rackley // *Circulation.*— 1972.— Vol. 45.— P. 602–611. doi.org/10.1161/01.CIR.45.3.602
10. Devereux R. B. Echocardiographic determination of left ventricular mass in man: Anatomic validation of the method / Devereux R. B., Reichek N. // *Circulation.*— 1977.— Vol. 55. P. 613–618. doi.org/10.1161/01.CIR.55.4.613
11. Devereux R. B. Echocardiographic assessment of left ventricular hypertrophy: comparison to necropsy findings / R. B. Devereux, D. R. Alonso, E. M. Lutas // *Am. J. Cardiol.*— 1986.— Vol. 47.— P. 450–458. doi.org/10.1016/0002-9149(86)90771-X
12. Park S. H. Two-dimensional echocardiographic calculation of left ventricular mass as recommended by the American Society of Echocardiography: correlation with autopsy and M-mode echocardiography / S. H. Park, C. Shub, T. P. Nobrega // *J. Am. Soc. Echocardiogr.*— 1996.— Vol. 9.— P. 119–128. PMID: 8849607
13. Reichek, N. Left ventricular hypertrophy: relation of anatomic, echocardiographic and electrocardiographic findings / N. Reichek, R. B. Devereux // *Circulation.*— 1981.— Vol. 63.— P. 1391–1398.
14. Antonucci, D. Prevalence and correlates of echocardiographic determined left ventricular hypertrophy in 2318 asymptomatic middle-aged men: the ECCIS project. *Epidemiologia e Clinica della Cardiopatia Ischemica Silente* / D. Antonucci, F. Seccareccia, A. Menotti // *J. Ital. Cardiology.*— 1997.— Vol. 27, № 4.— P. 363–369.
15. De Simone, G. Effect of growth on variability of left ventricular mass: assessment of allometric signals in adults and children and of their capacity to predict cardiovascular risk / G. De Simone, R. B. Devereux, S. R. Daniels // *J. Am. Coll. Cardiol.*— 1995.— Vol. 25.— P. 1056–1062.
16. Chirinos, J. A. Left ventricular mass: allometric scaling, normative values, effect of obesity, and prognostic performance / J. A. Chirinos [et al.] // *Hypertension.*— 2010.— Vol. 56.— P. 91–98.
17. Armstrong A. C. LV mass assessed by echocardiography and CMR, cardiovascular outcomes, and medical practice / A. C. Armstrong, S. Gidding, O. Gjesdal, C. Wu et al. // *JACC Cardiovasc. Imaging.*— 2012.— Vol. 5.— P. 837–848.
18. Mor-Avi V. Fast measurement of left ventricular mass with real-time three-dimensional echocardiography: comparison with magnetic resonance imaging / V. Mor-Avi, L. Sugeng, L. Weinert // *Circulation.*— 2004.— Vol. 110, № 13.— P. 1814–1818. doi.org/10.1161/01.CIR.0000142670.65971.5F
19. Celebi A. S. Current cardiac imaging techniques for detection of left ventricular mass / A. S. Celebi, H. Yalcin, F. Yalcin // *Cardiovasc. Ultrasound.*— 2010.— Vol. 8.— P. 19. doi: 10.1186/1476-7120-8-19.
20. Lang R. M. Recommendations for Cardiac Chamber Quantification by Echocardiography in Adults: An Update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging / R. M. Lang, L. P. Badano, V. Mor-Avi, et al. // *J. Am. Soc. Echocardiogr.*— 2015.— Vol. 28, № 1.— P. 1–39. doi: 10.1016/j.echo.2014.10.003.
21. Chahal N. S. Ethnicity-related differences in left ventricular function, structure and geometry: a population study of UK Indian Asian and European white subjects / N. S. Chahal [et al.] // *Heart.*— 2010.— Vol. 96.— P. 466–471.
22. Kizer, J. R. Differences in left ventricular structure between black and white hypertensive adults: The Hypertension Genetic Epidemiology Network study / J. R. Kizer [et al.] // *Hypertension.*— 2004.— Vol. 43.— P. 1182–1188.
23. Lauer, M. S. Sex-specific reference M-mode values in adults: population-derived values with consideration of the impact of height / M. S. Lauer, M. G. Larson, D. Levy // *J. Am. Coll. Cardiol.*— 1995.— Vol. 26.— P. 1039–1046.
24. Mosteller, R. D. Simplified calculation of body-surface area / R. D. Mosteller // *N. Engl. J. Med.*— 1987.— Vol. 317, № 17.— P. 1098. doi: 10.1056/NEJM198710223171717
25. Williams B. The Task Force for the management of arterial hypertension of the European Society of Cardiology (ESC) and European Society of Hypertension (ESH) / B. Williams, G. Mancia, W. Spiering, et al. // *European Heart Journal.*— 2018.— Vol. 00.— P. 1–98. doi: 10.1093/eurheartj/ehy339.
26. World Health Organization. *Obesity: preventing and managing the global epidemic.* 1997, Geneva: WHO.
27. Linfoot E. H. An Informational Measure of Correlation / E. H. Linfoot // *Information and Control*, 1957.— Vol. 1, № 1.— P. 85–89.

#### Сведения об авторах

**Богомолов Сергей Николаевич**, старший преподаватель кафедры пропедевтики внутренних болезней<sup>1</sup>, ORCID: 0009-0008-1209-3554

**Солнцев Владислав Николаевич**, старший научный сотрудник НИЛ биостатистики НИО математического моделирования и анализа<sup>2</sup>, ORCID: 0000-0003-2877-9627

**Куликов Александр Николаевич**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой функциональной диагностики<sup>3</sup>, ORCID: 0000-0002-4544-2967

**Кучмин Алексей Николаевич**, д.м.н., профессор заведующий кафедрой пропедевтики внутренних болезней<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0003-2888-9625

<sup>1</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>2</sup> ФГБУ «НМИЦ им. В. А. Алмазова» МЗ РФ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «ПСПбГМУ им. акад. И. П. Павлова» МЗ РФ, Санкт-Петербург, Российская Федерация

#### Автор для переписки:

Богомолов Сергей Николаевич, e-mail: pashalesha@yandex.ru

#### About authors

**Bogomolov S. N.**<sup>1</sup>, ORCID: 0009-0008-1209-3554

**Solntsev V. N.**<sup>2</sup>, ORCID: 0000-0003-2877-9627

**Kulikov A. N.**<sup>3</sup>, ORCID: 0000-0002-4544-2967

**Kuchmin A. N.**<sup>1</sup>, ORCID: 0000-0003-2888-9625

<sup>1</sup> Military Medical Academy, St. Petersburg

<sup>2</sup> Almazov Federal Medical Research Centre, St. Petersburg

<sup>3</sup> Pavlov Medical University, St. Petersburg

#### Corresponding author:

Bogomolov S.N., e-mail: pashalesha@yandex.ru

Статья поступила / Received 28.08.2023

Получена после рецензирования / Revised 30.08.2023

Принята в печать / Accepted 30.08.2023

**Для цитирования:** Богомолов С. Н., Солнцев В. Н., Куликов А. Н., Кучмин А. Н. Ультразвуковая диагностика гипертрофии миокарда левого желудочка: еще раз об индексации массы миокарда. *Медицинский алфавит.* 2023;(22):44–49. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-44-49>

**For citation:** Bogomolov S. N., Solntsev V. N., Kulikov A. N., Kuchmin A. N. Ultrasound diagnostics of left ventricular hypertrophy: once more about the indexation of myocardial mass. *Medical alphabet.* 2023;(22):44–49. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-44-49>



# Систолическая функция левого и правого желудочков и показатели деформации миокарда у лиц молодого возраста с метаболическим синдромом

С. Ю. Бартош-Зеленая<sup>1</sup>, В. В. Степанова<sup>2</sup>, Н. Е. Павлова<sup>2</sup>, О. П. Мамаева<sup>2</sup>, С. Г. Щербак<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова»

<sup>2</sup> СПб ГБУЗ, «Городская больница № 40 Курортного района», Санкт-Петербург, г. Сестрорецк

## РЕЗЮМЕ

Целью этой статьи является оценка систолической функции левого и правого желудочков и показателей деформации миокарда у лиц молодого возраста (от 18 до 44 лет) с впервые установленным клинико-лабораторным диагнозом метаболический синдром (МС) согласно критериям Международной федерации диабетологов (IDF), для выявления ранних маркеров дисфункции миокарда. Всем участникам проводилась стандартная трансторакальная эхокардиография (ЭхоКГ) с оценкой систолической функции левого и правого желудочков (ЛЖ и ПЖ). В работе определяли ранние маркеры дисфункции миокарда желудочков с помощью технологии Speckle tracking в 2D- и 4D-режиме, а также исследовали взаимосвязи между основными компонентами МС и эхокардиографическими показателями. С помощью сравнительного анализа были выявлены статистически значимо низкие значения глобальной продольной деформации ЛЖ и ПЖ в 2D- и 4D-режимах в основной группе по сравнению с группой контроля. У лиц с МС, средние значения циркулярной (GCS), радиальной (GRS) деформации и площади деформации (GAS) ЛЖ также были значительно ниже контрольной группы. Показатели ожирения (масса тела и окружность талии) имели отрицательную корреляцию с фракцией выброса (ФВ) и параметрами деформации желудочков сердца.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** метаболический синдром, эхокардиография, спекл-трекинг-эхокардиография, фракция выброса, деформация миокарда.

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ:** авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Systolic function of the left and right ventricles and myocardial strain in young adults with metabolic syndrome

S. Y. Bartosh-Zelenaya<sup>1</sup>, V. V. Stepanova<sup>2</sup>, N. E. Pavlova<sup>2</sup>, O. P. Mamaeva<sup>2</sup>, S. G. Scherbak<sup>2</sup>

<sup>1</sup> North-Western State Medical University by I.I. Mechnikov, St-Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> State hospital № 40, Saint-Petersburg, Russian Federation

## SUMMARY

The purpose of this article is to evaluate the systolic function of the left and right ventricles and measure myocardial strain in young people (from 18 to 44 years old) with a newly established clinical and laboratory diagnosis of metabolic syndrome (MS) according to the criteria of the International Diabetes Federation (IDF), to identify possible early markers of myocardial dysfunction. All patients underwent standard transthoracic echocardiography (EchoCG) with assessment of systolic function of the left and right ventricles (LV and RV). The work detects early markers of ventricular myocardial dysfunction using speckle tracking 2D and 4D EchoCG, and also investigates the relationship between the main components of MS and echocardiographic parameters. With the help of a comparative analysis, statistical data were revealed on the low global longitudinal strain of the left and right ventricle in 2D and 4D in the main group compared with the control group. In individuals with MS, the mean values of global circular strain (GCS), radial (GRS) strain and global area strain (GAS) of the left ventricle were also significantly lower than the control group. Indicators obesity diseases (body weight and waist circumference) had a negative correlation with the ejection fraction (EF) and parameters of ventricular strain.

**KEYWORDS:** metabolic syndrome, echocardiography speckle tracking echocardiography, injection fraction, myocardial strain.

**CONFLICT OF INTEREST:** the authors declare no conflict of interest.

## ВВЕДЕНИЕ

Трансторакальная эхокардиография (ЭхоКГ) представляет собой один из основных и доступных для практического здравоохранения методов оценки систолической функции левого (ЛЖ) и правого желудочка (ПЖ). В настоящее время неинвазивная оценка сократимости мышцы сердца при различной патологии, кроме традиционных показателей, таких как фракция выброса (ФВ), может быть решена с помощью Speckle tracking эхокардиографии или метода оценки деформации миокарда по технологии «отслеживания пятен».

Метод основан на анализе пространственного отслеживания однородных акустических маркеров (так называемых спеклов или пятен), генерируемых взаимодействием между ультразвуком и волокнами миокарда, в серошкальном изображении во

время сердечного цикла в трех пространственных направлениях: продольном, радиальном и циркулярном [Алексин М. Н., 2022].

В настоящее время наиболее изученной является глобальная продольная деформация ЛЖ (GLS ЛЖ). Считается, что такой показатель как GLS ЛЖ более чувствителен к ранним изменениям сократимости левого желудочка, чем ФВ [Topset L. F. et al., 2017; Gao L. et al., 2022; Алексин М. Н., 2022]. Многие зарубежные и российские авторы [Ma Y. et al., 2022, Sturgill S. L. et al., 2022, Обрезан А. Г. и соавт., 2019, Гриценко О. В. и соавт., 2021] в своих исследованиях установили, что GLS ЛЖ, определяемая с помощью методики Speckle Tracking Imaging (STI) может способствовать выявлению систолической дисфункции ЛЖ гораздо раньше, еще до изменения ФВ и спрогнозировать развитие сердечной недостаточности у бессимптомных лиц, даже в тех слу-

чаях, когда ФВ ЛЖ находится в пределах нормальных значений. Исследователями были сделаны выводы, что оценка функции ЛЖ с помощью GLS может улучшить стратификацию сердечно-сосудистого риска у пациентов с сохранной ФВ. В рекомендациях Американского общества по эхокардиографии и Европейской ассоциации по сердечно-сосудистой визуализации ASE/EACVI уже в 2015 было предложено использовать показатель глобальной продольной деформации в ежедневной клинической практике.

Трехмерная эхокардиография является сравнительно более недавней и менее изученной технологией. В настоящее время выделяют несколько возможных вариантов оценки деформации ЛЖ в 4D-режиме: продольной (GLS), радиальной (GRS) и циркулярной (GCS). Данный метод позволяет проводить одновременную оценку всех трех параметров деформации ЛЖ [Muraru D. et al., 2018, Gao L. et al., 2022]. С помощью 4D технологии можно определять новый параметр деформации — площадь глобальной деформации (Global Area Strain, GAS). Данный параметр включает в себя продольную и циркулярную деформацию и является точным и высоковоспроизводимым показателем оценки глобальной и региональной сократительной функции ЛЖ [Truong V. T. et al., 2019, Nabeshima Y. et al., 2021, Chang T. W. et al., 2022].

Метаболический синдром по критериям Международной федерации диабетологов (IDF), имеет одна четверть взрослого населения мира и его называют одной из актуальных проблем последних лет. Ожирение, как основной компонент МС, связано с большим снижением продолжительности жизни, при этом морбидное ожирение влияет на смертность больше среди молодых людей, чем среди пожилых [Engin A., 2017, Кыткова О. Ю. и соавт., 2021]. Большинство пациентов с МС — это люди активного трудоспособного возраста, наиболее продуктивная и значимая часть общества. Присутствие МС в 3–6 раз повышает риск развития, как сахарного диабета (СД) 2 типа, так и сердечно-сосудистых осложнений (инфарктов и инсультов), а также ассоциируется с субклиническим поражением жизненно-важных органов. Ведущие российские и зарубежные ученые, занимающиеся проблемой МС склонны рассматривать его, как предстadium СД 2 типа и атеросклероза [Беляков Н. А. и соавт., 2006; Бартош-Зеленая С. Ю. и соавт., 2017; Saklayen M. G. 2018; Al-Adawi R. M. et al., 2021]. Атеросклеротическая болезнь сердца — хронический медленно прогрессирующий процесс, обусловленный появлением в коронарных артериях холестериновых бляшек, что приводит к ухудшению кровоснабжения миокарда, ишемии и развитию сердечной дисфункции. По данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ) смертность от сердечно-сосудистых заболеваний составляет 31% и является наиболее частой причиной смертельных исходов во всем мире. В связи с этим наряду с клинико-лабораторными показателями (такими как абдоминальное ожирение, дислипидемия, гипергликемия и др.), возникает необходимость оценки структурно-функциональных параметров камер сердца, в том числе новейших эхокардиографических показателей деформации у лиц молодого возраста с МС с целью выявления ранней диагностики маркеров дисфункции миокарда, что является актуальной задачей современной клинико-инструментальной медицины.

