

ISSN 1560-4136

БИОМЕДИЦИНСКАЯ РАДИОЭЛЕКТРОНИКА



Biomedicine Radioengineering

7' 2015

В номере:

2

Работы факультета «Биомедицинская техника»
МГТУ им. Н.Э. Баумана



тел./факс: +7(495) 625-92-41
info@radiotec.ru

ПОДПИСНОЙ ИНДЕКС 47339 В КАТАЛОГЕ АГЕНТСТВА «РОСПЕЧАТЬ»: ГАЗЕТЫ И ЖУРНАЛЫ



Главный редактор: академик РАН Ю.В. ГУЛЯЕВ

Редакционная коллегия: Л.П. Андрианова, д.ф.-м.н., проф. О.В. Бешкий (зам. главного редактора), д.т.н., проф. А.Г. Гудков, к.т.н. С.Г. Гуржин, д.т.н., д.ф.-м.н. М. Жадобов (Франция), д.т.н. проф. В.И. Жулев, д.т.н., проф. К.В. Зайченко, д.м.н., проф. В.Ф. Киричук, к.ф.-м.н. В.В. Колесов, к.б.н. Т.И. Котровская, к.ф.-м.н. А.П. Креницкий, д.м.н. А.Ю. Лебедева, д.б.н., проф. Н.Н.Лебедева, д.х.н., проф. А.К. Лященко, Н.П. Майкова, д.ф.-м.н., проф. В.Н. Макаров, д.б.н. И.В. Матвейчук, д.т.н., проф. Ю.П. Муха, д.ф.-м.н., проф. Ю.В.Обухов, д.ф.-м.н., проф. Ю.А. Пирогов, д.ф.-м.н., проф. Н.И. Синицын, д.т.н., проф. Л.Т. Сушкова, к.т.н., проф. В.Д. Тупикин, д.т.н. И. Тауфер (Чешская республика), д.ф.-м.н., проф. В.А. Черепенин, к.ф.-м.н. Ю.П. Чукова, д.ф.-м.н., проф. А.Г. Шейн, д.т.н., проф. С.И. Щукин, д.т.н., проф. З.М. Юлдашев

Editor-in-Chief Academician RAS Yu.V. GULYAEV





Editorial Board: L.P. Andrianova, N.P. Maikova, Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof. O.V. Betskii (Deputy Editor), Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof. V.A. Cherepenin, Dr.Sc. (Eng.), Prof. A.G. Gudkov, Dr.Sc. (Med.), Prof. V.F. Kinchuk, Dr.Sc. (Med.) A.Yu. Lebedeva, Dr.Sc. (Biol.), Prof. N.N. Lebedeva, Dr.Sc. (Chem.), Prof. A.K. Lyashchenko, Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof. V.N. Makarov, Dr.Sc. (Biol.) I.V. Matveichuk, Dr.Sc. (Eng.), Prof. Yu.P. Mukha, Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof. Yu.V. Obukhov, Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof. Yu.A. Pirogov, Dr.Sc. (Eng.), Prof. S.I. Shchukin, Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof. A.G. Shein, Dr.Sc. (Phys.-Math.), Prof. N.I. Sinitsyn, Dr.Sc. (Eng.), Prof. L.T. Sushkova, Dr.Sc. (Eng.), Prof. I. Taufer (Czech Republic), Dr.Sc.(Eng.), Prof. Z.M. Yuldashev, Dr.Sc. (Eng.), Prof. K.V. Zaichenko, Dr.Sc. (Phys.-Math.) M. Zhadobov (France), Dr.Sc. (Eng.), Prof. V.I. Zhulev, Ph.D. (Phys.-Math.) Yu.P. Chukova, Ph.D. (Eng.) S.G.Gurzhin, Ph.D. (Phys.-Math.) V.V. Kolesov, Ph.D. (Biol.) T.I. Kotrovskaya, Ph.D. (Phys.-Math.) A.P. Krenitskii, Ph.D. (Eng.), Prof. V.D. Tupikin

Редактор выпуска: докт. техн. наук, профессор С.И. Щукин

Работы факультета

«Биомедицинская техника» МГТУ им. Н.Э. Баумана

Содержание

	От редактора From Editor	3
	Исследование гемодинамики правого предсердия с помощью электроимпедансных методов для пациентов с фибрилляцией предсердий. <i>A.N. Malakhov, A.N. Tikhomirov, S.I. Shchukin, S.S. Ostavnov, A.P. Nikolaev</i>	4
	Investigation of right atrium hemodynamics via the electro impedance methods for patients with atrium fibrillation <i>A.I. Malakhov, A.N. Tikhomirov, S.I. Shchukin, S.S. Ostavnov, A.P. Nikolaev</i>	8
	Использование конечно-элементного анализа для верификации сферической математической модели импедансных измерений. <i>A.N. Tikhomirov, A.I. Malakhov, S.I. Shchukin, I.K. Sergeev, A.K. Volkov</i>	9
	Finite element analysis as a method to verify two layer mathematical model with spherical immersion. <i>A.N. Tikhomirov, A.I. Malakhov, S.I. Shchukin, I.K. Sergeev, A.K. Volkov</i>	13
	Особенности метода электроимпедансного контроля венепункции. <i>I.A. Kudashov, S.I. Shchukin, O.V. Belaya, S.Yu. Perov, V.I. Petrov</i>	15
	The features of the controlling venipuncture electrical impedance method. <i>I.A. Kudashov, S.I. Shchukin, O.V. Belaya, S.Yu. Perov, V.I. Petrov</i>	19
	Исследование различных электродных систем для электроимпедансного метода определения локализации поверхностных вен. <i>M.B. Al-Harosh, S.I. Shchukin, A.K. Volkov, A.G. Gudkov</i>	20
	Studies of various electrode systems to the electrical impedance method of peripheral veins localization. <i>Al-Harosh Mugeb Alrahman Baggash, S.I. Shchukin, A.K. Volkov, A.K. Volkov</i>	24

