

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ МИОКАРДА У РАБОТНИКОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕЙ

Лилия Минвагизовна Фатхутдинова¹, Рамиль Равилевич Залялов²,
Владимир Николаевич Ослопов³

¹Кафедра гигиены, медицины труда с курсом медицинской экологии (зав. — акад. РАМН, проф. Н.Х. Амиров), ²кафедра общей гигиены (зав. — проф. А.Б. Галлямов), ³кафедра пропедевтики внутренних болезней (зав. — проф. В.Н. Ослопов) Казанского государственного медицинского университета, e-mail: liliafat@kzn.ru

Реферат

Методом эхокардиографии изучена диастолическая функция миокарда у 113 работников электрической сетевой компании, профессионально различающихся видами эксплуатируемого оборудования и особенностями выполнения трудовых обязанностей. Выявлена зависимость диастолической функции миокарда от профессиональных экспозиций магнитных полей низкой частоты, в частности в старших возрастных группах наблюдалось повышение ригидности стенки левого желудочка.

Ключевые слова: профессиональный риск, магнитные поля низкой частоты, рабочий стресс, диастолическая функция левого желудочка.

В 60-е годы прошлого века отечественными учеными Т.Н. Асановой и А.И. Раковым впервые были описаны нарушения сердечно-сосудистой системы у электрослесарей [1]. С того времени по настоящее время продолжается дискуссия о том, повышается ли риск развития сердечно-сосудистых заболеваний при профессиональных экспозициях на организм человека электрических и магнитных полей низкой частоты (МП НЧ). В частности, проверяется гипотеза, согласно которой МП НЧ могут провоцировать острые сердечные катастрофы вследствие нарушений автономной регуляции сердечного ритма [6]. Одно из первых масштабных эпидемиологических исследований выявило достоверно повышенный риск смерти от инфаркта миокарда и аритмий в группе работников американских электрических компаний, подвергавшихся воздействию высоких уровней МП НЧ, по сравнению с внутренней референтной группой, в качестве которой рассматривались работники тех же компаний, но с экспозициями полей не выше фоновых значений [10]. Однако публикации последних лет опровергают наличие связи между профессиональным

воздействием МП НЧ и смертностью от сердечно-сосудистых заболеваний, а также развитием тяжелых форм аритмий, требующих установки искусственного водителя ритма [4, 8, 9]. Несмотря на большой объем выборки, исследования имели недостатки, присущие ретроспективному дизайну: невозможность точно оценить степень индивидуальной экспозиции, учет лишь ограниченного набора факторов риска, определение причины смерти только на основании записи в соответствующем регистре.

В настоящей статье представлены результаты кросс-секционного (одномоментного) исследования, в котором была предпринята попытка сопоставить результаты персональной дозиметрии МП НЧ с эхокардиографическими показателями, характеризующими функциональное состояние миокарда работников ОАО «Татэнерго».

Дизайн исследования состоял из следующих этапов: отбор работников на базе предприятия «Приволжские электрические сети» ОАО «Татэнерго», сбор информации о факторах риска сердечно-сосудистых заболеваний в ходе анкетирования и медицинского осмотра, исследование функционального состояния сердечно-сосудистой системы (ЭКГ, ЭхоКГ), гигиеническая оценка условий труда. Отбирались мужчины в возрасте от 20 до 64 лет, не страдающие ишемической болезнью сердца, болезнями сосудов и сахарным диабетом, проработавшие на данном предприятии и рабочем месте весь период трудового стажа (1 год и более), имеющие профессиональный контакт с МП НЧ разной интенсивности. Эхокардиографическое исследование проводилось с применением современ-

ных ультразвуковых аппаратов Vivid-7 и Sonos-5500 по расширенной программе с оценкой диастолической функции левого желудочка (ЛЖ) на базе Межрегионального клинико-диагностического центра (г. Казань) после предварительной электрокардиографии. Медицинский осмотр завершался консультацией кардиолога.

Нами исследовано 113 человек: средний возраст — 39 лет (диапазон от 23 до 59 лет), средний стаж работы — 12 лет (диапазон от 1 до 28 лет). Все обследованные являются представителями семи профессиональных групп, различающихся по видам эксплуатируемого оборудования и профессиональным обязанностям, что обеспечило достаточный разброс уровней МП НЧ. В ходе предварительного анкетирования и медицинского осмотра собиралась подробная информация о наиболее важных факторах риска сердечно-сосудистых заболеваний: социально-экономический статус, напряженность трудового процесса [3], уровни рабочего стресса с применением русифицированной версии вопросника JCQ Р. Каразека [7], наличие вредных факторов рабочей среды, физическая активность по международному опроснику IPAQ, пищевой статус (содержание жиров и пищевых волокон, досаливание пищи) [5], курение, употребление алкоголя и кофеинсодержащих напитков, тип поведенческой активности (А или Б), национальность (русский/татарин), индекс массы тела, АД, наличие сердечно-сосудистых заболеваний у родственников.