**Цель исследования:** оценить систолическую функцию левого и правого желудочков и показатели деформации миокарда у лиц молодого возраста (от 18 до 44 лет) в впервые установленным клинико-лабораторным диагнозом метаболический синдром (МС)

согласно критериям Международной федерации диабетологов (IDF), для выявления ранних маркеров дисфункции миокарда.

**МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:** в исследовании приняло участие 50 человек молодого возраста (от 18 до 44 лет, согласно критериям ВОЗ от 2019 года); 26 из них в впервые установленным клинико-лабораторным диагнозом МС (IDF, 2006). Контрольную группу составили 24 здоровых человека аналогичного возраста. Группы не различались по полу и возрасту ( $p > 0,05$ ).

Критериями исключения являлись: перенесенные сердечно-сосудистые события в анамнезе (инфаркты, инсульты); пациенты с хронической сердечной недостаточностью и сниженной фракцией выброса (ФВ); онкологические заболевания; тяжелая почечная и печеночная недостаточность; инфильтративные поражения сердца; гипер- и гипотиреоз; гиперпаратиреоз; анемии; феохромоцитомы; болезнь Иценко-Кушинга; сахарный диабет; пациенты, недавно перенесшие в тяжелой форме инфекционное заболевание; беременность и период грудного вскармливания.

Всем пациентам проводилось антропометрическое обследование с измерением роста, массы тела, окружности талии (ОТ), подсчитывался индекс массы тела (ИМТ). Измерение артериального давления (АД) производилось сидя, трижды с помощью механического тонометра, с определением систолического и диастолического артериального давления (САД и ДАД), с интервалом 3–5 минут на правой руке. В анализ включили среднее значение измеренных величин.

Определяли липидный профиль (общий холестерин (ОХ), триглицериды (ТГ), холестерин липопротеинов высокой и низкой плотности (ХС ЛПВП и ХС ЛПНП) ферментативно-колориметрическим способом на оборудовании Cobas 6000, Roche Diagnostics, Швейцария. Проводили измерение уровня глюкозы натощак ферментативным УФ (гексокиназным) методом (Cobas 6000, Roche Diagnostics, Швейцария).

Для исследования структурно-функциональных изменений миокарда выполняли трансторакальную ЭхоКГ на ультразвуковой системе «Vivid E95» с использованием матричного датчика M5S (1,5–4,6 MHz) и датчика 4VD (1,5–4 MHz). Анализ полученных изображений проводился с помощью программного обеспечения EchoPAC версии 204 (GE Healthcare, США). Для оценки показателей трансторакальной ЭхоКГ использовались рекомендации Американского общества эхокардиографии и Европейской ассоциации по сердечно-сосудистой визуализации, ASE/EACVI (2015), EACVI (2017).

Для анализа глобальной продольной деформации ЛЖ и ПЖ (GLS ЛЖ и GLS ПЖ) в 2D, записанные в серошкальном изображении кинопетли переносили на рабочую станцию «EchoPAC» (GE, Healthcare), на которой в последующем определяли показатели в режиме AFI (Automatic Functional Imaging) с частотой кадров не менее 60 кадров/с. GLS ЛЖ оценивали после мануального выделения границ эндокарда в конце систолы из апикальной позиции в четырех-, двух- и трехкамерном сечениях. Далее программное обеспечение автоматически представляло значение GLS во всех 17 сегментах ЛЖ в виде так называемого «бычьего глаза». GLS ПЖ оценивали в апикальном четырехкамерном сечении с фокусом на правые камеры с последующей корректировкой толщины стенки ПЖ по 3 сегментам свободной стенки ПЖ: базальному, срединному и апикальному.

Для оценки деформаций ЛЖ в 4D запись изображения осуществлялась с помощью датчика 4VD (1,5–4 MHz) с частотой

кадров 34–50 в секунду с использованием опции Multi-Slice из апикальной 4-камерной позиции с задержкой дыхания на выдохе в течение четырех последовательных сердечных циклов. Для обработки зарегистрированного видеоряда проводился количественный анализ на рабочей станции «EchoPAC» с использованием программы 4DAutoLVQ. С помощью программного обеспечения полуавтоматически определялись границы эндокарда и эпикарда с возможностью ручной корректировки контуров. В результате получали топографическую модель, состоящую из всех 17 проанализированных сегментов ЛЖ в виде «бычьего глаза», позволяющую графически и количественно (в процентах) оценить показатели продольной (GLS), радиальной (GRS), циркулярной (GCS) и площади (GAS) деформации.

Для оценки и обработки количественных данных ПЖ в 4D на рабочей станции «EchoPAC» использовалась программа 4DAutoRVQ. С помощью алгоритма поиска контура в конце систолы и диастолы полуавтоматически отмечался эндокард с возможностью ручной коррекции контуров. На основании определенных границ эндокарда выстраивалась 4D-модель ПЖ с определением объемов в систолу и диастолу с расчетом ФВ.

Продольная деформация (GLS) представляет собой деформацию миокарда в направлении от основания к верхушке. Согласно международным рекомендациям EACVI (2017), нормальным значением этого показателя считается для ЛЖ -20%, GLS ПЖ >-20%, GLS свободной стенки ПЖ >-23%. На сегодняшний день нет общепринятых нормативов для показателей деформации в режиме 4D. Согласно рекомендациям EACVI/ASE (2015), во избежание недоразумений при оценке и для сравнения показателей глобальной и циркулярной деформации, условно возможно использование модульных величин без знака «-», что и было применимо в данной статье.

Статистический анализ полученных данных был проведен с помощью программы Statistica (версия 10.0). При анализе данных использовались стандартные расчеты статистики: среднеарифметическая средняя (M), стандартное отклонение (σ). Нормальность распределения оценивали по критерию Шапиро–Уилкса. Для сравнения независимых переменных при отсутствии признаков нормального распределения данных использовался U-критерий Манна–Уитни. Оценка взаимосвязи параметров глобальной функции ЛЖ и ПЖ проводилась с использованием коэффициента корреляции Спирмена. Статистически значимыми считались различия при  $p < 0,05$ .

**Результаты:** обследуемые из основной и контрольной групп достоверно

различались по антропометрическим (масса тела, ИМТ, ОТ) данным ( $p < 0,001$ ) и лабораторным показателям (уровень глюкозы, ОХ, ТГ, ХС ЛПВП ( $p < 0,001$ ) и ХС ЛПНП ( $p = 0,037$ )). По САД и ДАД достоверных различий между группами не было выявлено ( $p > 0,05$ ) (табл. 1).

Показатели ФВ и деформации желудочков у лиц молодого возраста в основной и контрольной группах представлены в табл. 2.

Фракция выброса левого желудочка (ФВ ЛЖ) в 2D и 4D — режимах в исследуемой и контрольной группах не различалась и составила 2D 63,5%/4D 58,2% в основной группе и 2D 63,4%/4D 59,0% в контрольной группе ( $p = 0,62/p = 0,58$ ,  $p > 0,05$ ) (рис. 4).

Фракция выброса правого желудочка в 4D-режиме (ФВ ПЖ 4D) достоверно не различалась в основной (41,1%) и в контрольной (47,1%) группах ( $p = 0,09$ ), однако в соответствии с рекомендациями

**Таблица 1**  
Клинико-лабораторная характеристика показателей у лиц молодого возраста в группах

Показатели	Основная группа (n=26)	Контрольная группа (n=24)	p
Масса тела	98,5±15,9	71,1±14,1	$p < 0,001$
ИМТ	32,6±4,8	23,04±3,4	$p < 0,001$
ОТ	105,7±9,4	71 ±11,7	$p < 0,001$
Глюкоза	5,3±0,67	3,9 ±0,27	$p < 0,001$
САД	129,3±13,7	122± 1,6	нз
ДАД	86,7±10,4	80,5±9,6	нз
ОХ	5,4±0,72	3,8±0,37	$p < 0,001$
ТГ	1,8±0,24	1,4±0,14	$p < 0,001$
ХС ЛПВП	1,03±0,15	1,47±0,1	$p < 0,001$
ХС ЛПНП	2,9±0,58	2,46±0,13	0,037

**Примечание:** ИМТ — индекс массы тела, ОТ — окружность талии, САД и ДАД — систолическое и диастолическое артериальное давление, ТГ — триглицериды, ОХ — общий холестерин, ХС ЛПВП и ХС ЛПНП — холестерин липопротеинов высокой и низкой плотности, нз — различия статистически незначимы ( $p > 0,05$ ), p — уровень значимости различий между показателями основной и контрольной группы.

**Таблица 2**  
Сравнительная характеристика показателей деформации и фракции выброса левого и правого желудочков у лиц молодого возраста в группах

Показатели	Основная группа (n=26)	Контрольная группа (n=24)	p
КДО 2D, мл	94,7±4,2	95±4,4	нз
Индекс КДО 2D, мл/м2	41,3±2,9	49±2,8	0,028
КСО 2D, мл	35±2,2	37,8±2,5	нз
Индекс КСО 2D, мл/м2	15,2±1,2	19,6±1,5	0,036
КДО 4D, мл	104±4,5	102,8±3,9	нз
Индекс КДО 4D, мл/м2	40,6±4,4	53,6±2,9	0,022
КСО 4D, мл	42±2,2	42,1±2,0	нз
Индекс КСО 4D, мл/м2	16,8±1,8	22±1,3	нз
GLS ЛЖ 2D,%	17,3±2,3	19,5±2,1	0,002
GLS ЛЖ 4D,%	13,6±4,6	17,2±2,7	0,003
GCS ЛЖ 4D,%	13,1±3,1	16,4±2,1	0,002
GRS ЛЖ 4D,%	36,2±11,9	47,7±7,1	0,002
GAS ЛЖ 4D,%	23,4±6,1	29,4±2,7	0,001
GLS ПЖ 2D,%	20,4 ±4,5	24,3±4,0	0,02
ФВ ЛЖ 2D,%	63,5 ±5,5	63,4±4,7	нз
ФВ ЛЖ 4D,%	58,2±4,4	59,0±3,6	нз
ФВ ПЖ 4D,%	41,1±7,9	47,1±6,2	0,09

**Примечание:** 2D — двухмерное изображение, 4D — трехмерное изображение (GE Healthcare, США), GLS ЛЖ — глобальная продольная деформация левого желудочка, GCS ЛЖ — глобальная циркулярная деформация левого желудочка, GRS ЛЖ — глобальная радиальная деформация левого желудочка, GAS — глобальная площадь деформации, GLS ПЖ — глобальная продольная деформация правого желудочка, ФВ ЛЖ — фракция выброса левого желудочка, ФВ ПЖ — фракция выброса правого желудочка, нз — различия статистически незначимы ( $p > 0,05$ ), p — уровень значимости различий между показателями основной и контрольной группы.

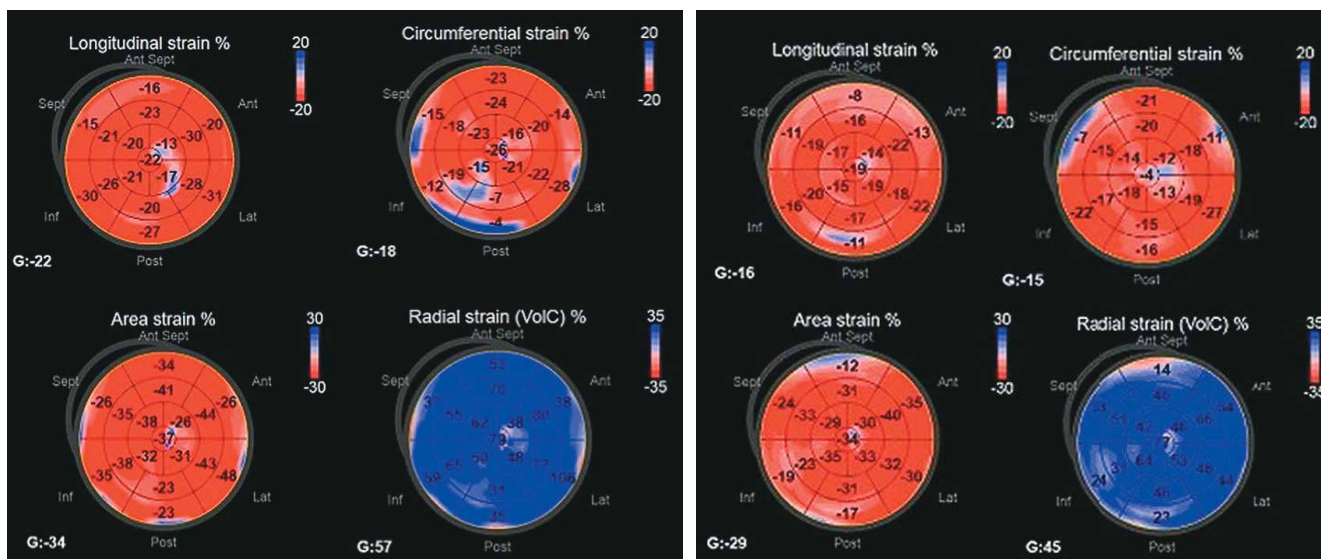


Рисунок 1. Показатели деформации ЛЖ в 4D у пациента из основной (справа) и у обследуемого из контрольной (слева) группы

ASE/EACVI (2015), ФВ ЛЖ в основной группе была менее 45% и составила в среднем  $41,1 \pm 7,9$  (рис. 3, 4).

Средние значения GLS ЛЖ в 2D/4D были снижены в основной группе и составили 17,3%/13,6%, в то время как в контрольной группе показатели GLS ЛЖ были выше: 19,5%/17,2% ( $p=0,002/p=0,003$ ) (рис. 5).

У лиц с МС, средние значения для циркулярной (GCS), радиальной (GRS) деформации и площади деформации (GAS) ЛЖ также были значительно ниже контрольной группы ( $p=0,002, p=0,001$ ) (табл. 2, рис. 1, 5).

Средние значения GLS ЛЖ в основной группе составили  $20,4 \pm 4,5\%$ , и были снижены по сравнению с контрольной группой  $24,3 \pm 4,0\%$  ( $p=0,02$ ), хотя находилось при этом на нижней границе нормы в соответствии с ASE (2019) и EACVI (2017) (табл. 2; рис. 5).

С помощью корреляционного анализа было показано, что увеличение массы тела имело отрицательную корреляционную связь с GLS ЛЖ в 2D ( $r = -0,63, p=0,0015$ ), GAS ( $r = -0,59, p=0,02$ ), GRS ЛЖ ( $r = -0,56, p=0,03$ ) и ФВ ЛЖ в 2D ( $r = -0,46, p=0,05$ ) и 4D ( $r = -0,72, p=0,0005$ ). ИМТ имел отрицательную корреляционную связь с GLS ЛЖ в 2D ( $r = -0,57, p=0,0037$ ), GAS ( $r = -0,53, p=0,017$ ),

GRS ЛЖ ( $r = -0,53, p=0,026$ ) и ФВ ЛЖ в 2D ( $r = -0,59, p=0,02$ ) и 4D ( $r = -0,8, p=0,0002$ ). Показатель абдоминального ожирения, такой как окружность талии имел умеренную отрицательную корреляцию с GLS ЛЖ в 2D ( $r = -0,57, p=0,0028$ ).

