

DOI: <http://doi.org/10.17816/rjpb401115>

Информативность метода корреляционной адаптометрии для оценки выраженности корригирующего эффекта сочетанного применения лечебных физических факторов на примере метаболического синдрома

А.А. Беньков¹, С.Н. Нагорнев², В.К. Фролков³, Д.А. Еделев⁴, О.В. Корлякова⁵¹ Общество с ограниченной ответственностью «Мед ТеКо», Москва, Российская Федерация;² Центральная государственная медицинская академия Управления делами Президента Российской Федерации, Москва, Российская Федерация;³ Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью, Москва, Российская Федерация;⁴ Научно-образовательный центр прикладной медицины и пищевой безопасности «Биомед» Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация;⁵ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Оценка эффективности применения лечебных физических факторов с помощью метода корреляционной адаптометрии основана на эффекте увеличения количества выраженности корреляционных зависимостей между параметрами, характеризующими функциональное состояние организма, при действии стрессора.

Цель исследования — оценка эффективности сочетанного применения транскраниальной магнитотерапии (ТМТ) и импульсного низкочастотного электростатического поля (ИНЭСП) у пациентов с метаболическим синдромом с помощью метода корреляционной адаптометрии.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 100 пациентов с установленным в соответствии с клиническими рекомендациями диагнозом метаболического синдрома. Все пациенты методом простой фиксированной рандомизации были разделены на 4 группы по 25 человек. Пациенты контрольной группы получали плацебо-воздействие (имитация физиотерапевтического воздействия при выключенном аппарате) в течение 10 дней наблюдения, в группе сравнения 1 — воздействие ИНЭСП, в группе сравнения 2 — ТМТ бегущим магнитным полем, в основной группе — воздействие ИНЭСП в сочетании с ТМТ. Объективизация эффектов физиотерапевтического воздействия (оценка функциональных, биохимических и гормональных параметров) базировалась на проведении двухэтапного обследования (до и после курсового лечения).

Результаты. Проведение корреляционной адаптометрии базировалось на результатах корреляционного анализа с использованием корреляционной матрицы переменных, характеризующих состояние пациентов после курсовой коррекции. Для каждой из четырёх групп пациентов было определено по 28 коэффициентов корреляции. Для каждой группы было подсчитано 378 коэффициентов корреляции, представленных в виде веса корреляционного графа. Дополнительно рассчитан показатель средней адаптационной корреляции. Показано, что применение лечебных физических факторов сопровождается снижением веса корреляционного графа, что свидетельствует о выраженности клинического эффекта, обусловленного саногенетическим действием физиофакторов. Наиболее выраженное снижение отмечено в группе ИНЭСП + ТМТ. Корреляционный анализ между параметрами средней адаптационной корреляции и интегрального коэффициента эффективности терапии показал, что между индексом инсулинорезистентности НОМА и индексом Кетле, выбранных в качестве наиболее информативных переменных, существует сильная отрицательная достоверная взаимосвязь.

Заключение. Сделан вывод о высокой информативности метода корреляционной адаптометрии в оценке эффективности использования ИНЭСП, ТМТ и их сочетанного воздействия у пациентов с метаболическим синдромом. Снижение показателя средней адаптационной корреляции указывает на повышение функциональных резервов системы, паттернами которой выступают изменения тех или иных оцениваемых параметров, не связанных друг с другом.

Ключевые слова: импульсное низкочастотное электростатическое поле; индекс инсулинорезистентности; интегральный коэффициент эффективности терапии; корреляционная адаптометрия; метаболический синдром; сочетанное применение физиотерапевтических факторов; транскраниальная магнитотерапия.

Как цитировать:

Беньков А.А., Нагорнев С.Н., Фролков В.К., Еделев Д.А., Корлякова О.В. Информативность метода корреляционной адаптометрии для оценки выраженности корригирующего эффекта сочетанного применения лечебных физических факторов на примере метаболического синдрома // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2023. Т. 22, N 1. С. 5–14. DOI: <http://doi.org/10.17816/rjpb401115>

Рукопись получена: 10.01.2023

Рукопись одобрена: 11.02.2023

Опубликована: 17.05.2023

DOI: <http://doi.org/10.17816/rjpr401115>

Informativity of the method of correlation adaptometry for assessing the severity of the corrective effect of combined use therapeutic physical factors on the example of metabolic syndrome

Andrey A. Benkov¹, Sergey N. Nagornev², Valery K. Frolkov³,
Dmitry A. Edelev⁴, Olga V. Korlyakova⁵

¹ Limited Liability Company "Med TeKo", Moscow, Russian Federation;

² Central State Medical Academy of Department of Presidential Affairs, Moscow, Russian Federation;

³ Centre for Strategic Planning and Management of Biomedical Health Risks, Moscow, Russian Federation;

⁴ Scientific and Educational Center of Applied Medicine and Food Safety "Biomed" Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation;

⁵ The First Sechenov Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

ABSTRACT

BACKGROUND: Evaluation of the effectiveness of the use of therapeutic physical factors using the method of correlation adaptometry is based on the effect of increasing the number of severity of correlation dependencies between the parameters characterizing the functional state of the body under the action of a stressor.

AIM: Evaluation of the effectiveness of the combined use of transcranial magnetotherapy and a pulsed low-frequency electrostatic field in patients with metabolic syndrome using the method of correlation adaptometry.

MATERIALS AND METHODS: The study involved 100 patients with a diagnosis of metabolic syndrome established in accordance with clinical guidelines. All patients were divided into four groups of 25 by simple fixed randomization. Patients in the control group received a placebo effect (imitation of physiotherapeutic effects with the device turned off) for 10 days of observation, in comparison group 1 — exposure to a low-frequency electrostatic field, in comparison group 2 — transcranial magnetotherapy with a traveling magnetic field, in the main group — exposure to a pulsed electrostatic field in combination with transcranial magnetotherapy. The objectification of the effects of physiotherapy (evaluation of functional, biochemical and hormonal parameters) was based on a two-stage examination (before and after a course of treatment).