Дозиметрия магнитных полей выполнялась на базе испытательного лабораторного центра КГМУ (аттестат аккредитации № РОСС RU.0001.515053) с использованием персонального дозиметра FD-3, позволяющего записывать уровни поля в частотном диапазоне от 20 до 2000 Гц в режиме реального времени; динамический диапазон прибора — от 40 нТл до 100 мкТл, погрешность измерения — $\pm 5\%$. В каждой из семи профессиональных групп было отобрано от 3 до 14 работников; дозиметр выдавался работнику на всю рабочую смену с записью уровней магнитных полей с интервалом в 10 секунд в автоматическом режиме. После исключения артефактов в итоговый анализ были включены данные о 49 работниках с об-

щим количеством замеров 163350. В последующем была составлена матрица профессиональных экспозиций (таблица со средними значениями экспозиционных показателей для каждой профессии); при этом для описания экспозиции МП НЧ использовались следующие параметры: среднесменные и максимальные уровни, доля смены (%), в течение которой работник находился в зонах с уровнями МП НЧ более 1,0 мкТл, стабильность магнитного поля во времени.

Для статистического описания связи между показателями, характеризующими функциональное состояние миокарда, и МП НЧ применялась множественная линейная регрессия с экспоненциальным преобразованием (модуль «Общие линейные/нелинейные модели» программы Statistica, версия 6.0). В качестве зависимых переменных брались эхокардиографические показатели или их производные. В роли экспозиционных переменных выступали параметры МП НЧ, перечисленные выше, а также стажевые дозы (произведение параметра МП НЧ и стажа работы). Наличие и сила связи оценивались по величине и степени достоверности регрессионного коэффициента β для экспозиционной переменной. Включение в модель переменных-кофундеров позволяло математически учесть влияние других потенциально важных факторов риска сердечно-сосудистых заболеваний (так называемое приведение, или adjustment). Отбор значимых кофундеров проводился поэтапно: однофакторный анализ, многофакторный анализ внутри группы показателей (индивидуальные, социально-экономические, поведенческие и профессиональные факторы риска), ручное построение окончательной модели с экспозиционной переменной и отобранными кофундерами. В завершение оценивался модифицирующий эффект факторов риска, оставшихся в модели, путем проверки статистической значимости взаимодействий факторов риска с экспозиционной переменной.

Среднесменные значения МП НЧ для разных профессиональных групп были в пределах от 0,15 до 1,16 мкТл, максимальные значения — 3,1–24,4 мкТл, доля смены, в течение которой работник находился в зонах с уровнями МП НЧ более

1,0 мкТл, — от 0,5 до 48,2%, стабильность магнитного поля, оцениваемая по величине коэффициента автокорреляции ряда замеров, — от 0,69 до 0,94 с².

У 44,3% работников во время медицинского осмотра АД превышало 140/90 мм Hg, среднее значение систолического давления составило 133 мм Hg (разброс — от 108 до 193 мм Hg), среднее диастолическое давление — 90 мм Hg (разброс — от 61 до 133 мм Hg). Гипертрофия левого желудочка отсутствовала у большинства обследованных — в 97,4% случаев толщина стенки ЛЖ не превышала 1,1 см.

Описательные статистики эхокардиографических показателей, использующихся для описания диастолической функции ЛЖ, приведены в табл. 1.

Таблица 1

Описательные статистики эхокардиографических показателей

Показатели	М (95% ДИ)
Скорость потока раннего наполнения левого желудочка (Е), см/с	79,24 (48,14-110,34)
Скорость потока предсердного наполнения левого желудочка (А), см/с	57,69 (31,39-83,99)
Е/А	1,44 (0,64-2,24)
Время замедления потока раннего наполнения левого желудочка, мс	223,15 (150,75-295,55)
Толщина стенки левого желудочка, см	0,95 (0,75-1,15)

У многих работников отношение Е/А и время замедления раннего диастолического наполнения выходили за нормативные диапазоны [2]. Показатель Е/А был более 2 у 11,5% работников и менее 1 — у 15%. Время замедления раннего диастолического наполнения было ниже 200 с у 23,9% работников, в том числе у 1 (0,9%) работника ниже 150 с, и превышало 220 с у 46,9%.