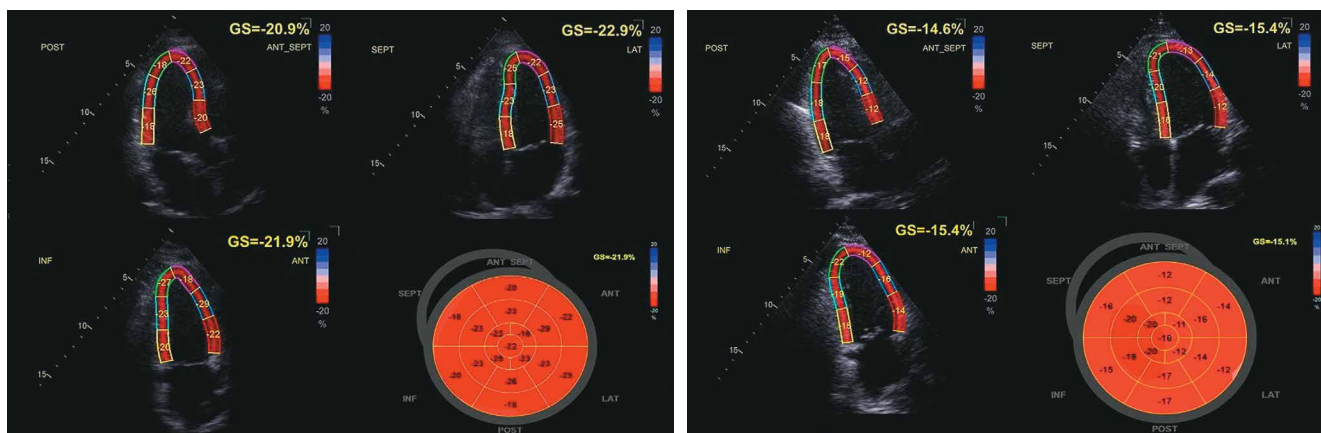
Уровень общего холестерина был взаимосвязан со следующими ЭхоКГ-показателями: GLS ЛЖ в 2D и 4D ( $r_1=0,75, p=0,0006; r_2=0,8, p=0,03$ ), GAS ( $r=0,87, p=0,05$ ), GRS ( $r=0,91, p=0,04$ ), ФВ ЛЖ в 4D ( $r=0,71, p=0,017$ ). Показатель ХС ЛПНП коррелировал с GLS ЛЖ в 2D и 4D ( $r_1=0,63, p=0,0137; r_2=0,69, p=0,01$ ), GAS ( $r=0,81, p=0,04$ ), GRS ( $r=0,77, p=0,042$ ).

Такие компоненты МС, как повышение уровня артериального давления, концентрации триглицеридов и глюкозы не имели корреляционной связи с показателями дисфункции миокарда (фракцией выброса и показателями деформации желудочков в 2D- и 4D-режимах).

### ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время дискутируется вопрос о том, что ФВ ЛЖ недостаточно чувствительный параметр для выявления ранних субклинических нарушений сократительной функции миокарда [Topset L. F. et al., 2017; Gao L. et al., 2022; Алехин М. Н., 2022].

Рисунок 2. Показатели GLS ЛЖ в 3-, 4- и 2-камерных сечениях с последующим построением модели «бычий глаз» в 2D у пациента из основной (-15,1%, справа) и обследуемого из контрольной (-21,9%, слева) группы



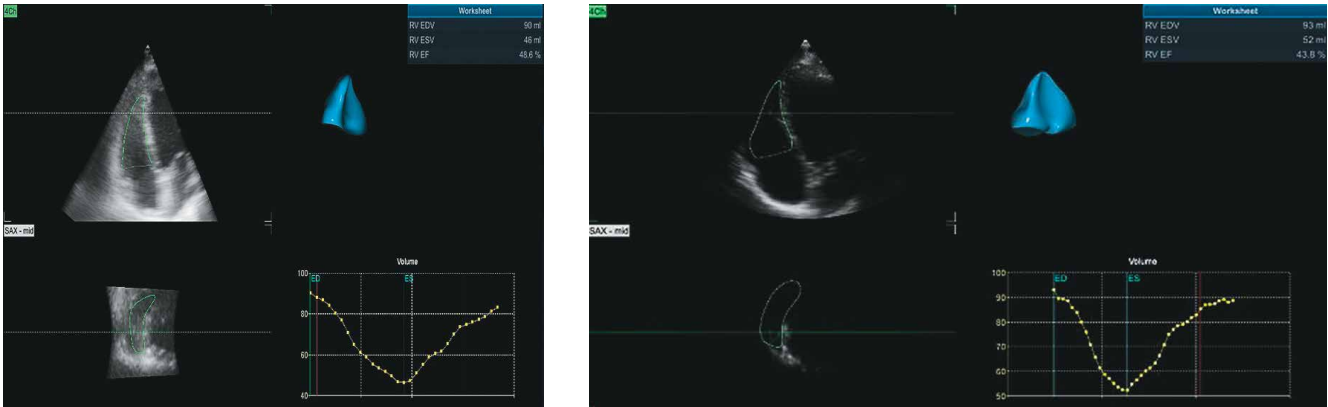


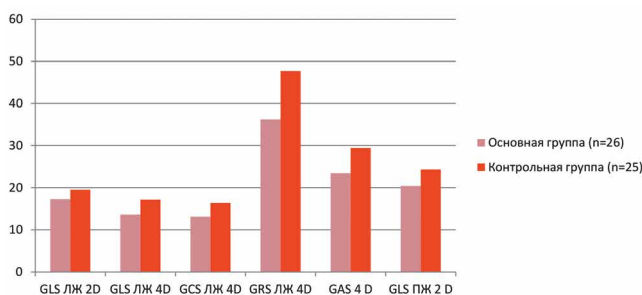
Рисунок 3. Показатели ФВ ПЖ в 4D у пациента из основной (ФВ 44%, справа) и обследуемого из контрольной (ФВ 49%, слева) группы

В связи с этим в данной работе проведен поиск других возможных показателей, таких как показатели деформации миокарда, с применением современного инновационного метода Speckle tracking в 4D режиме для выявления субклинической дисфункции миокарда. Параметры деформации у лиц молодого возраста с впервые установленным МС были статистически значимо ниже аналогичных параметров здоровых лиц сопоставимых по возрасту.

В исследовании Wang Q. et al., (2018), у пациентов с СД 2 типа и нормальной ФВ ЛЖ ( $\geq 55\%$ ), среди которых у половины лиц гиперлипидемия была сопутствующей патологией, значения GLS, GCS, GAS и GRS были значительно ниже, чем в контрольной группе ( $p < 0,001$ ), а также были ниже, чем у пациентов с СД 2 типа без гиперлипидемии ( $p < 0,001$ ). В нашем исследовании показатели GLS, GCS, GAS и GRS были статистически ниже, чем в контрольной группе ( $p_1=0,003$ ,  $p_2=0,002$ ,  $p_3=0,001$  и  $p_4=0,002$ ) и имели прямую корреляционную связь с уровнем ХС, ХСЛПНП. На основании полученных данных, можно предположить, что гиперлипидемия, в частности гиперхолестеринемия, влияет на сократительную функцию миокарда (в первую очередь, на деформацию), в то время как незначимое повышение уровня глюкозы (по сравнению с группой контроля) у молодых лиц без СД пока не играет значительной роли в изменении деформации миокарда.

По данным мета-анализа Hefzabad S-M. G. et al., (2021) был сделан вывод о снижении показателей GLS, GCS, GAS и GRS у пациентов с СД 2 типа, а также выявлена взаимосвязь артериальной гипертензии с GLS, GCS в 4D. В нашем исследовании АД не имело корреляционной связи с показателями дисфункции миокарда, что вероятно связано с тем, что в исследовании включались молодые лица, с небольшим стажем гипертензии

Рисунок 4. Сравнительная характеристика средних показателей фракции выброса ЛЖ и ПЖ в 2D и 4D в основной и контрольной группах



и АД у них находилось на уровне высокого нормального или артериальной гипертензии 1 степени.

В исследованиях установлена связь висцерального ожирения, как одного из главных компонентов МС со снижением показателей GLS ЛЖ и GLS ПЖ, что может быть связано с повышенным риском развития сердечной недостаточности у лиц с ожирением [Sawada N. et al., 2020; Сафиуллина А. А. и соавт., 2022]. В настоящем исследовании окружность талии, как показатель абдоминального ожирения, была взаимосвязана с GLS ЛЖ в 2D и ФВ ПЖ 4D, а увеличение массы тела имело отрицательную корреляционную связь с GLS ЛЖ в 2D, GAS, GRS ЛЖ и ФВ ЛЖ в 2D и 4D. Полученные результаты позволяют подтвердить важность ожирения как основного компонента в критериях диагностики МС и свидетельствует в пользу ведущей роли ожирения при МС и связанных с ним изменений сократимости миокарда, в первую очередь деформации миокарда.

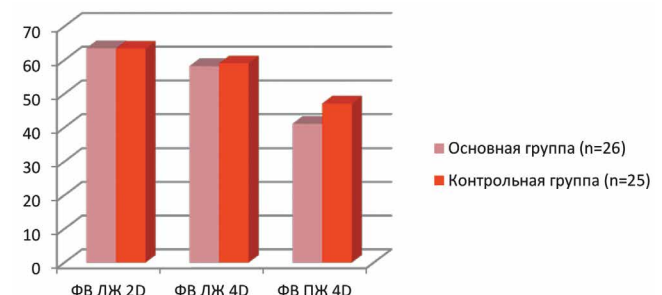
Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о задействованности показателей деформации миокарда при МС и предполагают, что дальнейший поиск методов раннего выявления маркеров дисфункции миокарда желудочков является одной из актуальных задач современной клинико-инструментальной медицины.

### Выводы

У молодых лиц с МС показатели деформации левого и правого желудочка в 2D- и 4D- режимах могут служить наиболее ранними маркерами дисфункции миокарда, которые выявляются с помощью эхокардиографии, прежде чем изменится традиционный показатель, такой как ФВ.

Дислипидемия, как один из компонентов МС может вносить

Рисунок 5. Сравнительная характеристика средних показателей деформации ЛЖ и ПЖ в 2D и 4D в основной и контрольной группах



свой вклад в нарушение сократительной функции миокарда желудочков на основании полученных сниженных показателей деформации у лиц с гиперхолестеринемией.

Показатели ожирения (масса тела и окружность талии) имели отрицательную корреляцию с ФВ и параметрами деформации желудочков сердца, что позволяет подтвердить важность абдоминального ожирения как основного компонента в критериях диагностики МС, в то время как гипертензия, гипертриглицеридемия и гипергликемия не являются основополагающими проявлениями МС у лиц молодого возраста.

#### Список литературы / References:

- Алехин М. Н. Двухмерная спекл-трекинг-эхокардиография для оценки деформации миокарда и камер сердца: Учебное пособие / Алехин М. Н. — М.: Издательский дом Вилар-М, 2022. — 112 с.
- Бартош-Зеленая С.Ю., Найден Т. В., Плавинский С. А., Евсикова И. А. Препараты изолированных и сочетанных атеросклеротических поражений на субклинической стадии у мужчин среднего возраста и их взаимосвязь с метаболическим синдромом. Артериальная гипертензия. 2017; 23(1):56–68.
- Saklayen MG. The Global Epidemic of the Metabolic Syndrome. *Curr. Hypertens Rep.* 2018 Feb 26; 20(2):12
- Al-Adawi R.M., Prabhu K. S., Stewart D., Ryan C., Abdelaziz H., Eledrisi M., Ibrahim M. I.M., Uddin S., Tonna A. P. The Incidence and Determinants of Metabolic Syndrome Amongst a Group of Migrants to Qatar: A Prospective Longitudinal Observational Cohort Study 24-Months Post-Migration. *J Clin Med.* 2021 Dec 22; 11(11):34. doi: 10.3390/jcm11010034. PMID: 35011774; PMCID: PMC8745192.
- Wang Q, Tan K, Xia H, Gao Y. Left ventricular structural alterations are accompanied by subclinical systolic dysfunction in type 2 diabetes mellitus patients with concomitant hyperlipidemia: An analysis based on 3D speckle tracking echocardiography. *Echocardiography.* 2018. Jul; 35(7):965–974. doi: 10.1111/echo.13858. Epub 2018. Mar 6. PMID: 29509974.
- Ghoreishi-Hefzabad S.M., Jeyaprasath P., Gupta A., Vo H. Q., Pathan F., Negishi K. Three-Dimensional Global Left Ventricular Myocardial Strain Reduced in All Directions in Subclinical Diabetic Cardiomyopathy: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Heart Assoc.* 2021 Oct 5; 10(19): e020811. doi: 10.1161/JAHA.121.020811. Epub 2021 Sep 29. PMID: 34585594; PMCID: PMC8649137.
- Sawada N., Nakanishi K., Daimon M., Yoshida Y., Ishiwata J., Hirokawa M., Nakao T., Morita H., Di Tullio M. R., Homma S., Komuro I. Influence of visceral adiposity accumulation on adverse left and right ventricular mechanics in the community. *Eur J Prev Cardiol.* 2020. Dec; 27(18):2006–2015. doi: 10.1177/2047487319891286. Epub 2019 Dec 3. PMID: 31795766.
- Lang R. M., Badano L. P., Mor-Avi V. et al. Recommendations for cardiac chamber quantification by echocardiography in adults: an update from the American Society of Echocardiography and the European Association of Cardiovascular Imaging. *J. Am. Soc. Echocardiogr.* 2015; 28:1–39. DOI: 10.1093/ejci/jev014.
- Engin A. The Definition and Prevalence of Obesity and Metabolic Syndrome. *Adv. Exp. Med. Biol.* 2017; Vol.960:1–17. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48382-5\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48382-5_1)
- Сафулина А. А., Ускач Т. М., Сайпудинова К. М., Терещенко С. Н., Чазова И. Е. Сердечная недостаточность и ожирение. *Терапевтический архив.* 2022; 94(9): 1115–1121. DOI: 10.26442/00403660.2022.09.201837
- Кыткова О. Ю., Антонюк М. В., Кантур Т. А., Новгородецкая Т. П., Денисенко Ю. К. Распространенность и биомаркеры метаболического синдрома. *Ожирение и метаболизм.* 2021; 18(3): 302–312. <https://doi.org/10.14341/otef12704>
- Обрезан А. Г., Баранов Д. З. Деформация миокарда у больных хронической сердечной недостаточностью. *Кардиология.* 2019; 59(8):88–96.
- Николаева А. В., Пименов Л. Т., Мельников А. В., Дударев М. В. Показатели глобальной продольной деформации миокарда левого желудочка и коронарного кровотока у пациентов с первичным гипотиреозом // *Кардиология.* — 2018. — Т. 58, № 57. — С. 19–23. DOI: 10.18087/cardio.2415
- IDF Consensus Worldwide Definition of the Metabolic Syndrome. 2006. LAST UPDATE: 29/07/2020.
- Galderisi M., Cosyns B., Edvardsen T., Cardim N., Delgado V., Di Salvo G., Donal E., Sade L. E., Ernande L., Garbi M., Grapsa J., Hagendorff A., Kamp O., Magne J., Santoro C., Stefanidis A., Lancellotti P., Popescu B., Habib G.; 2016–2018 EACVI Scientific Documents Committee. Standardization of adult transthoracic echocardiography reporting in agreement with recent chamber quantification, diastolic function, and heart valve disease recommendations: an expert consensus document of the European Association of Cardiovascular Imaging. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging.* 2017. Dec 1; 18(12):1301–1310. doi: 10.1093/ejci/ehj244. PMID: 29045589.
- Степанова А. И., Алехин М. Н. Возможности и ограничения спекл-трекинг стресс-эхокардиографии. *Сибирский медицинский журнал.* 2019; 34(1):10–17.
- Muraru D., Nierro A., Rodriguez-Zanella H., Cherata D., Badano L. Three-dimensional speckle-tracking echocardiography: benefits and limitations of integrating myocardial mechanics with three-dimensional imaging. *Cardiovasc Diagn Ther* 2018; 8(1):101–117. doi: 10.21037/cdt.2017.06.01
- Gao L.; Lin Y.; Ji M.; Wu W.; Li H.; Qian M.; Zhang L.; Xie M.; Li Y. Clinical Utility of Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Heart Failure. *J. Clin. Med.* 2022. 11, 6307.
- Tops L. F., Delgado V., Marsan N. A., et al. Myocardial strain to detect subtle left ventricular systolic dysfunction. *Eur J Heart Fail.* 2017; 19: 307–313. doi: 10.1002/ejhf.694.
- Ma Y., Wang L., Jin W., Zhu T., Liu J., Zhao H., Wang J., Lu M., Cao C., Jiang B. Left ventricular function and coronary microcirculation in patients with mild reduced ejection fraction after STEMI. *BMC Cardiovasc Disord.* 2022. Sep 25; 22(1):423. doi: 10.1186/s12872-022-02846-9. Erratum in: *BMC Cardiovasc Disord.* 2022. Nov 14; 22(1):485.
- Гриценко О. В., Чумакова Г. А., Трубина Е. В. Возможности speckle tracking-эхокардиографии для диагностики дисфункции миокарда. *КардиоСамита.* 2021; 12(1): 5–10. DOI: 10.26442/22217185.2021.1.200756
- Sturgill S. L., Sheffiger V., Ziolo M. T. Antiquated ejection fraction: Basic research applications for speckle tracking echocardiography. *Front Physiol.* 2022. Oct 24; 13: DOI: 10.3389/fphys.2022.969314
- Chang T. W., Hsu H. C., Tsai W. C. Association of left ventricular global area strain derived from resting 3D speckle-tracking echocardiography and exercise capacity in individuals undergoing treadmill exercise test. *Int J Med Sci.* 2022 Sep 11; 19(10):1576–1585. doi: 10.7150/ijms.75781. PMID: 36185332; PMCID: PMC9515695.
- Nabeshima Y., Seo Y., Takeuchi M. A review of current trends in three-dimensional analysis of left ventricular myocardial strain. *Cardiovasc Ultrasound.* 2020. Jun 26; 18(1):23. doi: 10.1186/s12947-020-00204-3. PMID: 32591001; PMCID: PMC7320541.
- Truong V. T., Phan H. T., Pham K. N. P., Duong H. N. H., Ngo T. N. M., Palmer C., Nguyen T. T. H., Truong B. H., Vo M. A., Tretter J. T., Nagueh S. F., Chung E. S., Mazur W. Normal Ranges of Left Ventricular Strain by Three-Dimensional Speckle-Tracking Echocardiography in Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Soc Echocardiogr.* 2019. Dec; 32(12): 1586–1597.e5. doi: 10.1016/j.echo.2019.07.012. Epub 2019 Oct 11. PMID: 31611158.