RESULTS: Correlation adaptometry was based on the results of correlation analysis using a correlation matrix of variables characterizing the condition of patients after course correction. For each of the four groups of patients, 28 correlation coefficients were determined. For each group, 378 correlation coefficients were calculated, presented as the weight of the correlation graph. Additionally, the indicator of the average adaptive correlation was calculated. It is shown that the use of therapeutic physical factors is accompanied by a decrease in the weight of the correlation graph, which indicates the severity of the clinical effect due to the sanogenetic action of physiofactors. The most pronounced decrease was noted in the group of combined physiotherapy. Correlation analysis between the parameters of the average adaptive correlation and the integral coefficient of therapy efficiency showed that there is a strong, negative significant relationship between the HOMA insulin resistance index and the Quetelet index, chosen as the most informative variables.

CONCLUSION: It is concluded that the method of correlation adaptometry is highly informative in assessing the effectiveness of using a pulsed low-frequency electrostatic field, transcranial magnetotherapy and their combined effects in patients with metabolic syndrome. A decrease in the indicator of the average adaptive correlation indicates an increase in the functional reserves of the system, the patterns of which are changes in certain estimated parameters that are not related to each other.

Keywords: pulsed low-frequency electrostatic field; insulin resistance index; integral coefficient of therapy efficiency; correlation adaptometry; metabolic syndrome; combined use of physiotherapeutic factors; transcranial magnetotherapy.

To cite this article:

Benkov AA, Nagornev SN, Frolkov VK, Edelev DA, Korlyakova OV. Informativity of the method of correlation adaptometry for assessing the severity of the corrective effect of combined use therapeutic physical factors on the example of metabolic syndrome. *Russian journal of the physical therapy, balneotherapy and rehabilitation*. 2023;22(1):5–14. DOI: <http://doi.org/10.17816/rjpr401115>

Received: 10.01.2023

Accepted: 11.02.2023

Published: 17.05.2023

ОБОСНОВАНИЕ

Достижение качественного роста в эффективности применения лечебных физических факторов на современном этапе развития физиотерапевтической науки может быть достигнуто на основе принципа комплексного воздействия, когда несколько физиофакторов используются параллельно (сочетанное применение) или последовательно (комбинированное применение) [1–3], при этом сочетанный режим обладает рядом преимуществ перед изолированным или комбинированным воздействием. В частности, сочетанное применение обеспечивает взаимное потенцирование физиологического и лечебного воздействия физиофакторов, активное вовлечение системы нейрогуморальной регуляции, что повышает саногенетический потенциал воздействия, редкое и медленное развитие привыкания, меньшую интенсивность и продолжительность, что улучшает переносимость пациентами [1, 3, 4].

В качестве модели патологического состояния, характеризующего сниженными функциональными резервами и адаптивными возможностями, был определён метаболический синдром — сложный клинико-лабораторный симптомокомплекс, проявляющийся нарушением углеводного и липидного видов обмена и развитием висцерального ожирения и артериальной гипертензии, патогенетическую основу которого составляют инсулинорезистентность и ожирение [5–7].

Применению физических факторов различной природы в комплексной терапии заболеваний, ассоциированных с метаболическим синдромом, посвящены многочисленные исследования [8–10]. В частности, доказана эффективность использования низкоинтенсивной микроволновой терапии [11], переменного электростатического поля [12], мультифакторного полимодального аппаратного комплекса Alpha LED Oxy Light SPA [13], сочетания вибровоздействия в комбинации с хромо-, мело-, ароматическими и аэроионотерапией [14]. В последние годы были разработаны алгоритмы применения транскраниальных магнитных воздействий и импульсного низкочастотного электростатического поля для коррекции обменных нарушений и уровня артериального давления [12, 15]. Различная физическая природа указанных факторов, гетерогенность воспринимающих структур-мишеней, а также разные точки приложения и механизмы реализации их биологической активности служат основой для проявления функционального потенцирования саногенетических эффектов.

Применительно к оценке эффективности корректирующих воздействий высокой информативностью обладает методика корреляционной адаптометрии, которая, подтверждая принцип эволюционной оптимальности, указывает на усиление корреляций между параметрами биологических систем в условиях экстремальных воздействий [16]. Основу корреляционной адаптометрии составляет эффект увеличения количества выраженности

корреляционных зависимостей между параметрами, характеризующими функциональное состояние организма, при действии стрессора [17]. Указанный эффект оценивается весом корреляционного графа (ВКГ) G , представляющим собой сумму модулей значений коэффициентов корреляции между всеми анализируемыми параметрами. В ряде работ последнего времени показано, что в условиях роста стрессорной нагрузки на организм и снижения величины функциональных резервов ВКГ G повышается, а при достижении устойчивого состояния адаптации — снижается [16]. Данная зависимость была положена в основу оценки эффективности выполненных операций на сердце [18], терапии пациентов после трансплантации [19], лечения инфекционных заболеваний [20], коррекции ожирения и метаболического синдрома [21, 22], проведения спортивных тренировок и др. [23].

Цель исследования — оценка эффективности сочетанного применения транскраниальной магнитотерапии (ТМТ) и импульсного низкочастотного электростатического поля (ИНЭСП) у пациентов с метаболическим синдромом с помощью метода корреляционной адаптометрии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Проспективное контролируемое сравнительное рандомизированное.

Критерии соответствия

Критерии включения: возраст от 18 до 55 лет; установленный согласно клиническим рекомендациям [5] диагноз метаболического синдрома; наличие лабораторных анализов крови, мочи, результатов электрокардиограммы, указывающих на отсутствие острых и хронических заболеваний, не требующих дополнительного клинического обследования; отсутствие противопоказаний к физиотерапевтическому лечению (транскраниальная магнитотерапия, импульсная низкочастотная электростатическая терапия); наличие информированного согласия пациента.