	Особенности определения показателей формы при контурном анализе реографических сигналов. <i>П.В. Лужнов, Т.О. Пика, Д.М. Шамаев, А.П. Николаев</i>	25
	Features of the form parameters definition during the rheographic signals analysis. <i>P.V. Luzhnov, T.O. Pika, D.M. Shamaev, A.P. Nikolaev</i>	29
	Роботизация управления катетером при выполнении процедур интервенционной радиологии. <i>Г.В. Саврасов, Н.В. Беликов, И.В. Хайдукова</i>	31
	Catheter navigation robotization in interventional radiosurgery. <i>G.V. Savrasov, N.V. Belikov, I.V. Khaydukova</i>	37
	Медицинская робототехника в интервенционной радиологии. <i>Г.В. Саврасов, Н.В. Беликов, И.В. Хайдукова</i>	39
	Medical robotic technology in interventional radiology. <i>G.V. Savrasov, N.V. Belikov, I.V. Khaydukova</i>	46
	Термографическое сравнение реакции тела пациента на воздействие низкочастотного электрического поля и ручного массажа при терапии сколиоза. <i>Л.В. Жорина, Т.Н. Зайцева, М.И. Кожжевникова, К.Г. Максимова</i>	48
	Thermographic comparison of a patient body response to the impact of low-frequency electric field and hand massage for a scoliosis treatment. <i>L.V. Zhorina, T.N. Zaytseva, M.I. Kozhevnikova, K.G. Maximova</i>	56
	Многофакторный контроль данных о заболеваемости клещевым энцефалитом. <i>В.В. Котин, А. Г. Скударев</i>	58
	Multifactorial data control of tick-borne encephalitis incidence. <i>V.V. Kotin, A.G. Skudarev</i>	63
	Исследование параметров ультразвукового распыления жидких лекарственных препаратов для ингаляции дыхательных путей. <i>М.С. Городкова, И.А. Аполлонова, А.П. Николаев</i>	64
	Research of ultrasonic dispersion of liquid drugs for inhalation of respiratory tract. <i>M.S. Gorodkova, I.A. Apollonova, A.P. Nikolaev</i>	70
	Малоинвазивная ультразвуковая санация внутриполостных инфицированных тканей. <i>Ю.А. Еришов, С.В. Альков, А.Г. Гудков</i>	71
	Small-invasive ultrasound sanitation of intracavitary infected tissues. <i>S.V. Alkov, Yu.A. Ershov</i>	77
	Бесконтактный мониторинг дыхания спящего животного при помощи биорадиолокатора. <i>Л.Н. Анищенко, Е.С. Гайсина, С.И. Ивашиов</i>	78
	Bioradar for non-contact monitoring of a sleeping rat respiration pattern. <i>L.N. Anishchenko, E.S. Gaysina, S.I. Ivashov</i>	84
	Использование метода биорадиолокации для бесконтактного определения структуры сна человека. <i>А.Б. Татарайдзе, Л.Н. Анищенко, Л.С. Коростовцева, М.В. Бочкарев, Ю.В. Свирыев, С.И. Ивашиов, В.С. Веретин, А.С. Бугаев</i>	85
	Application of bioradiolocation for noncontact human sleep structure detection. <i>A.B. Tataraidze, L.N. Anishchenko, L.S. Korostovtseva, M. V. Bochkarev, Yu.V. Sviryaev, S.I. Ivashov, V.S. Vereten, A.S. Bugaev</i>	91

"*Biomeditinskaya radioelektronika*" (*Biomedicine Radioengineering*) is a scientific and technical journal devoted to biomedicine technologies and electromagnetic oscillations influence on biological objects. Established in 1998.

Полный список опубликованных в журналах статей, а также аннотации к ним Вы найдете на нашем сайте <http://www.radiotec.ru>



Учредитель ЗАО «Издательство «Радиотехника».

Свидетельство о регистрации № 016200 от 10 июня 1997 г.

Сдано в набор 19.10.2015. Подписано в печать 23.11.2015. Печ. л. 11,5. Тираж 500. Изд. № 123.

107031, Москва, К-31, Кузнецкий мост, д. 20/6. Тел./факс +7(495)621-4837

info@radiotec.ru

Дизайн и допечатная подготовка ООО «САЙНС-ПРЕСС».

Отпечатано в ФГУП Издательство «Известия» УДП РФ

127254, ул. Добролюбова, д. 6. Контактные телефоны: 650-38-80. Заказ № 12.

ISSN 1560-4136

© ЗАО «Издательство «Радиотехника». 2015

Незаконное тиражирование и перевод статей, включенных в журнал, в электронном и любом другом виде запрещено и карается административной и уголовной ответственностью по закону РФ «Об авторском праве и смежных правах»



© Авторы, 2015
ГЗАО «Издательство «Радиотехника», 2015

**Лариса Валерьевна
Жорина** –
к.ф.-м.н., доцент,
кафедра «Биомедицинские
технические системы»
(БМТ-1) МГТУ им. Н.Э. Баумана
E-mail: larisa7777@li.ru

**Татьяна Николаевна
Зайцева**
мл. науч. сотрудник,
ГБОУ ДПО РМАПО Минздрава России
E-mail: tayutn@mail.ru

**Маргарита Ивановна
Кожевникова** –
к.б.н., вед. науч. сотрудник,
ФГБНУ НИИ общей патологии
и патофизиологии (Москва)
E-mail: kozmi39@rambler.ru

**Ксения Германовна
Максимова** –
бакалавр, кафедра «Биомедицинские
технические системы» (БМТ-1),
МГТУ им. Н.Э. Баумана.
E-mail: moi_milo@mail.ru

УДК 616-073.65

Термографическое сравнение реакции тела пациента на воздействие низкочастотного электрического поля и ручного массажа при терапии сколиоза

Л.В. Жорина, Т.Н. Зайцева, М.И. Кожевникова, К.Г. Максимова

Проведена сравнительная оценка воздействия ручного массажа и терапии низкочастотным электрическим полем (НЧЭП) по данным термографии методом фиксированных температур у детей со сколиозом. Обнаружен рост температуры тела после ручного массажа вплоть до 100 мин после его выполнения. Терапия НЧЭП также вызывает рост температуры тела, достигающий максимума к 60...80 минуте после воздействия. Однако сразу после указанной процедуры обнаружено понижение температуры тела с минимумом на 20-й минуте после воздействия. Проведены исследования для выявления механизмов наблюдаемых изменений температуры: представлены результаты трех типов воздействия на мышцы (ручной массаж, терапия НЧЭП и поднятие груза) для разных режимов проведения этих процедур (симметричное и несимметричное воздействие).

Ключевые слова: термография, низкочастотное электрическое поле, ручной массаж, сколиоз.