#### Сведения об авторах

**Бартош-Зеленая Светлана Юрьевна** — д.м.н., профессор кафедры функциональной диагностики, ORCID: 0000-0001-7300-1942

**Степанова Виктория Викторовна**, врач отделения функциональной диагностики, Аспирантка 3-го года кафедры функциональной диагностики. ORCID ID: 0009-0006-7141-0586

**Павлова Наталья Евгеньевна**, врач отделения функциональной диагностики. ORCID ID: 0000-0003-4443-5797

**Мамаева Ольга Петровна**, заведующая отделением функциональной диагностики. ORCID ID: 0000-0002-4722-6950

**Щербак Сергей Григорьевич**, д.м.н., профессор, заведующий кафедрой последипломного образования Медицинского факультета Санкт-Петербургского государственного университета, главный врач СПб ГБУЗ Городская больница №40 МЗ РФ. ORCID ID: 0000-0001-5047-2792

<sup>1</sup> Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Север-Западный государственный медицинский университет им. И. И. Мечникова»

<sup>2</sup> СПб ГБУЗ, «Городская больница № 40 Курортного района», Санкт-Петербург, г. Сестрорецк

#### Автор для переписки:

Степанова Виктория Викторовна, e-mail: vikkistepanova16@yandex.ru

#### About authors

**Svetlana Bartosh-Zelenaya** DMedSci, Professor ORCID: 0000-0001-7300-1942

**Victoria Stepanova**, specialist of functional diagnostics department of City Hospital. ORCID: 0000-0001-7300-1942

**Nataliya Pavlova**, specialist of functional diagnostics department of City Hospital. ORCID ID: 0000-0003-4443-5797

**Olga Mamaeva**, Candidate of Medical Sciences, chief of functional diagnostics department of City Hospital. ORCID ID: 0000-0002-4722-6950

**Sergei Sherbak**, MD, PhD, DMedSci, Professor, head of Postgraduate Medical education at St.Petersburg State University, chief physician of City Hospital. ORCID ID: 0000-0001-5047-2792

<sup>1</sup>North-Western State Medical University by I.I. Mechnikov, St-Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup>State hospital №40, Saint-Petersburg, Russian Federation

#### Corresponding author:

Victoria Stepanova, email: e-mail:vikkistepanova16@yandex.ru

Статья поступила / Received 08.04.2023  
Получена после рецензирования / Revised 10.04.2023  
Принята в печать / Accepted 22.04.2023

**Для цитирования:** Бартош-Зеленая С.Ю., Степанова В.В., Павлова Н.Е., Мамаева О.П., Щербак С.Г. Системическая функция левого и правого желудочков и показатели деформации миокарда у лиц молодого возраста с метаболическим синдромом. *Медицинский алфавит.* 2023;(22):50–55. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-50-55>

**For citation:** Bartosh-Zelenaya S. Y., Stepanova V. V., Pavlova N. E., Mamaeva O. P., Sherbak S. G. Systolic function of the left and right ventricles and myocardial strain in young adults with metabolic syndrome. *Medical alphabet.* 2023;(22):50–55. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-50-55>



## Возможности медицинского тепловидения в обследовании и лечении пациентов с ожогами

М. Г. Воловик<sup>1,2</sup>, И. М. Долгов<sup>2</sup>, Ю. В. Карамышев<sup>3</sup>, Ю. А. Лошенко<sup>3</sup>, В. С. Коскин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России, Нижний Новгород

<sup>2</sup> ООО «Дигносис», Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Россия

### РЕЗЮМЕ

Статья обобщает результаты зарубежных и отечественных исследований в области использования медицинского тепловидения на этапах диагностики и лечения ожоговых больных. Представлены возможности нативного и функционального (с использованием фармакологических и холодовых проб) тепловидения в диагностике глубины ожогового поражения, а также оценки эффективности применения некоторых лечебных методик (клеточные технологии, лечение во влажной среде, оценка состояния донорской кожной зоны).

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** тепловидение, ожоги, диагностика, функциональные пробы

**КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ.** Авторы статьи сообщают об отсутствии конфликта интересов.

## Medical thermography as a method to assessment of burn depth and treatment effectiveness in patients with burn injury

M. G. Volovik<sup>1,2</sup>, I. M. Dolgov<sup>2</sup>, Y. V. Karamyshev<sup>3</sup>, I. A. Loshenko<sup>3</sup>, V. S. Koskin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Privolzhsky Research Medical University Nizhny Novgorod, Russia,

<sup>2</sup> LLC "Dignosys" Moscow, Russia

<sup>3</sup> Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation named after S. M. Kirov, Saint Petersburg, Russia

### SUMMARY

In this revue discuss the usefulness of static and active dynamic thermography for burn depth assessment as well as for estimation of the effectiveness of the different treatment modalities (cell therapy, humid ambience, evaluation of the donor skin area)

**KEYWORDS:** medical thermal imaging, burn diagnostic, stress test.

**CONFLICT OF INTEREST.** The authors declared no potential conflicts of interest with respect to the research, authorship, and/or publication of this article.

**СОКРАЩЕНИЯ:** ТПВ — тепловизионный, ТВИ — тепловизионное исследование, ИК — инфракрасный, ХП — холодовая проба

### ВВЕДЕНИЕ

Раннее и точное картирование ожоговых ран, основанное на оценке глубины поражения тканей, является основой для своевременного выбора оптимальной тактики лечения ожогов. Однако определение глубины ожогов в первые трое суток после травмы до сих пор является дискуссионной проблемой. Наиболее сложна дифференциальная диагностика ожогов II и III степеней (или, по классификации, принятой в 1960 году на XXVII Всесоюзном съезде хирургов, IIIА–IIIБ степени), не имеющих между собой в первые сутки после травмы четких различительных клинических признаков. Прогнозирование заживления ожоговой раны при консервативном лечении является одной из наиболее важных клинических задач: при ложноположительной оценке пациенту грозит ненужная операция, при ложноотрицательной — увеличение сроков госпитализации и риск формирования контрактур и гипертрофических рубцов. Точная клиническая оценка глубины ожога возможна, по разным данным, только в 64–76% случаев даже для опытных хирургов-комбустиологов [1–3].

В ряд инструментальных методов диагностики степени термического повреждения, помимо флуоресцентной спектроскопии, ультрасонографии, лазерной доплеровской флоуметрии, «золо-

того стандарта» — биопсии с морфологическим исследованием, входит тепловизионная (ТПВ) оценка ожоговой раны, введенная в практику в 60-х годах 20 века [4].

### НАТИВНОЕ (СТАТИЧЕСКОЕ) ТЕПЛОВИДЕНИЕ

Исследователи 1960-х годов предполагали, что глубокие ожоговые травмы из-за снижения перфузии должны быть холоднее, чем поверхностные [5]. Было показано, что разница между ранами с частичным повреждением толщины кожи и полнослойными составляет около 2 °С.

М. Hackett [6] провел исследование у 109 пациентов с ожогами и обнаружил точность 90% в оценке глубины с помощью нативного (без функциональных проб) тепловидения, основанной на определении разницы в температуре  $\Delta T \geq 1$  °С между ожоговой раной и неповрежденной тканью.

Трудности раннего определения глубины термического повреждения (не только ожогового, но также и отморожений) усугубляются еще и возможностью развития в первые несколько суток после травмы вторичного углубления ран за счет прогрессирующих расстройств микроциркуляции в паранекротической зоне или присоединения местных инфекционных осложнений [7].

Точность ТПВ данных снижается также, когда в ране начинается грануляция. Используя нативное тепловизионное исследование (ТВИ), автор описал ТПВ синдромологию ожогов различной глубины. Так, при ожогах II степени к третьим суткам регистрировалось равномерное повышение температуры в проекции раны с  $\Delta T = 0,66 \pm 0,1$  °C, что свидетельствовало о поверхностном повреждении. ТПВ картина при ожогах IIIA степени характеризовалась зоной неомогенного снижения интенсивности инфракрасного (ИК) излучения с  $\Delta T$  от 1,0 до 2,0 °C, при ожогах IIIB степени — от 2,0 до 3,0 °C. В проекции ожогов IV степени с первых суток с момента травмы регистрировали зону гомогенного снижения ИК излучения с четкими контурами, размеры которой совпадали с площадью клинически определяемого поражения,  $\Delta T$  с окружающими неповрежденными тканями  $\geq 3,0$  °C. О глубоком электроожоге головы свидетельствовало локальное снижение температуры  $\geq 2,5$  °C, но при термическом поражении внутривенных структур в этой зоне регистрировали очаг гипертермии.

Что касается оптимального порогового значения температуры, используемого для ТПВ разделения ожогов IIIA степени, способных к самостоятельной эпителизации в срок до 21 суток, и IIIB, требующих оперативного лечения, при нативном ТВИ это значение было эмпирически установлено примерно на 1,45 °C ниже температуры здоровой кожи [8].

J. D. Medina-Preciado et al. [9] дифференцировали у детей глубокие ожоги, подлежащие некрэктомии и кожной пластике, от поверхностных, пользуясь простым признаком: гипотермия первых и гипертермия вторых по сравнению с симметричной интактной областью. Проведя сравнительное исследование точности гистологической и нативной ТПВ диагностики обожженных тканей, авторы получили 100% совпадение для всех классов поражения по глубине, при этом точность клинической оценки при поверхностных ожогах составила 83,3%, а при глубоких — 42,8%.

M. E. Carrière et al. [10] на выборке из 37 пациентов показали, что в пределах 2–5 суток после травмы в части определения длительности лечения (до 14 суток и более 21 суток) результаты ТПВ исследования очень хорошо коррелируют с данными лазерной доплеровской флоуметрии, являющейся, де-факто, общепринятым референтным методом.

Сходные результаты представлены в работе Jaspers M. E.H., et al [11]: значение  $\Delta T = 0,1$  °C (разница между средней температурой в области ожога и на интактной коже аналогичной площади) с чувствительностью 80% и специфичностью 80% позволяет дифференцировать ожоги, требующие хирургического вмешательства, от тех, где оптимальным и достаточным является консервативное лечение.

M. A. Martínez-Jiménez et al. [12], исследуя пациентов в первые-третьи сутки после ожога конечностей (всего 56 пациентов) установили, что на основании ТПВ критерия « $\Delta T$ » (разница температуры между поврежденной и здоровой кожей) с точностью до 85% можно определить оптимальную тактику лечения (консервативное лечение/ кожная пластика /ампутация).

Клинические признаки, с высокой достоверностью свидетельствующие о глубине термического поражения кожных покровов или костей черепа, формируются только к 5–7 суткам после ожога, и для объективной диагностики необходимы повторные аппаратные и лабораторные исследования. Тепловидение показало высокую эффективность в определении, прежде всего, границ участков ожога IIIA-IIIB степени, однако оказалось недостаточно

успешным в оценке обширных термических повреждений кожных покровов, особенно при их мозаичности (что нередко встречается при ожогах кипятком или химическими агентами).

Существенным шагом вперед стало применение нагрузочных проб (холодовых, фармакологических) для решения задачи оценки глубины ожогового повреждения. Так, в работе Renkielska A. et al. [13] показано, что точность прогноза по выбору метода лечения (консервативный/хирургический) для ТВИ с ХП составляет 83,0% и практически совпадает с результатами гистопатологического исследования (84,0%), что существенно лучше результатов только клинического обследования (60,7%) и нативного ТВИ (69,6%).

Вместе с тем, практика нативного ТВИ по-прежнему, распространена как при лечении взрослых [14], так и детей [15].

### ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ ТЕПЛОВИДЕНИЕ

Руководствуясь необходимостью поиска максимально быстрого и эффективного решения по выбору оптимальной тактики ведения ожоговых больных, с 90-х годов прошлого века начались исследования различных функциональных проб с целью разработки методики, которая, на основании оценки динамики тепловой картины до и после воздействия, позволила бы определить глубину ожога и повысить точность картирования (зонирования) ожоговой поверхности в части локализации ожогов различной степени.

В истории решения проблемы ТПВ оценки глубины ожогового поражения в отечественной комбустиологии можно выделить несколько этапов.