Критерии невключения: беременность; невозможность или нежелание подписывать информированное согласие на участие в исследовании или выполнение требований исследования; клинически значимые отклонения лабораторных параметров, указывающих на наличие неизвестного заболевания или требующие дополнительного клинического исследования (по оценке исследователя); наличие клинически значимых аллергических реакций в анамнезе; наличие тяжёлых клинически значимых неврологических, сердечно-сосудистых, эндокринных, желудочно-кишечных заболеваний, болезней печени и органов мочевыделительной системы, иммунных и других заболеваний в анамнезе; сопутствующие заболевания кожи, препятствующие проведению физиотерапевтических процедур; психические

заболевания, которые делают неприемлемым участие пациента в исследовании; наркомания, тяжёлые судорожные расстройства в анамнезе.

Критерии исключения: отказ от исследования и выполнения предписаний врача (отказ от подписания информированного согласия); добровольный отказ пациента от участия в исследовании; участие в других клинических исследованиях; индивидуальная непереносимость факторов лечения и появление осложнений.

Условия проведения

Исследование выполнено на базе медицинского центра «ИММА» (Москва) с участием 100 пациентов (43 мужчины и 57 женщин, средний возраст $43,0 \pm 0,32$ года) с установленным в соответствии с клиническими рекомендациями диагнозом метаболического синдрома [5].

Продолжительность исследования

Исследование выполнено в период с марта по октябрь 2022 года.

Описание вмешательства

Все пациенты с метаболическим синдромом, принявшие участие в данном исследовании, методом простой фиксированной рандомизации были разделены на четыре группы по 25 человек. Первая группа (контрольная) получала плацебо-воздействие (имитация физиотерапевтического воздействия при выключенном аппарате) в течение 10 дней наблюдения. Пациенты второй группы (группа сравнения 1) подвергались воздействию ИНЭСР. Третья группа (группа сравнения 2) получала транскраниальную магнитотерапию бегущим магнитным полем (ТМТ). Пациентам четвёртой группы (основная) осуществляли сочетанное воздействие ИНЭСР и ТМТ.

Воздействие ИНЭСР осуществляли с помощью многофункциональной терапевтической системы «Хивамат-200» (Германия, регистрационное удостоверение от 12.04.2017 № РЗН 2017/5597). Для выполнения процедур использовали ручной вариант на воротниковую область (частота 100 Гц, интенсивность 50%) в течение 10–12 минут, ежедневно, курсом 10 процедур.

Для процедуры ТМТ использовали аппарат «Амотос» с приставкой «Оголовье» (Россия, регистрационное удостоверение от 18.11.2011 № ФСР 2011/12325), состоящей из двух полуцилиндрических излучателей переменного магнитного поля, расположенных битемпорально. Терапию проводили в положении пациента сидя, начиная процедуру с частоты 1 Гц в течение 7 минут и напряжённости поля 10–30 мТл. Затем постепенно увеличивали частоту и продолжительность процедуры до 10 Гц и 12 минут соответственно, что позволяло добиться состояния адаптации к данному физическому фактору и исключить индивидуальную непереносимость. Величина магнитной индукции 10–30 мТл обеспечивает достаточную глубину проникновения магнитного поля при воздействии

на диэнцефальные структуры мозга. Курс магнитотерапии включал 10 сеансов, проводимых ежедневно.

Методы регистрации исходов

Объективизация эффектов физиотерапевтического воздействия базировалась на проведении двухэтапного обследования (до и после курсового лечения), включающего оценку микроциркуляторно-тканевых систем (МТС), показателей variability сердечного ритма (ВСР), обменных процессов и их гормональной регуляции и параметров перекисного окисления липидов (ПОЛ). Состояние МТС организма оценивали с помощью лазерного диагностического комплекса «ЛАЗМА-МЦ» (НПП «ЛАЗМА», Россия). ВСР оценивали с помощью аппаратного комплекса «ГемоКард-АКСМА» (ООО «АКСМА», Россия, регистрационное удостоверение № РЗН 2020/11286). Метаболические показатели (липидный спектр и глюкоза крови) определяли на биохимическом анализаторе Spectrum II (Abbott, США) с использованием наборов НПФ «АБРИС+» (Россия). Концентрацию инсулина в крови оценивали иммунохемилюминесцентным методом. Дополнительно в крови измеряли содержание продуктов ПОЛ (малоновый диальдегид, МДА; основания Шиффа, ОШ) и активность антиоксидантных ферментов (супероксиддисмутаза и каталаза) [24–26].

Этическое утверждение

Исследование проводилось в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации. Перед проведением исследования все пациенты дали информированное согласие на обработку персональных данных и участие в обследовании.

Статистический анализ

Статистическую обработку полученных результатов проводили с помощью пакета прикладных программ Statistica 12.6 с использованием алгоритмов корреляционного и регрессионного анализов.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Стандартный подход к проведению корреляционной адаптометрии и расчёту ВКГ G, представленный в исследовании Е.В. Смирновой [27], включает 6 этапов:

- проверка на нормальность распределения показателей в выборке по критериям Хи-квадрат, Шапиро–Уилка, Колмогорова–Смирнова, Андерсон–Дарлинг и др.;
- стандартизация матрицы данных;
- вычисление парных коэффициентов корреляции для всех признаков;
- выбор порогового значения для коэффициентов корреляции;
- расчёт ВКГ G;
- оценка ВКГ G.

Однако, по мнению ряда сторонников метода корреляционной адаптометрии, такой алгоритм, во многом адаптированный для биоинформационного и математического моделирования, может применяться в интересах биомедицинских исследований после определённой модификации [17]. В частности, авторы предлагают редуцировать этапы 1–3, поскольку часто биологические параметры распределяются не нормально, а асимметрично, смещаясь в сторону логарифмического распределения. Для них характерны нелинейные зависимости, поэтому более информативной корреляцией выступает корреляция Спирмена, которая, в отличие от линейной корреляции Пирсона, позволяет оценивать степень (монотонность) взаимосвязи.