In this study the impact of manual massage and low-frequency electric field (LFEF) therapy are compared according to thermography by the fixed temperature method. An increase in body temperature after manual massage up to 100 minutes after its implementation is found. The body temperature dynamics has a minimum at 20 minutes and maximum at 60...80 minutes after LFEF therapy. It is done assumptions about the mechanisms of the observed temperature changes.

Keywords: thermography, low-frequency electric field, hand massage, scoliosis.

Введение

В настоящее время, по данным Всемирной Организации Здравоохранения (ВОЗ), около 80 % населения планеты страдает различными заболеваниями опорно-двигательной системы. Наиболее актуальной является проблема искривления позвоночника у детей (вплоть до сколиоза) в период интенсивного роста. Распространенность сколиоза у детей школьного возраста достигает 15–30 и более процентов [1]. Существуют различные методы лечения и медицинской реабилитации этого заболевания. Однако наиболее распространенным остается традиционный ручной массаж, качество выполнения которого фактически не поддается контролю. Поэтому постоянно ведутся поиски варианта физиотерапии, альтернативного ручному

массажу. Одним из наиболее известных, часто используемых и востребованных направлений физиотерапии, несомненно, является электротерапия. С целью расширения спектра физиотерапевтических факторов примерно 10 лет назад в медицинскую практику была внедрена методика терапии низкочастотным (НЧ) электрическим полем (НЧЭП). Данная процедура предположительно повышает эффективность ручного массажа и улучшает гемодинамику и лимфообращение [2–4].

Согласно современной теории (теории Максвелла), между электрическим и магнитным полями существует взаимосвязь, обусловленная изменением полей во времени и пространстве: $\text{rot} \mathbf{E} = -\partial \mathbf{B} / \partial t$. Она отражает тот факт, что раздельное рассмотрение электрического и магнитного полей имеет лишь относительный смысл. Изменяющиеся магнитные поля всегда являются связанными (сцепленными) с изменяющимися вихревыми электрическими полями и, по существу, представляют собой единое электромагнитное поле (ЭМП). В связи с этим воздействие НЧЭП должно быть аналогично действию НЧЭМП. По данным ВОЗ [5], низкочастотные магнитные поля индуцируют циркулирующие токи в организме человека. Согласно широкомасштабным исследованиям, на сегодняшний день фактически нет данных, подтверждающих вред для здоровья человека ЭМП низких интенсивностей. Для оценки риска воздействия полей крайне низких частот (КНЧ) до сих пор не хватает данных. По рекомендации ВОЗ [6], правительство и промышленность должны постоянно следить за научными достижениями и содействовать исследовательским программам для дальнейшего уменьшения неопределенности научных данных в отношении последствий для здоровья, связанных с воздействием полей КНЧ ЭМП. Первичные механизмы действия поглощенной энергии ЭМП на молекулярном, субклеточном и клеточном уровнях изучены слабо. Одним из проявлений взаимодействия ЭМП с веществом вообще и с биологическими структурами, в частности, является их нагрев. Однако биологические эффекты под влиянием ЭМП могут проявляться и при так называемых «нетепловых» уровнях, т.е. когда общего повышения температуры может и не наблюдаться [7].

Внешние магнитные поля КНЧ индуцируют электрические поля и токи в организме человека, которые при мощности магнитного поля значительно выше 100 мкТл оказывают стимулирую-

щее воздействие на нервы и мышцы, вызывая изменение возбудимости нервных клеток в центральной нервной системе (ЦНС) [6]. После воздействия в течение 1 ч переменным магнитным полем с индукцией 200 мкТл и частотой 60 Гц (т.е. переменным ЭМП) наблюдалось уменьшение микроциркуляции (перфузии крови кожи) и частоты сердечных сокращений (ЧСС), сопровождавшееся уменьшением температуры тела [8]. Авторы работы считают, что наблюдаемый эффект связан с достаточно длительным покоем тела и, возможно, со снижением физиологического возбуждения во время процедуры. Тридцатиминутное воздействие переменным низкочастотным (<3 кГц) магнитным полем (<400 мкТл) на человека вызывает обезболивающий эффект [9–11]. Предполагается, что наблюдаемый эффект является результатом прямого воздействия использованного фактора на ЦНС и активность мозга, и что, по-видимому, электромагнитные силы влияют на высвобождение эндогенных опиоидов, возможно, путем прямого действия на лимбическую систему мозга.

Существует предположение [12] о взаимодействии внешних ЭМП с компонентами плазматической мембраны клетки. Взаимодействие нервной клетки со слабыми ЭМП может привести к резкому повышению градиента Ca^{2+} на плазматических мембранах нейронов ЦНС, вызывающему возбуждение, поскольку нервные клетки возбуждаются входящим кальциевым током через плазмолемму, покрывающую их тела. Помимо этой ионной теории те же авторы рассматривают также мембранную и дипольную теории взаимодействия ЭМП с микроструктурами, в рамках которых преобразование энергии ЭМП в кинетическую энергию молекул также связано с представлениями о флуктуационно-вероятностном влиянии, реализующемся через триггерные усиленные механизмы живой системы. Там же [12] сообщается, что подтверждены биологические эффекты и общие неспецифические механизмы влияния сверхнизкочастотных ЭМП на повышение функциональной активности гипофизарно-надпочечниковой системы.

Считается, что в основе ответных реакций на действие НЧЭМП лежит местная и рефлекторная нейрогуморальная реакция целостного организма [13]. По интенсивности ЭЭГ-реакции на мозг кролика отделы располагаются в следующем убывающем порядке: гипоталамус, сен-





сомоторная кора, зрительная кора, специфические ядра таламуса, неспецифические ядра таламуса и ретикулярная формация среднего мозга. Конечный биологический эффект ЭМП во многом зависит и от особенностей биообъекта. Здесь важен возраст (дети и старики реагируют сильнее), пол (мужчины более чувствительны к магнитному полю), исходное функциональное состояние, а также индивидуально-типологические особенности. Многие исследователи отмечали сноподобное действие ЭМП. Сюда можно отнести повышение порогов на сенсорные и болевые раздражители, торможение условных рефлексов и преобладание в электроэнцефалограммах тех картин, которые характеризуют стадию медленного волнового сна. Вероятно, это связано с тем, что центр сна обычно локализуется в гипоталамусе, который, по многочисленным сообщениям, наиболее чувствителен к ЭМП. При использовании физиотерапевтического аппарата «ИНФИТА», генерирующего импульсное НЧЭМП (50 Гц), наблюдались активизация тормозных систем ЦНС, снижение возбудимости ЦНС и нормализация баланса основных нервных процессов «возбуждение-торможение» в ЦНС. Все это, в свою очередь, приводило к нормализации процесса произвольного расслабления скелетных мышц, повышению его скорости [13]. Патентован метод низкоамплитудной электрической (амплитуда тока – 40...70 мкА) и/или магнитной стимуляции мозга во время медленноволновых стадий ночного сна на частоте в диапазоне 0,5...4 Гц, не пробуждающей пациента. Авторы утверждают, что подобная стимуляция мозга углубляет фазу медленноволнового сна [14].