Способ диагностики ожогов IIIA-IIIB степени был запатентован в 1995 году В. М. Лёвиным и др. [16]. ТПВ методика дифференциальной диагностики ожогов IIIA и IIIB степени основана на различной реакции на охлаждение участков кожи с сохранившимся и отсутствующим сосочковым слоем и позволяет определить в ранние сроки (до 3 суток с момента травмы) наличие глубоких полнослойных ожогов. Перед холодной пробой (ХП) регистрируют исходную ТПВ картину ожоговой раны, после чего на всю обожженную поверхность накладывают однослойную марлевую салфетку, смоченную 0,9% раствором NaCl, охлажденным до +7 °C. Через одну минуту салфетку снимают и в течение трех минут регистрируют динамику восстановления тепловой картины. Участки, на которых к концу третьей минуты уровень интенсивности ИК излучения восстанавливается до исходного, относят к ожогам IIIA степени (поверхностным, или дермальным), те же участки, где этого не происходит — к ожогам IIIB степени (глубоким полнослойным). Количество необходимых исследований зависит от площади и локализации поражения: при локальном ожоге IIIA-IIIB степени на площади до 10% поверхности тела проводят ХП на всей этой поверхности, в случае различной локализации ожоговых ран или при площади поражения свыше 10% поверхности тела ХП проводят на нескольких участках последовательно. Однако данный способ не позволяет оценить степень поражения дермы при ожогах IIIA степени, насколько состоятельно кровоснабжение и микроциркуляция в пораженном участке в условиях общей и местной гипоксии. Кроме того, при температуре хладагента от 8 °C и ниже клинически и гистологически было продемонстрировано увеличение количества и площади некрозов в ране; при 12–18 °C ятрогенно спровоцированные некрозы отсутствовали, а эффект охлаждения сохранялся в пределах 30 минут [17].

Способ диагностики ожогов ША степени был вариантом решения задачи дифференциальной диагностики неполнослойных пограничных ожогов с разной степенью повреждения сосочкового слоя с помощью фармакологической пробы: внутривенного введения реополиглокина — препарата, улучшающего микроциркуляцию [18]. Регистрируют ТПВ картину ожоговой раны до и после внутривенного капельного введения реополиглокина из расчета стандартной дозировки 10 мл/кг массы тела. Сопоставляют значения  $\Delta T$  поверхности ожоговой раны и окружающих неповрежденных участков кожи на этапах «до» и «после». Увеличение градиента температуры свидетельствует о глубоком поражении дермы, уменьшение — о поверхностном ожоге. Более точно можно картировать поверхность ожога, если дополнить фармакологическую пробу холодной (до и после введения реополиглокина): отсутствие существенных нарушений термотопографии ожоговой раны в конце ХП после введения, по сравнению с результатами ХП до введения препарата дает основание высказаться в пользу поверхностного ожога. Достоверность ТПВ дифференциальной диагностики ожогов ША и ШБ степеней в сроки до 3 суток, по данным авторов, составила 98%.

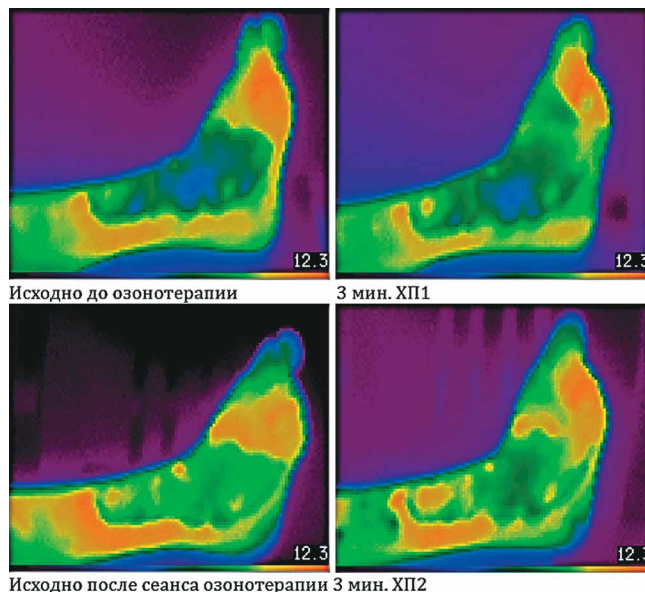
Вариантом сочетания фармакологической и ХП является оценка глубины поражения с помощью 0,9% раствора NaCl, насыщенного озоном во время сеанса внутривенной озонотерапии [19]. ТПВ исследование проводят перед, а также в течение 3 минут после наложения салфетки, пропитанной раствором (экспозиция 5 минут). По изменению значения  $\Delta T$  в участках ожоговой раны по сравнению с интактной кожей судят о глубине поражения: при уменьшении  $\Delta T$  после сеанса озонотерапии диагностируют поверхностные ожоги, а при увеличении  $\Delta T$  — глубокие ожоги (рис. 1).

ТПВ измерение местного сосудорасширяющего эффекта озонотерапии объективно оценивает глубину поражения на всех участках ожоговой раны в ранние (до 3 суток) сроки после травмы.

В этот же период в Нижегородском Республиканском ожоговом центре была отработана «универсальная» ХП для функционального ТВИ: после регистрации нативной тепловой картины на участок ожоговой раны с захватом (при возможности) окружающих тканей равномерно накладывают двухслойную стерильную салфетку, смоченную любым антисептическим раствором (физраствора, фурацилина, риванола, пливасепта и др.) с температурой 18–20 °С. Время экспозиции — 1 минута. Динамику восстановления тепловой картины ожоговой поверхности после снятия салфетки проводят в течение 3 минут в режиме покадровой съемки или термофильма [20]. Оценка глубины поражения по результатам ХП (через 3 минуты после удаления охлаждающей салфетки): — поверхностный (дермальный) ожог II степени: по сравнению с исходной температура не изменилась либо повысилась (рис. 2); — пограничный ожог (ША степени): по сравнению с исходной температура после пробы ниже, но не более чем на 1 °С; — глубокий ожог (ШБ степени): по сравнению с исходной температура после пробы ниже более чем на 1 °С (рис. 3, 4).

Вышеописанная ХП эффективна при оценке глубины поражения в первые трое суток после термической травмы как при ограниченных, так и при обширных ожогах [20]. Общее время диагностической процедуры занимает не более 5 минут [21].

Помимо оценки глубины поражения, ХП позволяет решать и некоторые другие вопросы лечения пациентов с ожоговой травмой.



Исходно после сеанса озонотерапии 3 мин. ХП2

Рис. 1. ХП на ожоговой ране наружной поверхности правой голени и стопы до (верхний ряд, ХП1) и после (нижний ряд, ХП2) сеанса озонотерапии: глубоких ожогов (ШБ степени) нет

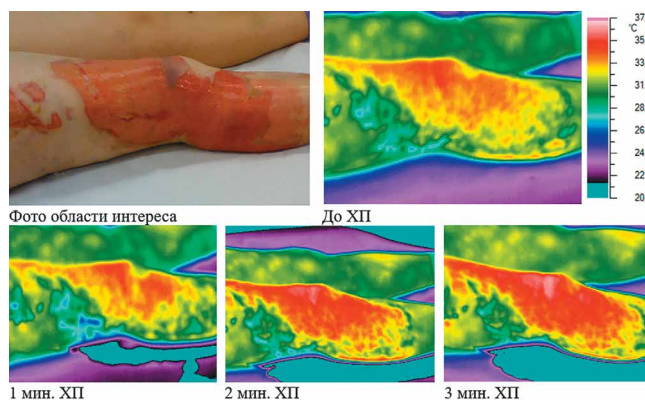


Рис. 2. ХП в 1-е сутки после травмы при поверхностном (дермальном) ожоге правой нижней конечности. На поверхности ожоговой раны нет участков, отставших в восстановлении за контрольное время

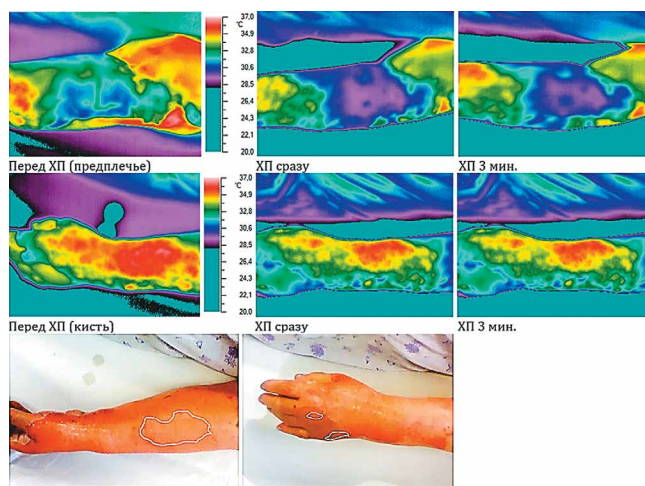


Рис. 3. ХП в 1-е сутки после травмы на двух участках ожоговой раны — предплечье и кисти, с оценкой глубины поражения. На фотографиях в нижнем ряду отмечены зоны глубокого (ШБ степени) ожога разной площади. Область на предплечье подлежит пластике в ранние сроки, области на кисти способны к самостоятельной реэпителизации

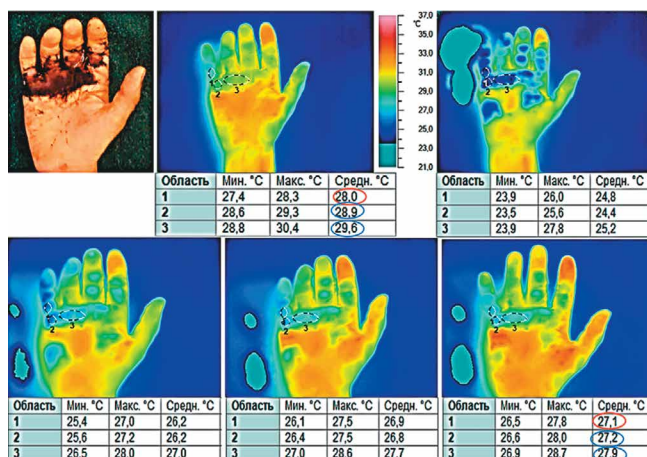


Рис. 4. Б-й М., 5 лет, контактный ожог правой кисти: фотография области интереса, термограммы до ХП, сразу после, через 1, 2, 3 мин. после ХП. Глубокий ожог — зоны 2 и 3 (снижение к концу пробы в каждой на 1,7 °С, значения обведены синим), в зоне 1 на основной фаланге V пальца — поверхностный ожог (снижение 0,9 °С, обведены красным)

Так, ТВИ с ХП позволяет достоверно прогнозировать результат применения клеточных технологий [22]. Прогноз основан на температуре раны через 3 минуты после удаления охлаждающей салфетки: если значение в области интереса равно или несколько меньше (до 0,3 °С) исходного — прогноз на приживление клеток позитивный (рис. 5, табл. 1).

Результат применения клеточных технологий у ребенка 12 лет с мозаичным (содержащим участки IIIA и IIIB) ожогом на бедре с подсадкой аутоклеток по всей поверхности ожоговой раны и фиксацией их клеем «Тиссукол» [22] показан на рис. 6 и в табл. 2: в области (3), где исходно (до подсадки клеток) регистрировали самое замедленное восстановление температуры после ХП, рана эпителизовалась позднее контрольного срока.

Методика ТВИ со стандартной ХП предложена для оценки терморегуляторных возможностей ран донорской зоны [23]. На 10 сутки после внутридермального введения аутологичной стромально-васкулярной фракции жировой ткани, обогащенной мезенхимальными стволовыми клетками, проводили ХП на исследуемом и контрольном участках раны, ТПВ изображения анализировали через 3 минуты после пробы. Показано, что исследуемые участки достоверно быстрее контрольных восстанавливали исходное температурное распределение (рис. 7).

Более интенсивное восстановление температуры, как ранее было установлено для нормальных и поврежденных кожных покровов [24], отражает более высокие адаптационные возможности исследуемого участка. Определенные параметры чувствительности и специфичности ТПВ методики в диагностике различий состояния новообразованной кожи в этой области показали значения, сравнимые с «золотым стандартом» — биопсией.

Сочетание ТВИ с ХП оказалось эффективным для выработки критериев прогноза течения раневого процесса при применении различных методов лечения, для определения целесообразности назначения (продолжения) примененного способа лечения либо своевременной замены его на альтернативный и др. На этапах лечения ожогов в управляемой влажной среде [25] методика позволяет в ранние сроки дифференцировать зоны, в которых заживление происходит быстро, от прогностически неблагоприятных участков, а также от пограничных (сомнительных) зон.

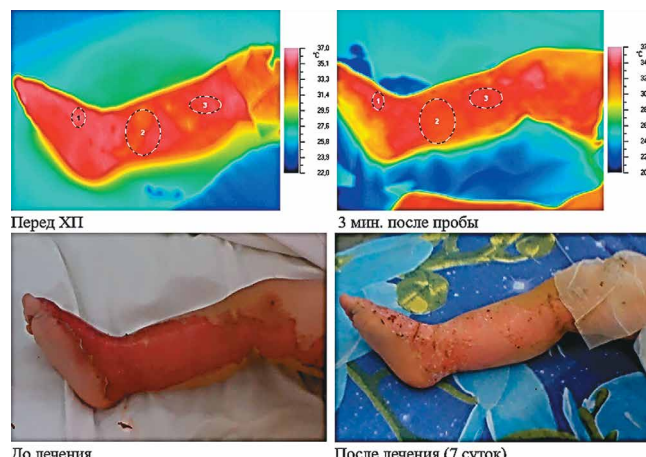


Рис. 5. Б. 4 г. Использование ХП для ТПВ контроля результата применения клеточных технологий при лечении поверхностного ожога. Области интереса обозначены пунктиром: 1 — стопа; 2 — средняя треть голени; 3 — верхняя треть голени

Таблица 1  
Значение температуры в областях интереса (как на рис. 5) до и после ХП

	До пробы	3 мин. после пробы	После лечения
Стопа (1)	34,2	34,4 \ (+0,2)	35,1
Ср\3 голени (2)	33,6	33,3 \ (-0,3)	34,1
в\3 голени (3)	34,3	34,2 \ (-0,1)	34,7

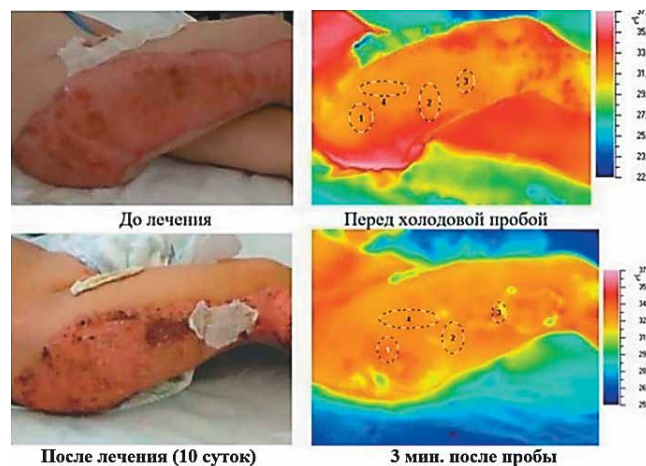


Рис. 6. ТПВ контроль результата применения клеточных технологий при лечении мозаичного ожога у ребенка 12 лет с помощью стандартной ХП

Таблица 2  
Оценка прогноза заживления ожоговых ран по динамике температур (°С) с использованием ХП