Что же касается четвёртого этапа, то, на наш взгляд, расчёт ВКГ G должен базироваться на учёте всех полученных взаимосвязей, поскольку в построении корреляционной матрицы участвовали все исследованные переменные. Введение пороговых значений для коэффициентов корреляции оставляет за пределами последующих расчётов «слабые» связи, что затрудняет проведение анализа рассматриваемой системы как единого целого. К тому же при разных объёмах выборки пороговые (достоверные) значения коэффициентов корреляции будут различны. Необходимо также иметь в виду тот факт, что при использовании различных пороговых значений для коэффициентов корреляции происходит инверсия в ранжировании ВКГ G [17].

Для построения корреляционной матрицы были использованы 28 переменных, характеризующих состояние МТС, ВСР, ПОЛ, обменные процессы, уровень инсулина и кортизола. Общий перечень показателей приведён в табл. 1.

Исходя из размеров корреляционной матрицы, для каждой из четырёх групп пациентов было определено по 28 коэффициентов корреляции. Для каждой группы было подсчитано 378 коэффициентов корреляции, суммарные значения которых в виде ВКГ G приведены в табл. 2.

Несмотря на тот факт, что использование ВКГ для оценки адаптационных ресурсов является доминирующим, тем не менее предпринимаются попытки привлечь другие функции для интерпретации величины корреляционной адаптометрии. В частности, некоторые авторы предлагают использовать показатель средней адаптационной корреляции [17, 28]. Такой подход, по мнению авторов, позволит унифицировать сравнение адаптационных возможностей организма при изучении различного количества переменных в корреляционной матрице, а также поможет выделить диапазоны средней адаптационной корреляции, соответствующие низкой, средней и высокой адаптационной нагрузке. Рассчитанные для нашего исследования значения средней адаптационной корреляции представлены на рис. 1.

В целом, полученные результаты свидетельствуют о том, что применение лечебных физических факторов снижает

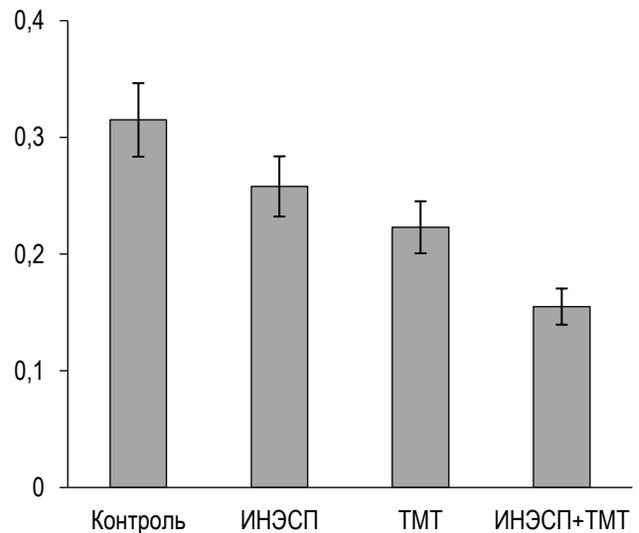


Рис. 1. Значения средней адаптационной корреляции при проведении корреляционной адаптометрии для различных схем коррекции проявлений метаболического синдрома. ИНЭСП — импульсное низкочастотное электростатическое поле; ТМТ — транскраниальная магнитотерапия.

Fig. 1. The values of the average adaptive correlation during correlation adaptometry for various schemes of correction of manifestations of metabolic syndrome. ИНЭСП — pulsed low-frequency electrostatic field; TMT — transcranial magnetotherapy.

выраженность корреляции, при этом выявленная динамика убывает в ряду Контроль > ИНЭСП > ТМТ > ИНЭСП + ТМТ.

Снижение ВКГ G, равно как и средней адаптационной корреляции, свидетельствует о выраженности клинического эффекта, обусловленного проявлением саногенетического действия физиофакторов. Минимальные значения ВКГ G и средней адаптационной корреляции, выявленные в группе с сочетанным использованием ИНЭСП и ТМТ, указывают на формирование достаточной величины функциональных резервов, при которых изменения отдельных параметров гомеостаза (переменных) не влекут за собой изменения со стороны других параметров.

Самый высокий уровень средней адаптационной корреляции, отмеченный в контрольной группе, знаменует собой тесный характер взаимосвязи оцениваемых переменных, при котором колебания параметров, определяющих функционирование оцениваемых систем организма, сопровождаются изменением большого числа переменных, что указывает на высокий уровень адаптационного напряжения, характерный для сниженных резервных возможностей организма.

Следующим шагом нашего исследования явилась оценка эффективности проведённой терапии пациентов с метаболическим синдромом на основе интегративного коэффициента. В качестве наиболее информативных переменных были выбраны индекс инсулинорезистентности HOMA (Homeostasis Model Assessment) и индекс Кетле (индекс массы тела, ИМТ), так как именно эти показатели обладают наибольшей информативностью в оценке

Таблица 1. Перечень показателей, участвующих в формировании корреляционной матрицы**Table 1.** List of indicators involved in the formation of the correlation matrix