Известно, что переменное ЭМП радиодиапазона при взаимодействии с биоструктурами может терять часть энергии, превращающейся в теплоту, за счет генерации токов проводимости в электролитах (проводниках) и за счет поляризации диэлектриков тканей организма [15, 16]. Заметное повышение температуры живых тканей происходит в случае, если дополнительная тепловая нагрузка (например, под действием ЭМП) достигает не менее 70 % метаболической теплопродукции (1...3 мВт/ч) [12]. Длина электромагнитных волн низких частот многократно превосходит размеры человеческого тела, вследствие чего весь организм подвергается воздействию та-

ких волн. Однако это действие на разные ткани неодинаково, поскольку они отличаются как по электрическим свойствам, так и по чувствительности к току проводимости. Например, к такому воздействию весьма чувствительна нервная система.

Обращаясь к механизму действия ручного массажа, отметим, что и в его основе лежат сложные, взаимосвязанные рефлекторные, нейрогуморальные и обменные процессы, регулируемые ЦНС. Начальным звеном в развитии рефлекторных реакций служит раздражение механорецепторов массируемых тканей. В массируемом участке тела усиливается циркуляция крови, лимфы, тканевой жидкости. Определенное значение имеет образование биологически активных веществ (гистамина, ацетилхолина и др.), стимулирующих адаптационно-трофическую функцию ЦНС [17].

Все вышесказанное приводит к мысли о необходимости сравнения действия на организм пациента ручного массажа и терапии НЧЭП для выявления наиболее действенного и безопасного метода лечения. Было предложено оценить влияние на пациентов обеих процедур путем регистрации тепловых полей тела человека и их динамики во времени при проведении обоих видов воздействий.

Цель работы – сравнительная оценка воздействия ручного массажа и терапии НЧЭП по данным термографии методом фиксированных температур.

Методы, материалы и оборудование

Работа проведена в реабилитационно-образовательном центре № 76 Департамента социальной защиты населения г. Москвы. Группу обследованных составили дети 12...14 лет с диагнозом «сколиоз 1–2-й степени» без явных признаков воспалительных процессов и нормальной температурой тела, что констатировалось максимальным медицинским термометром в подмышечной впадине.

В настоящей работе представлены результаты трех типов воздействия на мышцы (ручной массаж, терапия НЧЭП и поднятие груза) для разных режимов проведения этих процедур (симметричное и несимметричное воздействие).

Воздействие НЧЭП выполнялось отечественным аппаратом «ЭЛГОС» производства ООО НПФ «Реабилитационные технологии» (г. Н. Новгород,

Россия. Регистрационное удостоверение № РЗН 2012/13738 от 13 августа 2012 г.). «ЭЛГОС» – аппарат с большим внутренним сопротивлением. в результате чего сила генерируемого им в теле пациента электрического тока не превышает нескольких микроампер. Амплитуда выходных импульсов, формирующих электрическое поле, находится в пределах от 0 до 430 В (от 0 до 100 % по шкале аппарата). Частота вибрации при выполнении процедур (частота выходных биполярных импульсов) задана в аппарате и находится в диапазоне от 5 до 250 Гц. В проводимых исследованиях использовалась следующая схема воздействия на спину больного: амплитуда – 50 %, режим – 3, последовательно на частотах 180...200 Гц, 80 Гц и 20...30 Гц. В проводимых нами исследованиях воздействие осуществлялось на область спины, не нажимая на аппликатор, со средней скоростью в течение 15 мин. Ручной массаж проводился в стандартном режиме, его длительность составляла 10 мин. Для исследования несимметричного воздействия как ручного массажа, так и НЧЭП привлекались добровольцы со сколиозом не из числа пациентов. Несимметричное воздействие осуществлялось на левую сторону спины, повторяя схему воздействия для симметричного случая. Силовая нагрузка проводилась на здоровых взрослых добровольцах и заключалась в поднятии гири 16 кг левой рукой 10 раз.

Визуализация теплового поля проводилась с помощью термографа «Иртис – 2000МЕ», разработанного ООО «ИРТИС/IRTIS» Москва, Россия. Основные технические характеристики: температурное разрешение по всему полю зрения – 0,05 °С, точность измерения температуры – ±0,5 °С, пространственное разрешение – 1,5 мрад. Прибор относится к тепловизорам с оптико-механическим сканированием, имеет систему охлаждения жидким азотом. Для всех случаев исследования выполнялась съемка пациентов и добровольцев спереди и сзади с помощью термографа для получения изображения поля температур. До начала съемки происходила адаптация тела раздетого пациента к окружающей температуре в течение 10 мин; далее во время всего хода съемок пациент не одевался. Съемка температурного поля происходила до начала процедуры, сразу после нее, а затем несколько раз через некоторое время после процедуры. В общей сложности динамика

тепловых полей и их распределение по телу наблюдались в пределах 90...160 мин. Конечное изображение, получаемое с помощью термографа, представляет собой поле температур по поверхности тела обследуемого. В подобных случаях исследователь имеет дело с «полевым» двумерным массивом данных, поэтому для проведения сравнительного анализа воздействия необходимо было выбрать зоны сравнения получаемых данных типа «область плеч», «уровень нижних углов лопаток», «линия вдоль позвоночника» и т.д. Именно по такому принципу формировались массивы сравниваемых, а затем и анализируемых числовых данных. В данной работе сосредоточено внимание на следующих зонах на поверхности спины пациентов: область плеч (проекция легких), уровень нижних углов лопаток (проекция легких и сердца), поясничная область (проекция почек и кишечника). Определялись значения температуры вдоль каждого уровня, а затем выделялись точки каждого уровня, лежащие на одной «вертикали», смещенной на некоторое расстояние от позвоночника, и строились графики зависимостей температуры этих точек от времени до и после процедуры. Нулевой отсчет времени на графиках соответствует моменту времени сразу после выполнения соответствующей процедуры. Точка «–20 мин» соответствует измерению поля температур до выполнения процедуры. Все графики построены по усредненным по нескольким пациентам значениям температур с учетом среднеквадратического отклонения и температурного разрешения прибора.