	До ХП	3 мин. после ХП	ΔТ (ХП3 мин.-ХПдо)	После лечения
Ягодица (1)	32,2	30,8	-1,4	32,6
Верхняя треть бедра (4)	32,4	30,9	-1,5	32,7
Средняя треть бедра (2)	32,0	31,3	-0,7	32,8
Нижняя треть бедра (3)	32,3	30,5	-1,8	Неполное заживление

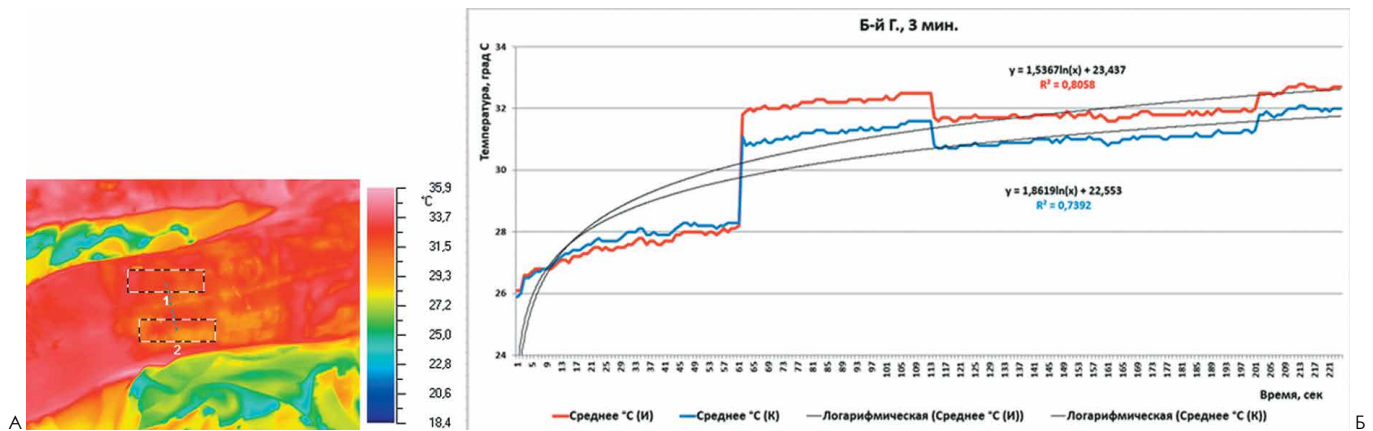


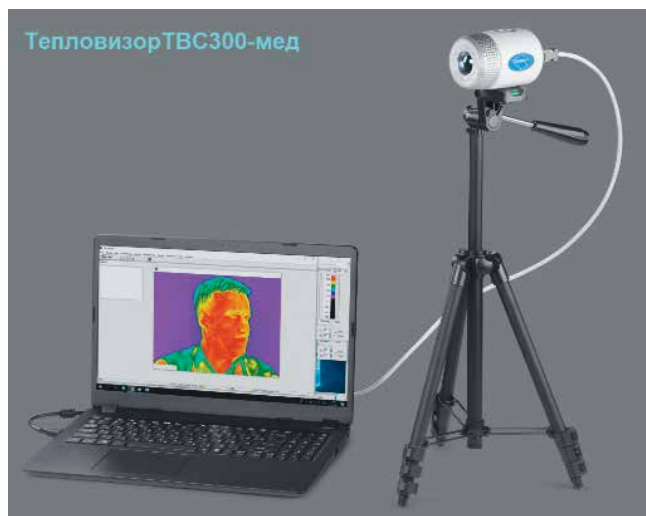
Рис. 7. ТВИ с ХП на области раны донорской зоны. А — термограмма: 1 — исследуемая область; 2 — контрольная область. Б — кривые восстановления температуры после ХП: в исследуемой зоне (красная кривая); в контрольной зоне (синяя кривая). Логарифмические кривые зависимости скорости восстановления температуры от времени в этих областях (серый цвет)

Для выработки критериев оценки глубины необходим регрессионный анализ ИК данных. Подтверждены две гипотезы: 1) Глубина ожога, от которой зависит целесообразность применения влажной среды, может быть установлена по значениям прироста температуры в единицу времени после ХП по методике, описанной выше. 2) Глубина ожога определяет степень отклонения кривой восстановления температуры после ХП от логарифмической зависимости.

#### ТЕПЛОВИЗИОННАЯ ТЕХНИКА

Используемые в последние 15 лет в международной (в т.ч., российской) клинической практике тепловизоры относятся к матричным неохлаждаемым приборам, работающим в диапазоне длин волн 8–14 микрон и имеющим разрешение до 640x480 пикселей, чувствительность не хуже 0,03–0,04 °С, со скоростью съемки до 30 кадров/сек. В различных форматах исполнения вес прибора не превышает 1 кг. Такие массо-габаритные параметры позволяют применять тепловизоры без потери качества термоснимков не только в стационарных условиях (диагностические кабинеты), но непосредственно в приемном отделении, палатах стационара (интенсивной терапии), на выезде скорой помощи [27].

Рис. 8 Тепловизор ТВС300-мед (ООО «СИЛАР»), Санкт-Петербург



В России в настоящее время разрешен к применению тепловизор ТВС300-мед (ООО «СИЛАР», Санкт-Петербург) с чувствительностью 0,03 °С и частотой кадров не менее 50 кадров/сек. (рис. 8), а также используются различные модели тепловизоров компании NEC (Япония), зарегистрированные ранее и работающие в настоящее время во многих клиниках страны.

Приборы не нуждаются в обслуживании, не требуют расходных материалов.

#### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Медицинское тепловидение, в части обследования и лечения больных с ожогами, позволяет выработать воспроизводимые численные критерии, по которым можно непосредственно оценивать адекватность конкретной клинической тактики. Как метод тепловидение не зависит от прецедентного опыта исследователя, результат легко интерпретируется.

В совокупности, медицинское тепловидение является эффективной технологией, применимой на всех этапах лечения ожоговых пациентов, особенно в тех случаях, когда существует потребность в помощи принятия решения специалистам, работающим вне специальных ожоговых отделений или центров.

#### Список литературы / References:

1. Jaskille A. D., Shu P. J. W., Jordan M. H., Jeng J. C. Critical review of burn depth assessment techniques: Part I. Historical review // *J Burn Care Res Off Publ Am Burn Assoc.* 2009 Dec; 30(6):937–947.
2. Burke-Smith A., Collier J., Jones I. A comparison of non-invasive imaging modalities: Infrared thermography, spectrophotometric intracutaneous analysis and laser Doppler imaging for the assessment of adult burns // *Burns* 2015; 41 (8):1695–1707. doi: 10.1016/j.burns.2015.06.023
3. Janicki M., Tylman W., Kuzanski W., Napieralski A. Application of infrared thermography for early assessment of burn wound depth in children — a preliminary study // *2012 Quantitative InfraRed Thermography.* <http://dx.doi.org/10.21611/qirt.2012.237>
4. Lawson R. N., Wlodek G. D., Webster D. R. Thermographic assessment of burns and frostbite // *Can Med Assoc J.* 1961 May 20;84(20):1129–1131. PMID: 13759724; PMCID: PMC1939622
5. Mladick R., Georgiade N., Thorne F. A clinical evaluation of the use of thermography in determining degree of burn injury // *Plastic and Reconstructive Surgery.* 1966; 38(6):512–518. doi: 10.1097/00006534-196638060-00003
6. Hackett M. E. The use of thermography in the assessment of depth of burn and blood supply of flaps, with preliminary reports on its use in Dupuytren's contracture and treatment of varicose ulcers // *British*

- Journal of Plastic Surgery* 1974, vol. 27, P. 311–317. [http://dx.doi.org/10.1016/0007-1226\(74\)90028-9](http://dx.doi.org/10.1016/0007-1226(74)90028-9)
7. Кошечкин С. В. Диагностические возможности теплорадиовидения для определения глубины ожогов в ранние сроки. Автореф. дис... канд. мед. наук. Н. Новгород, 1992.
  8. Liddington M. L., Shakespeare P. G. Timing of the thermographic assessment of burns // *Burns*. 1996 Feb;22(1):26–28. Doi: 10.1016/0305-4179(95)00076-3
  9. Medina-Preciado J.D., Kolosovas-Machuca E.S., Velez-Gomez E. et al., Noninvasive determination of burn depth in children by digital infrared thermal imaging // *J. Biomed. Opt.* 2013. 18(6), 061204. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.18.6.061204> PMID: 23111601
  10. Carrière M. E., de Haas L. E.M., Pijpe A. et al. Validity of thermography for measuring burn wound healing potential // *Wound Repair Regen.* 2020. May;28(3):347–354. doi: 10.1111/wrr.12786
  11. Jaspers M. E.H., Maltha I., Klaessens J. H.G.M. et al. Insights into the use of thermography to assess burn wound healing potential: a reliable and valid technique when compared to laser Doppler imaging // *J Biomed Opt.* 2016 Sep 1; 21(9):96006. <https://doi.org/10.1117/1.JBO.21.9.096006>
  12. Martínez-Jiménez M.A., Luna J. L.R.-G., Kolosovas-Machuca E.S. et al. Development and validation of an algorithm to predict the treatment modality of burn wounds using thermographic scans: Prospective cohort study // *PLoS ONE*; November 2018. 13(11): e0206477. 16 pp. DOI: 10.1371/journal.pone.0206477
  13. Renkielska A., Kaczmarek M., Nowakowski A. et al. Active dynamic infrared thermal imaging in burn depth evaluation // *J. Burn Care Res.* 2014 Sep-Oct. 35(5): e294–303. DOI: 10.1097/BCR.0000000000000059
  14. Kaczmarek M. TSR method for burns investigation approach // 14th Quantitative InfraRed Thermography Conference (QIRT-2018), Berlin, Germany, June 24–29, 2018. Tu.2.B.2, 6 pp.
  15. Ganon S., Guedon A., Cassier S., Atlan M. Contribution of thermal imaging in determining the depth of pediatric acute burns // *Burns* 46 (5) (2020) 1091–1099.
  16. Способ диагностики ожогов ША-ШВ степени. Авторы: Левин В. М., Кошечкин С. В., Абызова Н. Е. (Патент РФ № 2085109, 1995).
  17. Venter T. H., Karpelowsky J. S., Rode H. Cooling of the burn wound: the ideal temperature of the coolant // *Burns*. 2007 Nov;33(7):917–922. doi:10.1016/j.burns.2006.10.408
  18. Способ диагностики ожогов ША степени. Авторы: Прилучный М. А., Аминев А. В., Колесов С. Н., Аминев В. А. (Патент РФ № 2144308, 2000).
  19. Способ диагностики глубины ожоговой раны. Авторы: Кислицын П. В., Аминев В. А., Прилучный М. А., Колесов С. Н. (Патент РФ № 2339300, 2008).
  20. Колесов С. Н., Аминев В. А., Кошечкин С. В. и др. Ранняя диагностика глубины ожогового повреждения тепловизионным методом. Методические рекомендации. Нижний Новгород, ФГУ «ННИИТО Росздрава», 2006. 9 с.
  21. Ачкасов Е. Е., Воловик М. Г., Долгов И. М., Колесов С. Н. Медицинское тепловидение. Учебное пособие. М.: ИНФРА-М, 2019. ISBN: 978-5-16-015293-6 [www.dx.doi.org/10.12737/textbook\\_5ce64de5707d59.18786697](http://www.dx.doi.org/10.12737/textbook_5ce64de5707d59.18786697)
  22. Воловик М. Г., Долгов И. М., Хрипковский Д. Н. Функциональные пробы в медицинском тепловидении. М.: Дигносис, 2023. 130 с. ISBN: 978-5-16-018784-6. [www.dx.doi.org/10.12737/monography\\_646341497049a9.30616752](http://www.dx.doi.org/10.12737/monography_646341497049a9.30616752)
  23. Способ лечения глубоких ожогов на ранних этапах. Авторы: Карякин Н. Н., Докукина Л. Н., Алейник Д. Я., Аминев В. А., Квицинская Н. А., Соколов Р. А. (Патент РФ 2499603, 2013)
  24. Ryabkov M. G., Egorikhina M. N., Koloshein N. A. et al. Effectiveness and Safety of Transplantation of the Stromal Vascular Fraction of Autologous Adipose Tissue for Wound Healing in the Donor Site in Patients with Third-Degree Skin Burns: A Randomized Trial // *Med J Islam Repub Iran.* 2023 (21 Jun);37:70. DOI: 10.47176/mjiri.37.70
  25. Воловик М. Г. Динамическое инфракрасное картирование терморегуляторных процессов в биологических тканях. Автореф. дис... доктора биологических наук. Пушкино, 2016. 45 с.
  26. Карякин Н. Н., Клеменова И. А., Лузан А. С. Результаты лечения ожоговых ран конечностей в условиях влажной среды. Хирургия. Журнал им. Н. И. Пирогова. 2017;(7):4043. Karyakin NN, Klemenova IA, Luzan AS. The outcomes of lower extremities burn wounds management by using of controlled moist environment. *Pirogov Russian Journal of Surgery = Khirurgiya. Zhurnal im. N. I. Pirogova.* 2017;(7):4043. (In Russ.) <https://doi.org/10.17116/hirurgia2017740-43>
  27. Brioschi M. L., Silva F. M.R.M., Matias J. E.F. et al. Infrared Imaging for Emergency Medical Services (EMS): Using an IR camera to identify life-threatening emergencies // *InfraMation 2008 Proceedings* <https://infraredsolutions.co.nz/wp-content/uploads/2020/05/Thermal-imaging-use-by-ambulance-services.pdf>

#### Сведения об авторах

**Воловик Михаил Григорьевич**, д.б.н., в.н.с.<sup>1,2</sup>  
**Долгов Игорь Маратович**, д.м.н., заместитель Генерального директора<sup>2</sup>  
**Карамышев Юрий Владимирович**, адъюнкт кафедры рентгенологии и радиологии с курсом ультразвуковой диагностики<sup>3</sup>  
**Лошенко Юрий Андреевич**, к.м.н., врач-хирург отделения неотложной хирургии клиники военно-полевой хирургии<sup>3</sup>  
**Коскин Валерий Сергеевич**, к.м.н., преподаватель кафедры военно-полевой хирургии<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России, Нижний Новгород;

<sup>2</sup> ООО «Дигносис», Москва, Россия

<sup>3</sup> ФГБОУ ВО «Военно-медицинская академия им. С. М. Кирова» Министерства обороны Российской Федерации, Россия

#### Автор для переписки:

Воловик Михаил Григорьевич, e-mail: volovik@dignosys.com

#### About authors

**Mikhail Grigorievich Volovik**, head of expert department, PhD in Biology, senior scientific researcher<sup>1,2</sup>  
**Igor Maratovich Dolgov**, MD, PhD, deputy director<sup>2</sup>  
**Yuri Vladimirovich Karamyshev**, Associate Professor of the Department of Radiology and Radiology with a Course in Ultrasound Diagnostics<sup>3</sup>  
**Iurii Andreevich Loshenko**, MD, surgeon of War Surgery Department and Clinic<sup>3</sup>  
**Valery Sergeevich Koskin**, MD, lecturer of War Surgery Department<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Privolzhsky Researrch Medical University Nizhny Novgorod, Russia,

<sup>2</sup> LLC "Dignosis" Moscow, Russia

<sup>3</sup> Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation named after S. M. Kirov, Saint Petersburg, Russia

#### Corresponding author:

Mikhail Grigorievich Volovik, e-mail: volovik@dignosys.com

Статья поступила / Received 10.08.2023  
 Получена после рецензирования / Revised 20.08.2023  
 Принята в печать / Accepted 28.08.2023

**Для цитирования:** Воловик М. Г., Долгов И. М., Карамышев Ю. В., Лошенко Ю. А., Коскин В. С. Возможности медицинского тепловидения в обследовании и лечении пациентов с ожогами. *Медицинский алфавит.* 2023;(22):56–62. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-56-62>

**For citation:** Volovik M. G., Dolgov I. M., Karamyshev Y. V., Loshenko I. A., Koskin V. S. Medical thermography as a method to assessment of burn depth and treatment effectiveness in patients with burn injury. *Medical alphabet.* 2023;(22):56–62. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-56-62>



## А. Ф. Самойлов: от синапса к системной организации функций

М. А. Подольская, Ю. Э. Терегулов

Казанская государственная медицинская академия, филиал ФГБОУ ДПО РМАНПО МЗ РФ, Казань

### РЕЗЮМЕ

Один из ведущих мировых физиологов конца XIX — первой трети XX столетий, доктор медицины, профессор, заведующий кафедрой физиологии Казанского университета, лауреат Ленинской премии, Заслуженный деятель науки РСФСР Александр Филиппович Самойлов (1867, Одесса — 1930, Казань) известен как один из создателей теории и практики электрокардиографии, внедрения этого метода в клинику. В 1924 году А. Ф. Самойлов доказал химическую природу перехода возбуждения с нерва на мышцу. Многие фундаментальные работы ученого посвящены спинальным и центральным нервным механизмам. Как ученик и последователь И. М. Сеченова, А. Ф. Самойлов на материале своих работ шел к формулированию принципов системности организации функций у животных и человека. Ученым исследованы системы кодирования символов в записи нот. На примере описанного им в 1929 году кольцевого ритма возбуждения мышцы А. Ф. Самойлов предвосхитил модель автоматической саморегулирующейся системы и системного социального кольцевого взаимодействия.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** А. Ф. Самойлов, И. М. Сеченов, электрокардиография, кольцевой ритм, кодирование символов, системная организация функций, автоматическая саморегулирующаяся система.