№ п/п	Группа параметров	Показатели/независимые переменные
1	Параметры микроциркуляторно-тканевых систем	Показатель микроциркуляции, Im, пф. ед.
2		Доля нутритивного кровотока, Imnutr, пф. ед.
3		Показатель шунтирования, BI (Im), отн. ед.
4		Величина эндотелиального тонуса, ET, отн. ед.
5		Величина нейрогенного тонуса, NT, отн. ед.
6		Величина миогенного тонуса, MT, отн. ед.
7		Скорость потребления кислорода, ОС, отн. ед.
8		Показатель окислительного метаболизма, OMI, отн. ед.
9	Параметры variability сердечного ритма (BCP)	Индекс напряжения, ИН, ед.
10		Квадратный корень из суммы квадратов разности величин последовательных пар RR-интервалов, RMSSD, ед.
11		Вариационный размах, MxDMn, ед.
12		Мощность спектра низкочастотного компонента BCP, LF, мс ²
13		Мощность спектра высокочастотного компонента BCP, HF, мс ²
14		Коэффициент вегетативного баланса, LF/HF, ед.
15		Индекс централизации в управлении сердечным ритмом, IC, ед.
16		Показатели перекисного окисления липидов (ПОЛ)
17	Основания Шиффа, ОШ, отн. ед./мл	
18	Супероксиддисмутаза, СОД, ед. акт./г Нб	
19	Каталаза, КАТ, ед. акт./г Нб	
20	Параметры обмена веществ и гормональной регуляции	Коэффициент антиоксидантной защиты, КАОЗ, усл. ед.
21		Глюкоза, ммоль/л
22		Триглицериды, ТГ, ммоль/л
23		Общий холестерин, ОХС, ммоль/л
24		Липопротеиды низкой плотности, ЛПНП, ммоль/л
25		Липопротеиды высокой плотности, ЛПВП, ммоль/л
26		Коэффициент атерогенности, КА, усл. ед.
27		Кортизол, нмоль/л
28	Инсулин, мкЕд/мл	

Таблица 2. Вес корреляционного графа G при использовании различных схем коррекции основных проявлений метаболического синдрома**Table 2.** The weight of the correlation graph G when using various schemes for correcting the main manifestations of metabolic syndrome

Показатель	Группы пациентов			
	Контрольная группа	Группа сравнения 1 (ИНЭСП)	Группа сравнения 2 (ТМТ)	Основная группа (ИНЭСП+ТМТ)
ВГК G, усл.ед.	119,15	97,56	84,37	58,44

Примечание. ИНЭСП — импульсное низкочастотное электростатическое поле; ТМТ — транскраниальная магнитотерапия.

Note: ИНЭСП — pulsed low-frequency electrostatic field; TMT — transcranial magnetotherapy.

патогенетических механизмов, определяющих развитие метаболического синдрома.

Указанные переменные, имеющие различные абсолютные значения, с помощью алгоритма, предложенного М.Ю. Яковлевым [29], приведены к единой десятибалльной системе, для чего весь диапазон референсных значений предварительно был разбит на 4 уровня, где медиана приравнивается к 10 баллам, а отклонение от неё на 16,66 и 33,3% — к 7,5 и 5 баллам соответственно. Крайние значения, соответствующие границам нормы, приравниваются к 2,5 баллам. Формула перевода абсолютного значения в десятибалльную систему имеет вид: $I = U - (((C - L) \times 2,5) / \Delta)$, где I — переменная в десятибалльном измерении; U — верхняя граница одного из 4 интервалов, куда был отнесён измеренный показатель после сравнения с медианой; C — изменённое значение переменной; L — значение параметра, соответствующее нижней границе того 4-уровневого интервала, куда данный параметр был отнесён по результату сравнения с медианой; Δ — диапазон абсолютных значений параметра, определяющий границы того интервала, куда данный параметр был отнесён по результату сравнения с медианой [30].

В табл. 3 представлены значения выбранных переменных в десятибалльной шкале.

Формула расчёта интегрального коэффициента эффективности терапии (ИКЭТ) для четырёх выбранных переменных имеет следующий вид [29]: $ИКЭТ = 2 \times K_1 \times K_2 / (K_1 + K_2)$, где K_1 и K_2 — значения НОМА и ИМТ в десятибалльной системе.

Таблица 3. Десятибалльные значения показателей, используемые для оценки эффективности применения лечебных физических факторов

Table 3. Ten-point values of indicators used to assess the effectiveness of the use of therapeutic physical factors

Показатель, группа	Значение переменной в 10-балльной шкале
НОМА	
Контрольная группа	1,03
Группа сравнения 1 (ИНЭСР)	1,76
Группа сравнения 2 (ТМТ)	1,83
Основная группа (ИНЭСР+ТМТ)	2,53
Индекс массы тела	
Контрольная группа	4,98
Группа сравнения 1 (ИНЭСР)	5,56
Группа сравнения 2 (ТМТ)	6,04
Основная группа (ИНЭСР+ТМТ)	6,89

Примечание. ИНЭСР — импульсное низкочастотное электростатическое поле; ТМТ — транскраниальная магнитотерапия.
Note: ИНЭСР — pulsed low-frequency electrostatic field; ТМТ — transcranial magnetotherapy.

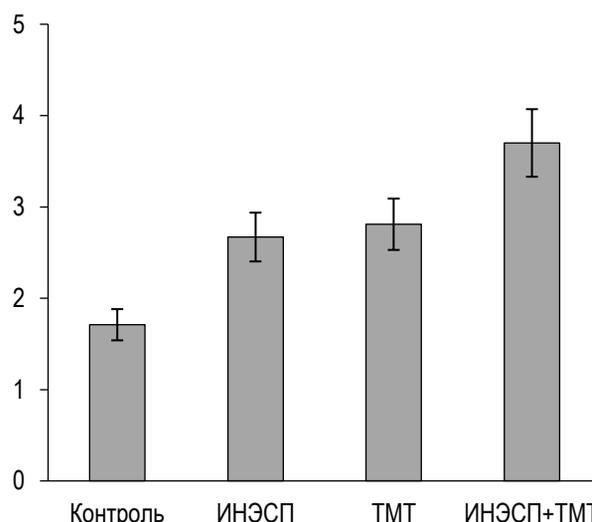


Рис. 2. Значения интегрального коэффициента эффективности терапии при различных схемах лечения метаболического синдрома. ИНЭСР — импульсное низкочастотное электростатическое поле; ТМТ — транскраниальная магнитотерапия.