Результаты

В данном исследовании сравнивается воздействие двух физиопроцедур (ручной массаж и терапия НЧЭП), использовавшихся для лечения детей со сколиозом, по температурному параметру.

После измерения поля температур термографом для двух физиопроцедур, выполненных симметрично по всей спине пациентов, были обнаружены следующие особенности. После процедуры ручного массажа наблюдается постепенный нагрев тела и сзади, и спереди. Зависимость температуры выбранных зон от времени показана на рис. 1. После воздействия аппаратом «ЭЛГОС» также наблюдается общий нагрев тела с максимумом на 40...60-й минуте после проце-

дуры (рис. 2). Однако в отличие от результатов наблюдений за температурой поверхности тела после ручного массажа после воздействия НЧЭП между 0 и 20-й минутой наблюдается уменьшение температуры тела и спереди, и сзади.

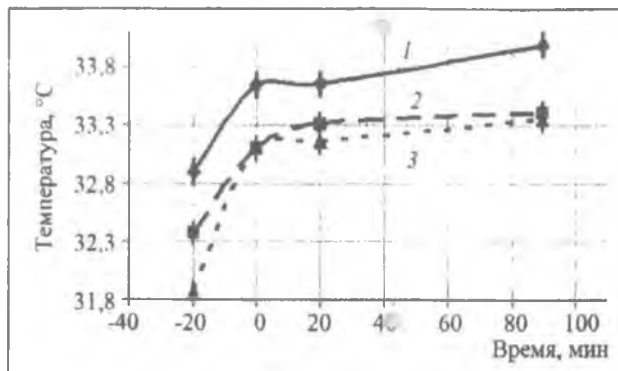


Рис. 1. Графики зависимости температуры поверхности тела пациентов от времени по трем уровням до (-20 мин) и после проведения процедуры ручного массажа (начиная с отметки 0 мин): 1 – область плеч; 2 – уровень нижних углов лопаток; 3 – поясничная область

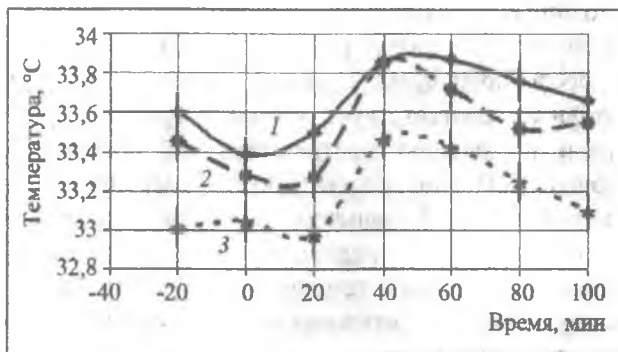


Рис. 2. Графики зависимости температуры поверхности тела пациентов от времени по трем уровням до и после проведения процедуры воздействия НЧЭП: 1 – область плеч; 2 – уровень нижних углов лопаток; 3 – поясничная область

Для выяснения возможной причины несхожести температурных динамик было проведено измерение температурного поля при несимметричном воздействии обеих процедур, а также при силовой нагрузке. Динамика температуры на уровне нижних углов лопаток при несимметричном ручном массаже (на левую сторону спины) представлена на рис. 3. Обнаружено улучшение гемодинамики и микроциркуляции с обеих сторон, что можно объяснить особенностями кровоснабжения мышц спины, наличием большого количества коллатералей. При силовой нагрузке на

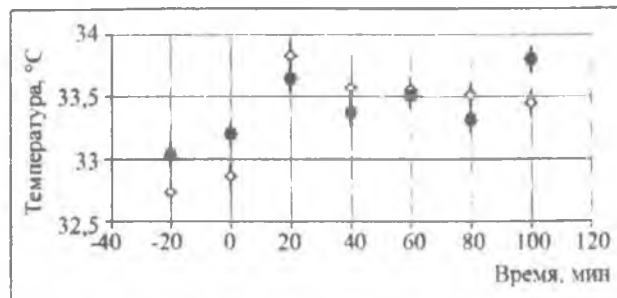


Рис. 3. Временная динамика температуры спины на уровне нижних углов лопаток после ручного массажа с левой стороны от позвоночника; круги – температура части спины левее позвоночника; квадраты – правее позвоночника

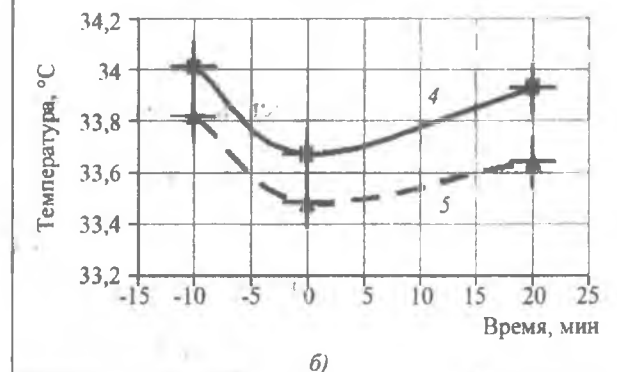
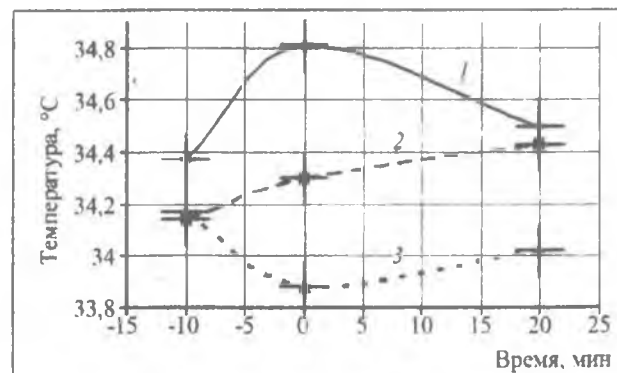