## A.F. Samoilov: from synapse to systemic organization of functions

M.A. Podolskaya, Yu. E. Teregulov

IKSMA-Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE Ministry of Health of Russia, Kazan

### SUMMARY

One of the world's leading physiologists of the late 19th — the first third of the 20th centuries, Doctor of Medicine, Professor, Head of the Department of Physiology of Kazan University, Lenin Prize winner, Honored Scientist of the RSFSR Alexander Filippovich Samoilov (1867, Odessa — 1930, Kazan) is known as one of the creators of the theory and practice of electrocardiography, introduction of this method into the clinic. In 1924, A. F. Samoilov proved the chemical nature of the transition of excitation from a nerve to a muscle. Many fundamental works of the scientist are devoted to spinal and central nervous mechanisms. As a student and follower of I. M. Sechenov, A. F. Samoilov proceeded to formulate the principles of systematic organization of functions in animals and humans based on the material of his works. The scientists studied the systems of coding characters in the notation of notes. On the example of the circular rhythm of muscle excitation described by him in 1929, A. F. Samoilov anticipated the model of an automatic self-regulating system and systemic social circular interaction.

**KEY WORDS:** A. F. Samoilov, I. M. Sechenov, electrocardiography, ring rhythm, symbol coding, system organization of functions, automatic self-regulating system.



*«Тот, кто владеет законами явлений, приобретает не только знания, он приобретает и мощь, и силу внедряться в течение природных явлений и направлять их по своему желанию на свою пользу. Он приобретает способность проникать в будущий ход явлений, он на самом деле приобретает способности, которые в суеверную эпоху приписывались пророкам»*

**А. Ф. Самойлов, 1925**

Успехи физиологии второй половины XIX столетия в изучении локализации функций к началу XX столетия привели к неизбежности объединения этих знаний в систему, способную объяснить деятельность целостного организма. Физиологи по фрагментам собирали картину физиологического устройства животных, и, в особенности, человека. Лидеры физиологии эту мозаику обобщали. Наиболее сложным на этом пути стал этап поиска механизмов произвольной деятельности обладателя второй сигнальной системы — человека.

### РЕФЛЕКС В СИСТЕМНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ФУНКЦИЙ

Математик, философ, физик и физиолог Рене Декарт (1596–1650) в XVII веке рассматривал тело животного и человека как почти лишённую чувств и мыслей живую машину, отвечающую на внешние раздражения рефлексом [1]. Его последователь в разработке данной проблемы Ж. О. Ламетри (1709–1751), тоже считавший тело человека машиной, писал о Декарте «...он понимал характер физической природы живых существ, он первый блестяще доказал, что животные являются простыми машинами» [2]. Декарт, говоря о «страстях души», то есть о чувствах человека, уже намекает на опыте взаимосвязи тела и души. Дальнейшие путь в этой глобальной проблеме пролагали российские физиологи. Учение о рефлексах головного мозга как основе психической деятельности человека в 1863 году в своей революционной книге «Рефлексы головного мозга» опубликовал Иван Михайлович Сеченов [3]. В ней Сеченов говорит о невольных и произвольных движениях, о символизации воздействующих на организм раздражителей, о сложной системе взаимодействия рефлексов в психике и деятельности человека, об обучаемости ребенка не рефлекторной деятельности, а поведению. На примере возникающих в развитии ребенка зрительно-осознательных, мышечно-осознательных связей Сеченовым определены механизмы образования ассоциаций условных рефлексов. За этот труд И. М. Сеченова клерикалы обвинили в попытке свести «божественную» психику человека на физиологические основы. Но ученый в 1873 году в работе «Кому и как разрабатывать психологию?» [4] обсудил два этапа развития мышления у ребенка под действием сигналов из окружающей среды и развил эти идеи в работах «Элементы мысли» [5], «О предметном мышлении с физиологической точки зрения» [6] и других. Идею Сеченова о физиологическом механизме символизации предметов и явлений как основе абстрактного словесного мышления и сознания подхватили И. П. Павлов и его школа. Сознание — словесно оформленный феномен психики. У человека существует сигнал — слово, способ абстрагироваться, обобщать огромное количество сигналов первой системы, ориентироваться в окружающей среде. Появилось учение о двух связанных сигнальных системах человека как механизме его высшей нервной деятельности. Первый доклад об этом «Экспериментальная психология и психопатология» сделан И. П. Павловым на Международном Медицинском конгрессе в Мадриде в 1903 году.

В эпоху зарождения и проверки этих идей рядом с учителями работал молодой физиолог Александр Филиппович Самойлов. В 1892–1894 годы он ассистент у Ивана Петровича Павлова в Институте экспериментальной медицины в Санкт-Петербурге, в 1894–1903 годы сверхштатный лаборант у Ивана Михайловича Сеченова в Московском университете и приват-доцент кафедры физиологии. Сеченов философ физиологии. Самойлова влекло к его методам изучения тончайших механизмов жизни на стыке физиологии, химии, физики, заворачивали измерения животного электричества, возбудимости нервов и мышц. «*Это физическое направление в постановке вопросов во мне окрепло и определило характер всей моей дальнейшей научной деятельности*», — вспоминал А. Ф. Самойлов [7]. У Сеченова пришлось заново

проштудировать немецкое руководство Бидермана по электрофизиологии, в курсе физики досконально изучить разделы оптики и электричества. «*Этими разделами физики Александр Филиппович владел с тем завидным совершенством, которое позволяет быть хозяином науки*», — вспоминал его ученик и сотрудник профессор И. А. Ветехин. Ученики назовут Самойлова «Гельмгольцем нашего времени» [8]. Десять лет плодотворной работы у Сеченова, эксперименты в лаборатории, доцентура, чтение лекций по физиологии органов чувств, физиологической акустике и оптике, электрофизиологии мышц и нервных стволов, ежегодно 2–3 публикации в европейских научных журналах. Самойлов исследует физиологию органов чувств и публикует результаты по зрению [9], [10], [11], по слуху [12], по голосообразованию [13], [14].

### САМОЙЛОВ И МУЗЫКА

Александр Самойлов был хорошим пианистом, час-полтора по вечерам обязательно музицировал на рояле. В 1902 году в Москве Александр Филиппович собрал общество молодых московских композиторов и музыковедов во главе с С. И. Танеевым в «Научно-музыкальный кружок» для изучения и обсуждения физиологических и психологических механизмов музыки. Самойлова избрали председателем. Физиологией было модно увлекаться. Молодой ученый рассказывал мастерам композиции весьма полезные и неожиданные для них вещи. Русская музыкальная газета № 1 за 1902 год сообщала, какие приборы акустического кабинета при ушной клинике им. Базановой 22 января 1902 года демонстрировали членам кружка А. Ф. Самойлов и его ученик биофизик и будущий академик П. П. Лазарев:

1. *Прибор Маха для наглядной демонстрации звуковых волн;*
2. *Явление резонанса и звучание камертонов, настроенных в унисон;*
3. *Мажорная диатоническая гамма из камертонов чистой настройки;*
4. *Определение числа колебаний звука по длине волн, образующихся в стеклянной трубке;*
5. *Предельная для восприятия ухом высота звука в металлических цилиндрах и камертонах чрезвычайно высокой настройки;*
6. *Сила и продолжительность резонанса в резонаторах;*
7. *Поднятие высоты звука в сирене под влиянием усиливающегося притока воздуха, ускоряющего её вращение;*
8. *Явление дрожания звука в приборе с двумя сиренами, одна из которых расстраивается вращением ручки в обратную сторону, и на органах трубок;*
9. *Отличие тембра открытых и закрытых органов трубок;*
10. *Сравнение интервалов различной настройки в языковой фисгармонии — чистой, пифагоровой и темперированной большой терции, чистой и темперированной квинты.*

На следующем собрании 12 февраля 1903 года на кафедре Московского университета А. Ф. Самойлов демонстрировал акустические опыты: «Кривая колебаний камертона»; «Сложение колебаний»; «Объективный способ оценки правильности интонации звука»; свое изобретение «Скрипка как тестер в акустических опытах при изучении восприятий звуков». Для широкого круга А. Ф. Самойлов прочитал

в Московском университете серию публичных лекций «Звук и музыка» с демонстрацией опытов. Интерес был огромный. Чего ожидал от этой деятельности физиолог Самойлов? На этом этапе своих познаний теории звуковоспроизведения и звуковосприятия он пока что просвещал. Позже эти знания приведут ученого к решению задач нового, системного уровня системных. В эти годы накопленный физиологами фрагментарный запас фактов начал переходить из количества в качество, объединялся в картину целостной системы организации функций. А. Ф. Самойлов хорошо помнил работы И. М. Сеченова о роли мышц в познании окружающего мира и приспособления к нему, об ассоциациях условных рефлексов, о страстности психического рефлекса, влиянии на него наслаждения, удивления, страха, об абстрактном мышлении и сознании, о словесной символизации предметов и явлений. А что же в других предметных областях, например, в музыке? Её не выразить словами.

Г. Гельмгольц считал, что все предметы воспринимаются в виде иероглифов, символов. Система кодирования информации еще зарождалась, чтобы в середине XX века вырасти в отдельную науку. Математик, физиолог и пианист профессор А. Ф. Самойлов начал изучать способы записи музыкальных произведений, начиная с первых известных. Как кодируется в них музыкальное звуковоспроизведение? В Московском университете на заседании отделения Физико-математических наук 10 октября 1919 года Александр Филиппович прочел совместный с П. П. Лазаревым доклад «Изображение музыкальных интервалов на линии, на плоскости и в пространстве» [15, 16, 17]. Та же тема в работах «К вопросу о гласных звуках», о восприятии соотношений музыкальных тонов [18]. Он изучает древнерусское крюковое нотное письмо. В 1919 году в статье «Алипиевы ряды древнегреческого музыкального письма и демонстрация с помощью шаблона единства плана их конструкций» [19, 20] Александр Филиппович рассказал как до расшифровал, прочтенные учеными еще в 1847 году ряды древнегреческих музыкальных символов, и обнаружил скрытые в этих записях музыкальные лады.

Систему координат в современном нотном письме и идею И. М. Сеченова о воспитании чувств, эмоций и ассоциаций условных рефлексов Александр Филиппович иллюстрирует в исследовании аккордов и гармоний в музыке А. Н. Скрябина в работе 1918 года «Натуральные числа в музыке» [21]. В то время вокруг музыки Скрябина кипели споры музыковедов. Можно ли «неправильные» скрябинские аккорды воспроизвести и, главное, услышать, воспринять? Почему одни интервалы в музыке дают приятное созвучие, а другие неприятное, одни консонантны, другие диссонантны? Вывод физиолога в этой большой работе оказался неожиданным: «Мы слышим не то, что на самом деле звучит, а то, что должно звучать. Эта коррекционная способность нашего слуха очень велика, ею объясняется вообще многое в сфере музыкальных ощущений. Теперь только дело за нашей коррекционной способностью. Она должна приспособиться к новым требованиям, и это делается, если новая музыка, основанная на новых интервалах, будет воспринята и сроднится с нашим музыкальным сознанием. Дело не в чистой интонации и музыкальных инструментах, а в воспитании музыкального чувства в определенном направлении. Скрябин

зовет нас в сторону новых интервалов натуральных чисел!». Иными словами, вся проблема в привычной старой и скрябинской новой системе кодирования и раскодирования звуков.

Результат восприятия музыки человеком на фоне эмоций проиллюстрировал в 1904 году в докладе «О некоторых действиях звуковых раздражителей на человеческий организм» ученик и партнер А. Ф. Самойлова П. П. Лазарев. Было уже известно, что под действием звука к голове приливает, а от рук отливает кровь. П. П. Лазарев людям с дефектами костей черепа прикреплял на кожу над пульсирующим мозгом зеркальце, направлял на него луч, и записывал на фотопластину возникающую кривую пульсации мозга в покое и при звуках музыки. Оказалось, что не только звук, но и эмоции влияют на результат: у татарина этот эффект получался только в ответ на знакомую и любимую татарскую мелодию.

Во всех работах А. Ф. Самойлов проводит глубокое осмысление изучаемого явления с позиции общего мироздания. В небольшой статье «Музыка насекомых» (1902 г.) Александр Филиппович, анализируя звуки, которые издают насекомые, называет их музыкой. В то же время, звуки насекомых, это язык их общения. «И как часто те звуки, которые кажутся нам ничего не выражающими, говорят, может быть, о радостях и страданиях, о любви и ненависти, понятных только другим подобным же созданиям...» [22]. И невольно понимаешь, что музыка — это универсальный код, на котором общается вся живая природа.

#### **Мышцы в системной организации функций**

Знакомство в 1904 году и дружба с голландским профессором, создателем теоретической и практической электрокардиологии Виллемом Эйнтховеном на 12 лет приковало А. Ф. Самойлова к струнному гальванометру, кардиограммам, экспериментам с сердцами животных. Отдав долг изучению электрических процессов в мышце сердца, уточнив данные Эйнтховена и во многом опередив его, А. Ф. Самойлов вернулся к волновавшим его сеченовским проблемам электрогенеза поперечно-полосатых мышц и к глобальным вопросам рефлексов головного мозга. Теперь на заданные учителем вопросы можно было ответить на новом техническом уровне. В 1924 году он сообщает о химической природе перехода возбуждения с двигательного нерва на мышцы. Технологии определения этих веществ еще нет, но их свойства и механизм действия Александр Филиппович изложил досконально [23, 24]. Он понимал, что деятельность человеческого организма не сумма условных и безусловных рефлексов с их коротким путем, длительным временем реакции, инерционностью в осуществлении сложной деятельности. Всё устроено богаче и рациональнее, иначе не выжить в быстром и неудобном окружающем мире. Пришлось заняться центральной иннервацией мышц, механизмами координации рефлексов в сложных движениях. Расширив границы функции рефлекса, А. Ф. Самойлов сформулировал понятие о защитном рефлексе и замкнутой рефлекторной цепи.