Fig. 2. Values of the integral coefficient of therapy effectiveness in various treatment regimens of metabolic syndrome. ИНЭСР — pulsed low-frequency electrostatic field; ТМТ — transcranial magnetotherapy.

Полученные расчётные значения ИКЭТ для различных схем терапии представлены на рис. 2.

Выполненный корреляционный анализ между значениями средней адаптационной корреляции и ИКЭТ показал, что между этими двумя параметрами существует сильная отрицательная достоверная взаимосвязь ($r = -0,89$; $p < 0,05$).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В целом, выполненное исследование подтверждает высокую информативность метода корреляционной адаптометрии в оценке эффективности использования ИНЭСР, ТМТ и их сочетанного применения у пациентов с метаболическим синдромом. Данный метод позволяет оценить состояние пациентов после проведённой терапии, исходя из средних значений коэффициентов корреляций между показателями, которые были использованы для изучения механизмов саногенетического действия лечебных физических факторов. Снижение показателя средней адаптационной корреляции указывает на повышение функциональных резервов системы, паттернами которой выступают изменения тех или иных оцениваемых параметров, не связанных друг с другом.

Состояние корреляционной «независимости» позиционируется как достижение лучшего терапевтического эффекта, сопряжённого с большей величиной резервных возможностей адаптации. Данное положение подтверждается значениями введённого интегрального коэффициента эффективности терапии, расчёт которого базируется на индексах инсулинорезистентности и массы

тела — основных индикаторах ключевых звеньев патогенеза метаболического синдрома.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

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

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределён следующим образом: А.А. Беньков, Д.А. Еделев — сбор и статистическая обработка материала, подготовка и написание текста статьи; С.Н. Нагорнев — концепция и дизайн исследования;

В.К. Фролков — статистический анализ первичного материала, редактирование статьи; О.В. Корлякова — анализ литературных источников, редактирование статьи.

ADDITIONAL INFORMATION

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Authors' contribution. The authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis of literature, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work. A.A. Benkov, D.A. Edelev — collection and statistical processing of material, preparation and writing of the text of the article; S.N. Nagornev — concept and design of the study; V.K. Frolkov — statistical analysis of primary material, editing of the article; O.V. Korlyakova — analysis of literary sources, editing the article.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кончугова Т.В., Кульчицкая Д.Б., Агасаров Л.Г. Перспективы нейротропной электротерапии в повышении адаптивных возможностей спортсменов (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2019. № 3. С. 169–176.
2. Пономаренко Г.Н. Восстановительная медицина: фундаментальные основы и перспективы развития // Физическая и реабилитационная медицина. 2022. Т. 4, № 1. С. 8–20.
3. Улащик В.С. Сочетанная физиотерапия: общие сведения, взаимодействие физических факторов // Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры. 2016. № 6. С. 4–11.
4. Орехова Э.М., Кульчицкая Д.Б., Кончугова Т.В., и др. Роль сочетанной физиотерапии в оздоровительных и профилактических программах // Физиотерапевт. 2015. № 6. С. 63–71.
5. Рекомендации по ведению больных с метаболическим синдромом. Клинические рекомендации. Москва, 2013. 43 с.
6. Bovolini A., Garcia J., Andrade M.A., et al. Metabolic syndrome pathophysiology and predisposing factors // Int J Sports Med. 2021. Vol. 42, N 3. P. 199–214. doi: 10.1055/a-1263-0898
7. Fahed G., Aoun L., Bou Zerdan M., et al. Metabolic syndrome: Updates on pathophysiology and management in 2021 // Int J Mol Sci. 2022. Vol. 23, N 2. P. 786. doi: 10.3390/ijms23020786
8. Бобровницкий И.П., Фролков В.К., Шекемов В.В., и др. Метаболический синдром: механизмы развития и персонализация технологий лечения и профилактики // Инновационные технологии в диагностике и лечении внутренних болезней: материалы Межрегиональной научно-практической конференции. Новосибирск, 2012. С. 61–69.
9. Елизаров А.Н. Физические факторы низкогорья в лечении и профилактике метаболического синдрома: Автореф. дис. ... докт. мед. наук. Москва, 2008. 48 с.
10. Нагорнев С.Н., Кулиш А.В., Фролков В.К., и др. Влияние высокочастотной транскраниальной магнитной стимуляции на состояние микроциркуляторно-тканевых систем у больных метаболическим синдромом // Физиотерапевт. 2016. № 1. С. 23–29.
11. Хадарцев А.А., Логаткина А.В., Терехов И.В., и др. Динамика проявлений метаболического синдрома у пациентов с артериальной гипертензией на фоне комплексного использования низкоинтенсивной микроволновой терапии // Артериальная гипертензия. 2018. Т. 24, № 2. С. 206–216.
12. Куликов А.Г., Кузовлева Е.В. Применение низкочастотного электростатического поля в клинической практике // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2013. № 4. С. 44–53.
13. Лопаткина Л.В., Котенко К.В., Корчажкина Н.Б. Влияние современных методов реабилитации на резервные и адаптивные возможности при метаболическом синдроме // Вестник новых медицинских технологий. 2013. № 1. С. 186–187.
14. Бериханова Р.Р., Миненко И.А. Гормональный профиль женщин с метаболическим синдромом на фоне мульти-модальной нелекарственной коррекции климактерических нарушений // Успехи геронтологии. 2020. Т. 33, № 4. С. 721–728.
15. Нагорнев С.Н., Фролков В.К., Кулиш А.В., и др. Системный подход и алгоритмизация применения транскраниальных магнитных воздействий при проведении медицинской реабилитации больных с гемодинамическими и дисметаболическими нарушениями // Системный анализ и управление в биомедицинских системах. 2016. Т. 15, № 4. С. 651–657.
16. Горбань А.Н., Смирнова Е.В. Эффект группового стресса и корреляционная адаптометрия [интернет]. 2018. Режим доступа: <http://adaptometry.narod.ru/Index.htm>. Дата обращения: 10.03.2023.
17. Метаорганизм. Стресс и адаптация. Монография / под ред. А.Л. Бурмистровой. Челябинск: Издательство Челябинского государственного университета, 2019. 239 с.
18. Шпитонков М.И. Корреляционная адаптометрия. Оценка эффективности операций на сердце // Исследование операций (модели, системы, решения). 2020. № 6. С. 46–50.