Рис. 4. Временная динамика температуры при силовой нагрузке: а – по уровню проекции мышечных групп, задействованных во время поднятия груза (1) и по уровню нижних углов лопаток (2 – слева от позвоночника, 3 – справа); б – поясничная область (4 – слева от позвоночника, 5 – справа)

термограммах наблюдалось локальное повышение температуры в области проекции мышечных групп, которые были задействованы во время выполнения упражнения по поднятию груза (рис. 4, а, кривая 1). По-видимому, происходит усиление кровоснабжения задействованных мышц и повышение теплопродукции в них

(рис. 4, а, кривая 2), снижение кровоснабжения на симметричной стороне спины (рис. 4, а, кривая 3), а также в поясничной области (рис. 4, б). Заметим, что временные зависимости температурных полей спины при ручном массаже (см. рис. 1) и при несимметричной силовой нагрузке (рис. 4, а (кривая 2)) подобны.

Результаты измерения динамики температуры при несимметричном воздействии НЧЭП на ту же, левую от позвоночника, сторону спины показаны на рис. 5. При сравнении рис. 2 и 5 видно, что временные зависимости температурных полей спины при симметричном и несимметричном воздействии НЧЭП подобны. При этом понижение и впоследствии увеличение температуры происходят по всей поверхности тела пациента (и со стороны спины, и спереди), поэтому можно говорить не о местной реакции на воздействие, а об общем ответе организма. Наблюдаемые зависимости существенно отличаются от временных зависимостей температурных полей спины при ручном массаже, что может говорить о разных механизмах изменения температуры.

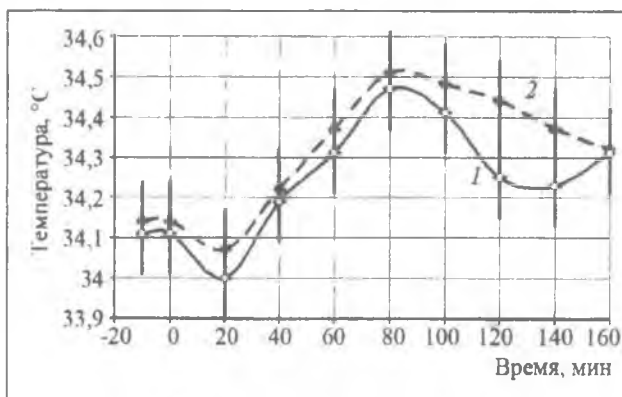


Рис. 5. Временная динамика температуры на уровне нижних углов лопаток при несимметричном воздействии НЧЭП на левую сторону спины: 1 – температура части спины левее позвоночника; 2 – температура правее позвоночника

Обсуждение результатов

Воздействие НЧЭП. Характерной особенностью живых тканей является сильная зависимость их диэлектрической проницаемости ϵ и проводимости σ от частоты ЭМП. Так, для использованных при процедуре частот (20, 80 и 200 Гц) для мышечной ткани $\epsilon \in (2,5; 0,8) \cdot 10^{-6}$, а $\sigma \in (0,104; 0,112) (\text{Ом} \cdot \text{м})^{-1}$ при температуре 37 °C [18]. Оценочные расчеты мощности [15, 16, 18], рассеи-

ваемой в единице объема электролита (проводника), по формуле $q = \sigma E_d^2$ и в единице объема диэлектрика по формуле $q = \omega E_d^2 \epsilon \epsilon_0 \text{tg} \delta$ (где E_d – действующее значение напряженности электрического поля, ω – его частота; ϵ_0 – электрическая постоянная, $\text{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь), показывают, что повышение температуры в результате полного поглощения рассчитанной мощности будет составлять приблизительно 0,03 К и 0,0025 К соответственно. Трудно предположить, является ли такое повышение температуры внутри тела достаточным для запуска системы терморегуляции. Хотя, например, кожные терморцепторы реагируют на минимальные изменения температуры 0,005 °C [19]; возможно, что и внутренние терморцепторы могут реагировать на столь незначительные изменения температуры.

Биологические объекты относятся к саморегулируемым системам, т.е. системам, способным поддерживать свое состояние или режим функционирования на определенном заданном уровне при непредвиденных внешних воздействиях. В случае регулирования по отклонению управляющая часть (головной мозг) вырабатывает команды, вызывающие изменения в системе, компенсирующие отклонения от заданного режима. Регулирование по отклонению осуществляется с использованием отрицательных обратных связей, вызывающих команды, стремящиеся уменьшить отклонения в системе. Например, при перегреве организма усиливается потоотделение, учащается дыхание, что приводит к увеличению теплоотдачи в окружающую среду и понижению температуры организма [15].

Известно, что гипоталамус управляет функциями внутренней среды организма и обеспечивает гомеостаз, играет центральную роль в реакции организма на стрессовые воздействия. Скорее всего, в наблюдаемом нами результате воздействия НЧЭП на пациентов управляющей частью саморегулируемой системы является гипоталамус. Регуляция теплопродукции [19] осуществляется в области задних отделов гипоталамуса. Заметим, что в поддержании состояния бодрствования центральную роль также играет его задняя область. Информация от центральных и периферических термоцентров объединяется в терморегуляторном центре. Сужение сосудов ос-



новных регионов тела достигается активацией симпатических центров заднего гипоталамуса. Массивное сосудорасширение происходит при торможении симпатической активности заднего гипоталамуса [19]. Проведение теплоты от мест его образования к коже осуществляется, в основном, кровотоком. Снижение потерь теплоты происходит путем сужения артериол, уменьшающего капиллярный кровоток. Большая часть крови, притекающей из глубины тела, минует кожу, проходя через артериовенозный анастомоз, благодаря чему уменьшается теплоотдача. Повышение потери тепла осуществляется за счет расширения артериол, усиливающего поток крови через капилляры, капилляры расширяются. При этом увеличивается кровоснабжение потовых желез, в результате чего усиливается потоотделение. Экспериментально показано, что потоотделение является результатом повышения температуры во внутренних областях тела. Если температура внутри тела увеличилась, то кровь изнутри тела, омывая гипоталамус, повышает его температуру. В ответ терморегуляторный центр в гипоталамусе запускает процесс охлаждения кожи. Противоположный случай дает обратный эффект. Время ответной реакции организма на изменение температуры составляет 15...20 мин [20].