Вслед за И. М. Сеченовым А. Ф. Самойлов уловил систему саморегуляции во взглядах учителя на организацию работы поперечнополосатых мышц, на их скоординированный ансамбль, обратную связь благодаря проприоцепции, и их предназначение в эволюции, — оригинальное понимание

роли мышц в онто- и филогенезе, в способах освоения и измерения окружающего через мышцы органов чувств. До Самойлова никто так не объяснил сеченовскую философию освоения человеком пространства и времени и роли в этом мышц, их «темного, тягучего мышечного чувства», то есть проприоцепции. На заседании Общества физиологов, биохимиков и фармакологов Ленинграда 26 декабря 1929 года в честь столетия И. М. Сеченова в сорокаминутном докладе о его взглядах на роль мышц в познании природы Александр Филиппович сказал: *«Мышца, как мы видели раньше, есть школа, где глаз научился оценивать пространственные отношения, мышцы есть также школа, где слуховой аппарат научился оценивать временные отношения. <...> В этой тягучести мышечного чувства и лежит разгадка оценки длительности времени. Анализируя периодические акты ходьбы, Сеченов указывает, как отсюда могла родиться способность различать равные промежутки, а дальше, как могли родиться отсюда и числа, и счет. ...В этом лежит главная причина, почему из всех мировых явлений движение представляется наиболее простым и удобопонятным; почему наука о внешнем мире стремится свести все явления на движение»* [25].

#### **КОЛЬЦЕВОЙ РИТМ МЫШЕЧНОГО ВОЗБУЖДЕНИЯ**

В записанном в 1929 году А. Ф. Самойловым и его учеником И. А. Ветохиным кольцевом ритме сокращений мышечного кольца медузы кардиологи нашли объяснение механизма возникновения трепетания предсердий. Александр Филиппович увидел в этом результате более высокий уровень организации функций, включая психолого-социальное общение. В статьях «О переходе возбуждения с клетки на клетку» в 1929 году и в статье «Кольцевой ритм возбуждения» в 1930 году [26]. А. Ф. Самойлов впервые в физиологии на модели незатухающего, стремящегося по кругу мышечного сокращения расшифровал организацию автоматических саморегулирующихся функциональных систем с обратной связью. Не разомкнутый рефлекс сигнал-ответ, а более высокий уровень организации функций. *«Все участвующие в регулировании зрительного аппарата мышцы в интересах отчетливости зрительного восприятия регулируются раздражением сетчатки, воспринимающей изображение. Без труда можно аргументировать, что и в этом примере мы имеем кольцо в указанном выше смысле. Если кто-нибудь смотрит на живого человека и разговаривает с ним, то оба эти человека образуют вместе систему колец, по которым возбуждение бежит, переправляясь с одной клетки на другую, причем прорывы в кольце заполняются физическими процессами, обеспечивающими неизменный ход возбуждения по возбудимым частям кольца. Лектор, читающий лекцию и старающийся по виду и поведению слушателей дать себе отчет в том, как воспринимается лекция, слушатели, вникающие в слова и смысл лекции, образуют все вместе одно целое, одну систему кольцевых путей возбуждения. Кольцевой ритм кольца медузы обнаружил нам одну из особенностей, из способностей механизма живой машины. Если эта способность и была обнаружена в совершенно исключительных искусственных условиях, то все же значение ее было, несомненно. Можно ожидать, что кольцевой ритм даст о себе*

*знать, проявит себя на других объектах, в других вариантах, в других формах и сочетаниях».*

#### **ТЕОРИЯ СИСТЕМ В РОССИЙСКОЙ ФИЗИОЛОГИИ НАЧАЛА XX СТОЛЕТИЯ**

В 1912 году активист ленинской РСДРП, экономист, философ и физиолог, директор первого в России Института переливания крови А. А. Богданов выпустил двухтомную книгу «Тектология: всеобщая организационная наука», где на примерах из естествознания вывел законы объединения элементов в системы. Не обошел этой проблемы и В. М. Бехтерев. В «Коллективной рефлексологии» он выделил 23 универсальных закона, действующих в органическом мире, в природе и в социальных отношениях: закон сохранения энергии, закон тяготения, отталкивания, инерции, энтропии, непрерывного движения и изменчивости, и др» [27].

В 1929 году в Трудах Казанского ГИДУВа была опубликована статья физиолога и математика Н. А. Бернштейна «Клинические пути современной биомеханики», а в 1947 году вышла его книга, удостоенная Сталинской премии, «О построении движений» [28]. Развитие идей И. М. Сеченова, подтверждение догадок и утверждений А. Ф. Самойлова в ней представлены на модели организации движения. Сформулирован принцип циклического управления системой на обратных связях с использованием этапных сигналов для коррекции работы и получения результата потребного будущего. Если приспособительная реакция формируется в процессе непрерывного сенсорного корригирования, то в головном мозге должна существовать закодированная «модель потребного будущего», предвосхищающая искомый результат. Координация, как результат работы групп нейронов, не имеет анатомической локализации, а определяется лишь функциональной взаимосвязью. Это механизм рефлекторного кольца, путь от сеченовского «контроля движения чувством» к кибернетике. «Машинность мозга» И. М. Сеченова и А. Ф. Самойлова — это саморегуляция, позволяющая активно достигать результата действия в ответ на внутренние сигналы.

На основе работ Н. А. Бернштейна появились физиология активности и учение о бессознательном в деятельности человека, о вероятностном прогнозировании в нем. Во многом человеком управляют быстрые автоматизмы, не требующие участия сознания. Алгоритмы их формируются на уровне сознания или бессознательно как результат опыта и ранжируются головным мозгом по системе вероятностей следования событий. Произвольные движения человека управляются двумя физиологическими механизмами, — рефлекторным кольцевым регулированием и программным управлением по механизму центральных команд.

В 1935 году ученик И. П. Павлова П. К. Анохин дал первое определение функциональной системы как механизма для удовлетворения биологических и социальных потребностей [29].

И. М. Сеченов в «Рефлексах головного мозга» в 1863 году утверждал, что психическая деятельность построена по принципу рефлекса, её источник — впечатления от воздействий окружающей среды. В 1891 году в книге «Физиология нервных центров» он сравнивает работу ЦНС с регулятором Уатта, видит в работе мозга «регуляторы», осуществляющие целесообразную деятельность, изменяющие ход регулируемого

процесса в зависимости от его уровня и потребности в нем. Это был первый шаг к изучению саморегуляции функций как пути к активному достижению цели, использованию информации об уже достигнутом для управления дальнейшим приближением к цели. В XX веке из этого выросла кибернетика. Эта идея Сеченова была поддержана в России задолго до появления кибернетики [30].

Ранняя кончина не позволила Александру Филипповичу продолжить работы по системной организации функций. Но эти его идеи развили ближайшие ученики и соратники. В 1936 году в СССР академиком П. П. Лазаревым создана комиссия по телемеханике и автоматике, — первый реальный отечественный шаг к кибернетике. Академик И. С. Бериташвили исследовал высшие нервные функции, механизмы памяти и поведения высших позвоночных животных [31]. Академик В. В. Парин занимался космической медициной и кибернетикой в медицине [32].

В США 1936–1937 годы вокруг математика Норберта Винера собрались физик М. Валларга, физиологи А. Розенблот и У. Мак Каллок, математики Дж. Бигелоу и Р. Карнана. Они обсуждали механизмы общие для физиологии, физики, математики и техники, аналогии между живым организмом и машиной. Были детально проанализированы и использованы результаты российских физиологов И. М. Сеченова, А. Ф. Самойлова и их последователей по изучению автоматических систем саморегуляции мозга. Появилась современная кибернетика. Сегодня это интеллектуальные автоматические системы на основе нейронных сетей.

#### Список литературы / References:

1. Декарт Р. Описание человеческого тела. // Сочинения в двух томах. Т. 1 — М.: Мысль, 1989. — С. 423–461.
2. Ламетри Ж. О. Человек-машина. // Ж. О. Ламетри. Сочинения. М.: Мысль, 1983. — С. 238.
3. Сеченов И. М. Рефлексы головного мозга. — Мед. вестник, 1863, № 47, с. 461–484; 48, с. 493–512
4. Сеченов И. М. Психологические этюды: СПб., 1873, — С. 225
5. Сеченов И. М. Элементарные мысли. // Вестник Европы, 1878, № 3, — С. 39–107; № 4, — С. 457–533
6. Сеченов И. М. О предметном мышлении с физиологической точки зрения. // Русская мысль, 1894, — кн. 1, — С. 255–262.
7. Архив РАН — 652–2–1
8. Ветехин И. А. А. Ф. Самойлов. Краткий очерк жизни и научной деятельности. // Вопросы физиологии человека и животных. — Вып. 1. — Минск: Изд. Белорус. гос. ун-та, 1960. — С. 5–22.
9. Samoilov A. Das Dunkelzimmer als photographische Kammer. — Internationale photographische Monatsschrift fur Medizin, 1897, — Bd.

10. Samoilov A. Einige Beobachtungen liber intermittierende Netzhaitrennung. — Archiv fur die ges. Physiologie, 1901, — Bd. 85, — S. 90–105.
11. Samoilov A. Ein Fall von ungewohnlicher Verschiedenheit der Mischungsbelichungen fur beide Augen eines Beobichters. — Zeitschr. fur Sinnesphysiologie, 1906, — Bd. 41, — S. 367–372.
12. Samoilov A. Dr. W. A. Nagel und Dr. A. Samoiloff. Einige Versuche uber die Ubertragung von Schallschwingungen auf das Mittelohr. — Arch. fur Anatomie und Physiologie, Physiol. Abt., 1898, — H. 5–6, — S. 505–511.
13. Samoilov A. Zur Vokalfrage. — Archiv fur die ges. Physiologie, 1899, — Bd. 78, — S. 1–26.
14. Самойлов А. Ф. Графическое изображение голоса. — Русская физиология, 1900. — Изд. 2. — С. 62–69.
15. Самойлов А. Ф. Расположение музыкальных интервалов на линии, на плоскости и в пространстве. — Изв. Росс. Академии Наук, 1919, — вып. 1, — С. 1155–1178.
16. Samoilov A. Die Anordnung der musikalischen Intervalle im Raume. — Psychologische Forschung, 1923, — Bd. 3, — H. 3, — S. 231–240.
17. Самойлов А. Ф. Распределение музыкальных интервалов в пространстве. — Психология, 1923, — Гл. 3, — Часть 3, — С. 231–240.
18. Samoilov A. Einige Bemerkungen zu dem Aufsatz von Dr. E. Storch: «Ueber die Wahrnehmung musikalischer Tonverhaltnisse». — Zeitschr. fur Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane, 1901, — Bd. 29, — S. 122–123.
19. Самойлов А. Ф. Алипиевы ряды древнегреческого музыкального письма и демонстрация с помощью шаблона единства плана их конструкций. — Изв. Об-ва археологии, истории и этнографии при Казанском ун-те, 1919, — т. 30, — вып. 4, — С. 357–369.
20. Samoilov A. Die Alypius'schen Reihen der altgriechischen Tonbezeichnung und die Demonstration ihres einheitlichen Konstruktionsplanes vermittelt einer Sehablone. — Archiv fur Musikwissenschaft, 1924, — H. 4, — S. 383–386.
21. Самойлов А. Ф. Натуральные числа в музыке. Мелос, Книги о музыке под ред. И. Глебова и П. П. Сувчинского: СПб., 1918, — кн. 2, — С. 3–49.
22. Музыка насекомых Русские ведомости, 1902, Лз 218.
23. Самойлов А. Ф. О переходе возбуждения с двигательного нерва на мышцы. // Сборник, посв. 70-летию И. П. Павлова: Л., 1924, — С. 75–82.
24. Samoilov A. Zur Frage des Ueberganges der Erregung vom motorischen Nerve auf den quergestreiften Muskel. — Pfluger's Archiv fur ges. Physiologie, 1925, — Bd. 208, — H. 3–4, — S. 508–519.
25. Самойлов А. Ф. И. М. Сеченов и его мысли о роли мышцы в нашем познании природы. — Научное слово, 1930, — № 5, — С. 44–65.
26. Самойлов А. Ф. Кольцевой ритм возбуждения. — Ж. Научное слово, 1930, — № 2; А. Ф. Самойлов. // Избранные труды: («Наука»), М., — С. 127–146.
27. Брушлинский А. В., Кольцова В. А. Социально-психологическая концепция В. М. Бехтерева. // Бехтерев В. М. Избранные работы по социальной психологии. — М.: Наука, 1994. — С. 5.
28. Бернштейн Н. А. О построении движений. // Физиология движений и активность. М.: Наука, 1990, — С. 11–244.
29. Анохин П. К. Узловые вопросы теории функциональных систем. — М.: Наука, 1978. — 304 с.
30. Фейгенберг И. М. // Иван Михайлович Сеченов. К 150-летию со дня рождения. М., Наука, 1980. — С. 527–534.
31. Бериташвили И. С. Индивидуально-приобретенная деятельность центральной нервной системы, Тифлис: 1932.
32. Парин В. В., Баевский В. М.. Введение в медицинскую кибернетику. М., М., 1966, — С. 296.

#### Сведения об авторах:

**Подольская Марина Алексеевна**, к.м.н., доцент кафедры реабилитологии и спортивной медицины<sup>1</sup>. ORCID 0000-0003-4065-2372

**Терегулов Юрий Эмильевич**, д.м.н., зав. кафедрой функциональной диагностики КГМА<sup>1</sup>, заведующий отделением функциональной диагностики<sup>2</sup>, главный внештатный специалист МЗ Республики Татарстан

<sup>1</sup> Казанская государственная медицинская академия, филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России РФ, Казань

<sup>2</sup> ГАУЗ РКБ МЗ РТ

#### About authors

**M.A. Podolskaya**, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Rehabilitation and Sports Medicine<sup>1</sup>. ORCID 0000-0003-4065-2372

**Yu. E. Teretgulov**, Doctor of medical sciences, Head of the Department of Functional Diagnostics of KSMHA<sup>1</sup>, Head of the Department of Functional Diagnostics, Chief freelance specialist of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan

<sup>1</sup> KSMA-Branch Campus of the FSBEI FPE RMACPE Ministry of Health of Russia, Kazan

<sup>2</sup> Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan

Статья поступила / Received 18.08.2023  
Получена после рецензирования / Revised 20.08.2023  
Принята в печать / Accepted 20.08.2023

**Для цитирования:** Подольская М. А., Терегулов Ю. Э. А. Ф. Самойлов: от синапса к системной организации функций. Медицинский алфавит. 2023;(22):63–67. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-63-67>

**For citation:** Podolskaya M. A., Teretgulov Yu. E. A. F. Samoilov: from synapse to systemic organization of functions. Medical alphabet. 2023;(22):63–67. <https://doi.org/10.33667/2078-5631-2023-22-63-67>