19. Шпитонков М.И. Корреляционная адаптометрия. Эффективность лечения пациентов после трансплантации // Исследование операций (модели, системы, решения). 2012. № 7. С. 59–63.
20. Фокина Е.Г., Герасимов А.Н., Шпитонков М.И. Применение методики корреляционной адаптометрии для исследования эффективности лечения больных дифтерией и рожей // Исследование операций (модели, системы, решения). 2016. № 2. С. 78–86.
21. Климова Е.В. Применение метода корреляционной адаптометрии для оценки эффективности лечения больных ожирением [диетотерапия] // Пищевая и перерабатывающая промышленность. Реферативный журнал. 2008. № 3. С. 669.
22. Шпитонков М.И. Использование методики корреляционной адаптометрии для оценки эффективности лечения больных метаболическим синдромом // Исследование операций (модели, системы, решения). 2014. № 9. С. 31–34.
23. Иванова Е.С. Корреляционная адаптометрия как оценка эффективности тренировочных программ // Материалы Всероссийского конкурса студенческих научно-исследовательских работ «Студент – исследователь». Казань: Поволжская государственная академия физической культуры, спорта и туризма, 2019. С. 213–215.
24. Гаврилов В.Б., Гаврилова А.Р., Мажуль Л.М. Анализ методов определения продуктов ПОЛ в сыворотке по тесту с ТБК // Вопросы медицинской химии. 1987. № 1. С. 118–122.
25. Карпищенко А.И. Медицинские лабораторные технологии. Справочник. Санкт-Петербург: Интермедика, 2002. 600 с.
26. Костюк В.А., Потапович А.И., Ковалева Ж.И. Простой и чувствительный метод определения супероксиддисмутазы, основанный на реакции окисления кверцетина // Вопросы медицинской химии. 1990. № 2. С. 88–91.
27. Смирнова Е.В. Математическое моделирование адаптации к экстремальным условиям, эффект группового стресса и корреляционная адаптометрия: Автореф. дис. ... д-ра физ.-мат. наук. Красноярск, 2000. 27 с.
28. Gorban A.N., Smirnova E.V., Tyukina T.A. General laws of adaptation to environmental factors: From ecological stress to financial crisis // *Math Model Nat Phenom*. 2009. Vol. 4, N 6. P. 1–53.
29. Яковлев М.Ю. Моделирование метеопатических реакций организма и обоснование их восстановительной коррекции при распространенных болезнях системы кровообращения: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Москва, 2021. 29 с.
30. Груздев А.В. Прогнозное моделирование в IBM SPSS Statistics, R и Python: метод деревьев решений и случайный лес. Москва: ДМК Пресс, 2018. 642 с.

REFERENCES

1. Konchugova TV, Kulchitskaya DB, Agasarov LG. Prospects of neurotropic electrotherapy in improving the adaptive capabilities of athletes (literature review). *Bulletin New Med Technologies. Electronic Edition*. 2019;(3):169–176. (In Russ).
2. Ponomarenko GN. Restorative medicine: fundamental foundations and development prospects. *Physical Rehabilitat Med*. 2022;4(1):8–20. (In Russ).
3. Ulashchik VS. Combined physiotherapy: General information, interaction of physical factors. *Questions Balneol Physiotherapy Exercise Therapy*. 2016;(6):4–11. (In Russ).
4. Orekhova EM, Kulchitskaya DB, Konchugova TV, et al. The role of combined physiotherapy in health and prevention programs. *Physiotherapist*. 2015;(6):63–71. (In Russ).
5. Recommendations for the management of patients with metabolic syndrome: Clinical guidelines. Moscow; 2013. 43 p. (In Russ).
6. Bovolini A, Garcia J, Andrade MA, et al. Metabolic syndrome pathophysiology and predisposing factors. *Int J Sports Med*. 2021;42(3):199–214. doi: 10.1055/a-1263-0898
7. Fahed G, Aoun L, Zerdan M, et al. Metabolic syndrome: Updates on pathophysiology and management in 2021. *Int J Mol Sci*. 2022;23(2):786. doi: 10.3390/ijms23020786
8. Bobrovniksky IP, Frolkov VK, Shekemov VV, et al. Metabolic syndrome: Mechanisms of development and personalization of treatment and prevention technologies. In: Innovative technologies in the diagnosis and treatment of internal diseases: Materials of the Interregional scientific and practical conference. Novosibirsk; 2012. P. 61–69. (In Russ).
9. Elizarov AN. Physical factors of low mountains in the treatment and prevention of metabolic syndrome [dissertation abstract]. Moscow; 2008. 48 p. (In Russ).
10. Nagornev SN, Kulish AV, Frolkov VK, et al. The effect of high-frequency transcranial magnetic stimulation on the state of microcirculatory and tissue systems in patients with metabolic syndrome. *Physiotherapist*. 2016;(1):23–29. (In Russ).
11. Khadartsev AA, Logatkina AV, Terekhov IV, et al. Dynamics of metabolic syndrome manifestations in patients with arterial hypertension against the background of complex use of low-intensity microwave therapy. *Arterial Hypertension*. 2018;24(2):206–216. (In Russ).
12. Kulikov AG, Kuzovleva EV. Application of low-frequency electrostatic field in clinical practice. *Physiotherapy Balneol Rehabilitat*. 2013;(4):44–53 (In Russ).
13. Lopatkina LV, Kotenko KV, Korchazhkina NB. The influence of modern rehabilitation methods on reserve and adaptive capabilities in metabolic syndrome. *Bulletin New Med Technol*. 2013;(1):186–187. (In Russ).
14. Berikhanova RR, Minenko IA. Hormonal profile of women with metabolic syndrome against the background of multimodal non-drug correction of menopausal disorders. *Successes Gerontol*. 2020;33(4):721–728. (In Russ).
15. Nagornev SN, Frolkov VK, Kulish AV, et al. A systematic approach and algorithmization of the use of transcranial magnetic influences in the medical rehabilitation of patients with hemocirculatory and dysmetabolic disorders. *System Analysis Management Biomed Sys*. 2016;(15)(4):651–657. (In Russ).
16. Gorban A, Smirnova EV. The effect of group stress and correlation adaptometry. 2018. Available from: <http://adaptometry.narod.ru/Index.htm>. Accessed: 10.03.2023. (In Russ).
17. Metaorganism. Stress and adaptation: Collective. monograph. Ed. by A.L. Burmistrova. Chelyabinsk: Chelyabinsk State University Publishing House; 2019. 239 p. (In Russ).
18. Shpitonkov MI. Correlation adaptometry. Evaluation of the effectiveness of heart operations. *Res Operations (Models Systems Solutions)*. 2020;6(S):46–50. (In Russ).