Поскольку изменения внешних условий в окружающей среде во время и после воздействия НЧЭП в нашем случае не происходит, периферические температурные рецепторы (кожи) не должны быть задействованы в наблюдаемом нами эффекте. Проведенные расчеты показывают, что нагрев от воздействия НЧЭП, если и происходит, то незначительный. Тогда можно предположить, что при воздействии НЧЭП происходит активация внутренних температурных рецепторов, результатом которой будет передача в терморегуляторный центр информации, запускающей процесс теплоотдачи (охлаждения тела). Такой эффект может быть подобен реакции холодных рецепторов слизистой оболочки на ментол. (Схожим образом, но с обратным эффектом на термореперторы действует вещество «капсаицин», содержащееся в разных видах стручкового перца.)

Ядра мозга, отвечающие за сон, расположены в непосредственной близости от задних отделов гипоталамуса, поэтому вполне возможно, что

торможение в задней части гипоталамуса, приводящее к потере теплоты организмом, возникает одновременно с процессами, вызывающими сонливость во время терапии НЧЭП, отмеченную в работе [13].

Наблюдаемое после спада увеличение температуры поверхности тела может быть объяснено активацией центра теплопродукции из-за понижения температуры в гипоталамусе, вызванного предшествующим процессом потери теплоты организмом.

Ручной массаж. В работе [15] приведен пример временной зависимости глубинной температуры бицепса человека под действием мышечной работы. Указано, что подъем температуры связан с увеличением кровотока и метаболизма в мышце и продолжается после окончания работы, длится некоторое время и лишь затем начинается медленный спад (рис. 6). При наложении на руку жгута, останавливающего кровообращение, температура бицепса при его работе также растет, однако медленнее, что показывает следующее: главное повышение температуры связано не с совершением работы, а с теплопродукцией, обусловленной энергетическим обеспечением синтеза АТФ в работающей мышце и после окончания работы. Равным образом ответственно за рост температуры и увеличение кровотока.

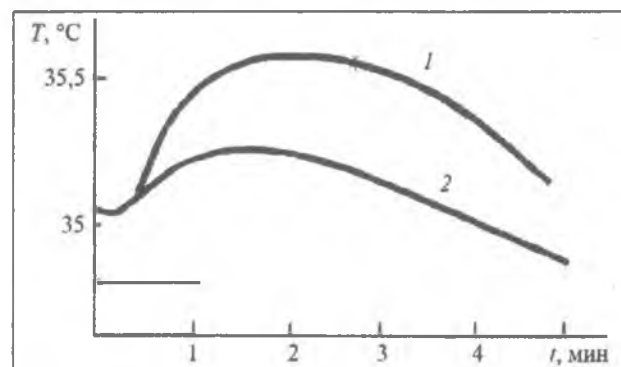


Рис. 6. Зависимость глубинной температуры T бицепса человека после начала совершения работы по периодическому подъему груза массой в несколько килограммов с частотой около 1 раза в секунду (кривая 1); время, в течение которого производилась работа, показано чертой; кривая 2 — то же, но при наложении жгута и остановленном кровотоке [15]

Сравнивая рис. 4 и рис. 6, заметим идентичность температурных кривых, говорящую, возможно, об одном и том же механизме повышения температуры мышц. Поскольку наб-

людаемые нами временные зависимости температуры спины при ручном массаже и при несимметричной силовой нагрузке подобны, механизм нагрева мышц при ручном массаже может быть подобен механизму их нагрева при силовой нагрузке и может быть связан как с увеличением кровотока, так и с теплопродукцией, обусловленной энергетическим обеспечением синтеза АТФ в мышцах, получающих физическую нагрузку тем или иным способом.

Заключение

Метод термографии позволил достаточно точно оценить эффективность проводимой терапии на любом этапе ее выполнения, обеспечил современное и достоверное представление о влиянии

изучаемых физических факторов на состояние локальной гемодинамики и микроциркуляции. Его неинвазивность, безопасность и информативность могут шире применяться в лечебной практике, особенно у пациентов детского возраста.

Сравнительный анализ термографических данных показал, что механизмы нагрева поверхности тела человека после проведения двух физиопроцедур существенно отличаются.

На основании анализа полученных термограмм можно предположить, что терапия низкочастотным электрическим полем по улучшению микроциркуляции и гемодинамики в тканях эффективна и превосходит классический массаж.