19. Shpitionkov MI. Correlation adaptometry. The effectiveness of the treatment of patients after transplantation. *Res operations (Models Systems Solutions)*. 2012;(7):59–63. (In Russ).
20. Fokina EG, Gerasimov AN, Shpitionkov MI. Application of the correlation adaptometry technique to study the effectiveness of treatment of patients with diphtheria and erysipelas. *Operations Research (Models Systems Solutions)*. 2016;(2):78–86. (In Russ).
21. Klimova EV. Application of the correlation adaptometry method to evaluate the effectiveness of treatment of obese patients [diet therapy]. *Food Processing Industry. Abstract J.* 2008;(3):669. (In Russ).
22. Shpitionkov MI. Using the method of correlation adaptometry to assess the effectiveness of treatment of patients with metabolic syndrome. *Res Operat (Models Systems Solutions)*. 2014;(9):31–34. (In Russ).
23. Ivanova ES. Correlation adaptometry as an assessment of the effectiveness of training programs. In: Materials of the All-Russian competition of student research papers "Student researcher". Kazan: Volga Region State Academy of Physical Culture, Sports and Tourism; 2019. P. 213–215. (In Russ).
24. Gavrilov VB, Gavrilova AR, Mazhul LM. Analysis of methods for determining POL products in serum according to a test with TBK. *Questions Med Chemistry*. 1987;(1):118–122. (In Russ).
25. Karpishchenko AI. Medical laboratory technologies. Guide. Saint Petersburg: Intermedica; 2002. 600 p. (In Russ).
26. Kostyuk VA, Potapovich AI, Kovaleva ZI. A simple and sensitive method for determining superoxide dismutase based on quercetin oxidation reaction. *Questions Med Chemistry*. 1990;(2):88–91. (In Russ).
27. Smirnova EV. Mathematical modeling of adaptation to extreme conditions, the effect of group stress and correlation adaptometry [dissertation abstract]. Krasnoyarsk; 2000. 27 p. (In Russ).
28. Gorban AN, Smirnova EV, Tyukina TA. General laws of adaptation to environmental factors: From ecological stress to financial crisis. *Math Model Nat Phenom*. 2009;4(6):1–53.
29. Yakovlev MY. Modeling of meteoathic reactions of the body and justification of their restorative correction in common diseases of the circulatory system [dissertation abstract]. Moscow; 2021. 29 p. (In Russ).
30. Gruzdev AV. Predictive modeling in IBM SPSS Statistics, R and Python: Decision tree method and random forest. Moscow: DMK Press; 2018. 642 p. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* **Нагорнев Сергей Николаевич**, д-р мед. наук, профессор;
адрес: Россия, 121359, Москва, ул. Маршала Тимошенко, д. 19,
стр. 1А;
ORCID: 0000-0002-1190-1440;
eLibrary SPIN: 2099-3854;
e-mail: drnag@mail.ru

Беньков Андрей Александрович;
ORCID: 0000-0003-4074-7208;
e-mail: a.benkov@medteco.ru

Фролков Валерий Константинович, д-р мед. наук,
профессор;
ORCID: 0000-0002-1277-5183;
eLibrary SPIN: 3183-0883;
e-mail: fvk49@mail.ru

Еделев Дмитрий Аркадьевич;
ORCID: 0000-0002-5863-2284;
eLibrary SPIN: 8365-9867;
e-mail: d.a.edelev@vk.com

Корлякова Ольга Вениаминовна;
ORCID: 0000-0002-2650-267X;
eLibrary SPIN: 8468-2386;
e-mail: ovk_mma@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Sergey N. Nagornev**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
address: 19/1A Marshal Timoshenko street, 121359 Moscow,
Russia;
ORCID: 0000-0002-1190-1440;
eLibrary SPIN: 2099-3854;
e-mail: drnag@mail.ru

Andrey A. Benkov;
ORCID: 0000-0003-4074-7208;
e-mail: a.benkov@medteco.ru

Valery K. Frolkov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
ORCID: 0000-0002-1277-5183;
eLibrary SPIN: 3183-0883;
e-mail: fvk49@mail.ru

Dmitry A. Edelev;
ORCID: 0000-0002-5863-2284;
eLibrary SPIN: 8365-9867;
e-mail: d.a.edelev@vk.com

Olga V. Korlyakova;
ORCID: 0000-0002-2650-267X;
eLibrary SPIN: 8468-2386;
e-mail: ovk_mma@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author