Литература

1. Скиндер Л.А., Герасевич А.Н., Полякова Т.Д., Панкова М.Д. Физическая реабилитация детей с нарушением осанки и сколиозом: Учебно-методическое пособие Брест: БрГУ. 2012. 210 с.
2. Применение системы «ХИВАМАТ-200» в клинической практике: Пособие для врачей. М. 2002.
3. Куликов А.Г., Кузовлева Е.В. Применение низкочастотного электростатического поля в клинической практике // Физиотерапия, бальнеология и реабилитация. 2013. № 4. С. 44–53.
4. Сайт группы компаний Мадин <http://www.madin.ru/fizioterapija/elgos/>. Дата обращения 7.05.2015.
5. Сайт Всемирной Организации Здравоохранения <http://www.who.int/peh-emf/about/WhatisEMF/ru/index1.html> дата обращения 23.04.2015 г.
6. Воздействие полей крайне низкой частоты // Информационный бюллетень ВОЗ № 322 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs322/ru/> дата обращения 23.04.2015 г.
7. Гигиена труда: Учебник / под ред. Н.Ф. Измерова, В.Ф. Курилова. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2010. 592 с.
8. McNamee D.A., Corbacio M., Weller J.K., Brown S. et al. The response of the human circulatory system to an acute 200 μ T, 60 Hz magnetic field exposure/ Stodilka R.Z., Prato F.S., Bureau Y., Thomas A.W., Legros A.G. // Int. Arch. Occup. Environ Health. 2011. V. 84(3). P. 267–277. doi: 10.1007/s00420-010-0543-1.
9. Shupak N.M., Hensel J.M., Cross-Mellor S.K., Kavaliers M. et al. Analgesic and behavioral effects of a 100 microT specific pulsed extremely low frequency magnetic field on control and morphine treated CF-1 mice // Neurosci Lett. 2004. V. 354 (1). P. 30–33.
10. Shupak N.M., McKay J.C., Nielson W.R., Rollman G.B. et al. Exposure to a specific pulsed low-frequency magnetic field: a double-blind placebo-controlled study of effects on pain ratings in rheumatoid arthritis and fibromyalgia patients // Pain Res Manag. 2006. V. 11(2). P.85-90
11. Thomas A.W., Graham K., Prato F.S., McKay J.C. A randomized, double-blind, placebo-controlled clinical trial using a low-frequency magnetic field in the treatment of musculoskeletal chronic pain/ // Pain Res Manag. 2007. V. 12(4). P. 249–258.
12. Сайт компании Aires Technologies http://airestech.ru/media/em-smog#a_menu дата обращения 4.05.2015 г.
13. Денисенко Ю.П., Высочин Ю.В. Влияние электромагнитных полей на функциональное состояние центральной нервной системы спортсменов // Теория и практика физической культуры. 2005. № 12. С. 31–32.
14. Патент №2304988 (РФ). Способ нормализации архитектуры сна больных депрессиями, тревожными расстройствами, обсессивно-компульсивными расстройствами и тяжелыми инсомниями посредством импульсной магнитной и электростимуляции во время медленноволновых фаз ночного сна человека / Л.В. Дунаевский, П.А. Индурский.
15. Антонов В.Ф., Козлова Е.К., Черныш А.М. Физика и биофизика: Учеб. для студ. мед. вузов / Под ред. В.Ф. Антонова. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2010. 480 с.
16. Ремизов А.Н., Максина А.Г., Потапенко А.Я. Медицинская и биологическая физика: Учеб. для вузов. М.: Дрофа. 2003. 560 с.
17. Краткая Медицинская Энциклопедия. М.: Советская Энциклопедия. 1989.
18. Шукин С. И. Основы взаимодействия физических полей с биообъектами: Учеб. пособие. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2002. 66 с.
19. Орлов Р.С., Ноздрачев А.Д. Нормальная физиология: Учебник. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2010. 832 с.
20. Тейлор Д., Грин Н., Стаут У. Биология: В 3-х т. Т. 2: Пер. с англ. / под ред. Р. Сонера. Изд. 3-е. М.: Мир. 2004. 436 с.

Поступила 18 июля 2015 г.



Thermographic comparison of a patient body response to the impact of low-frequency electric field and hand massage for a scoliosis treatment

© Authors, 2015
© Radiotekhnika, 2015

L.V. Zhorina

Ph.D. (Phys.-Math.), Assistant Professor,

Department «Biomedical Techniques Systems», Bauman Moscow State Technical University.

E-mail: larisa7777@li.ru

T.N. Zaytseva

Junior Research Scientist,

Russian Medical Academy of Post-Graduate Education, Moscow

E-mail: zaytn@mail.ru

M.I. Kozhevnikova

Ph.D. (Biol.), Leading Research, Institute of General Pathology and Pathophysiology (Moscow)

E-mail: kozmi39@rambler.ru

K.G. Maximova

Bachelor, Department «Biomedical Techniques Systems», Bauman Moscow State Technical University

E-mail: moi_milo@mail.ru

There are various methods of scoliosis treatment. The traditional manual massage and low-frequency electric field (LFEF) therapy are among them. In this study the impact of manual massage and LFEF therapy are compared according to thermography by the fixed temperature method. Children 12...14 years with a diagnosis of scoliosis 1–2 degrees without obvious signs of inflammation and normal body temperature were surveyed.

LFEF exposure was performed by apparatus «ELGOS» (Russia) successively at frequencies of 180 ... 200 Hz, 80 Hz and 20 ... 30 Hz for 15 minutes. Hand massage was performed for 10 minutes. Visualization of thermal field was carried out with the help of thermograph «IRTIS – 2000ME» (Russia).

A gradual heating of the overall body was observed after the manual massage procedure of the entire back and only on half one. It was found hemodynamics and microcirculation amending on both sides of the back that can be attributed to the peculiarities of blood supply to the muscles of the back, the large number of collaterals. The time dependences of the back temperature upon the manual massage and asymmetrical power load were similar so we concluded that the heating mechanisms were identical and associated with both increased blood flow and the heat production due to energy supply ATP synthesis in muscles receiving physical load one way or another.

After LFEF exposure a decrease in body temperature between 0 and 20 minutes was observed followed by its heating with a maximum of 60 ... 80 minutes after the procedure. Time dependences of temperature fields of the back upon symmetric and asymmetric with respect to the spine the impact of LFEF are similar. The observed dependences differ significantly from the time dependences of the temperature fields upon the manual back massage, that may indicate different mechanisms of temperature changes. Since changes in the environment conditions during and after LFEF exposure did not occur in this case, the peripheral temperature skin receptors must not be involved in the effect observed by us. The low frequency electromagnetic waves length surpasses the dimension of the human body, so that the entire body is exposed to such waves. We assume that upon LFEF exposure internal temperature receptors is activated, which will result in the transfer of information to the hypothalamus thermoregulatory center, that will start the process of body cooling. This effect may be similar to the reaction of mucosal cold receptors on menthol. The observed temperature increase of the body surface since the recession can be explained by the activation of the heat production center due to the temperature decrease in the hypothalamus, caused by a previous process of losing heat of the body.

REFERENCES

1. Skinder L.A., Gerasevich A.N., Polyakova T.D., Pankova M.D. Fizicheskaya reabilitatsiya detej s narusheniem osanki i skoliozom. Uchebno metodicheskoe posobie Brest: BrGU. 2012. 210 s.
2. Primenenie sistemy «XIVAMAT-200» v klinicheskoy praktike: Posobie dlya vrachej. M. 2002
3. Kulikov A.G., Kuzovieva E.V. Primenenie nizkochastotnogo elektrostatischekogo polya v klinicheskoy praktike // Fizioterapiya, bal'neologiya i reabilitatsiya 2013. № 4. S. 44–53.
4. Sajt gruppy' kompanij Madin <http://www.madin.ru/fizioterapija/elgos/> Data obrashheniya 7.05.2015
5. Sajt Vsemirnoj Organizatsii Zdravooxraneniya <http://www.who.int/peh/emf/about/WhatisEMF/ru/index1.html> data obrashheniya 23.04.2015 g.