В результате многофакторного регрессионного анализа с использованием в качестве зависимых переменных отдельных показателей была получена статистически достоверная модель для показателя Е/А (рис. 1): у работников с большим стажем работы значения отношения Е/А были тем ниже, чем выше среднесменный уровень МП НЧ. Однако анализ отдельных показателей не позволяет полноценно описать диастолу, и для характеристики стадий диастолической дисфункции обычно используют несколько параметров [2]. С учетом данного обстоя-

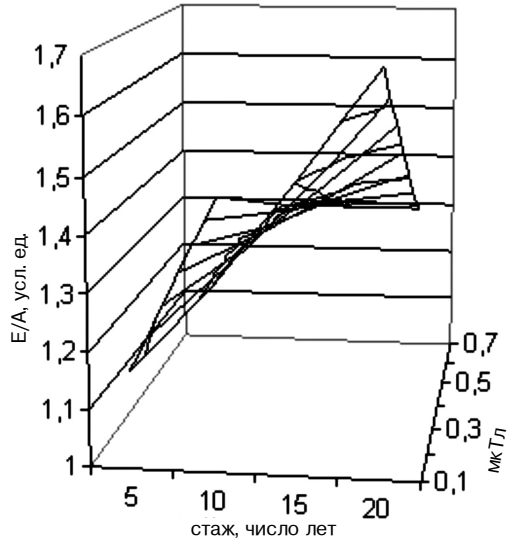


Рис. 1. График регрессионной модели, связывающей уровни показателя Е/А со среднесменными значениями МП НЧ (модифицирующий фактор — стаж).

тельства при помощи факторного анализа были сконструированы два интегральных показателя (рис. 2). Относительно более

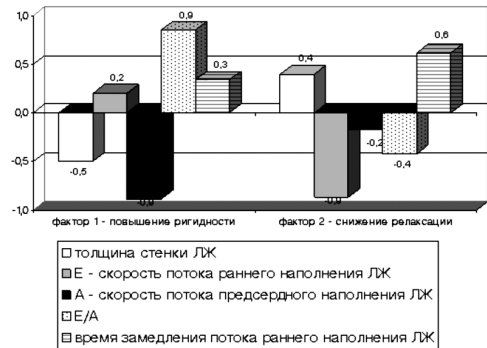


Рис. 2. Вклад (вес) эхокардиографических показателей в величину интегральных факторов, характеризующих диастолическую функцию ЛЖ; метод главных компонентов с вращением, доли объясненной дисперсии — 43% и 26%.

высокие значения фактора 1 свидетельствуют о таком функциональном состоянии миокарда, при котором уменьшается скорость потока предсердного наполнения А, т.е. уменьшается кровоток из левого предсердия в левый желудочек во время предсердной систолы, что происходит обычно при повышении диастолического давления в ЛЖ за счет увеличения его жесткости. Фактор 2 характеризует другой тип изменений диастолической функции ЛЖ, называемый сниженной релаксацией, когда вследствие утолщения и ухудшения расслабления миокарда

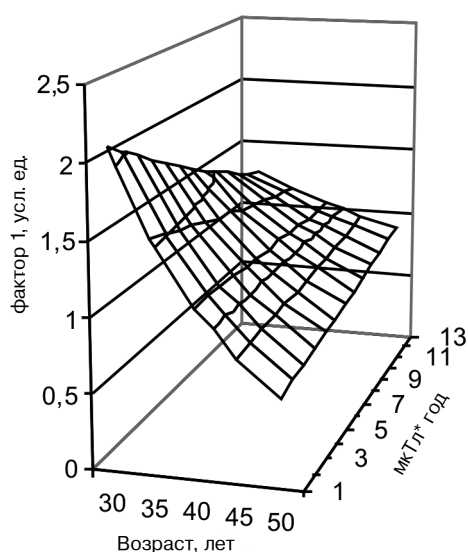


Рис. 3. График регрессионной модели, связывающей уровни фактора 1 (повышение ригидности) с кумулятивными экспозициями МП НЧ (модифицирующий фактор — возраст): фактор 1 = $e(-0,16 \cdot \text{среднесменное значение МП НЧ} \cdot \text{стаж} - 0,07 \cdot \text{возраст} + 0,004 \cdot \text{среднесменное значение МП НЧ} \cdot \text{стаж} \cdot \text{возраст} - 0,03 \cdot \text{систолическое артериальное давление } 133 \text{ мм Нг} + 0,017 \cdot \text{национальность (код 1)})$.

происходит замедление раннего наполнения ЛЖ: значение фактора 2 тем выше, чем больше толщина стенки ЛЖ, меньше скорость потока раннего наполнения Е и больше время замедления потока раннего наполнения.

Степень ригидности стенки левого желудочка была связана с уровнем кумулятивной экспозиции МП НЧ, при этом возраст выступал в качестве модифицирующего фактора, и зависимость «доза-эффект» для фактора 1 (повышение ригидности) отмечалась лишь в старших возрастных группах (рис. 3). Была выявлена зависимость «доза-эффект» для среднесменных уровней МП НЧ и степени релаксации левого желудочка: значения фактора 2 (снижение релаксации) были тем выше, чем больше уровень экспозиции, но только при наличии рабочего стресса в виде низкой автономности работников (рис. 4).

Была выявлена зависимость диастолической функции миокарда от профессиональных экспозиций МП НЧ. В старших возрастных группах наблюдалось повышение ригидности стенки левого желудочка, степень которого зависела от накопленной за весь стаж работы экспозиции

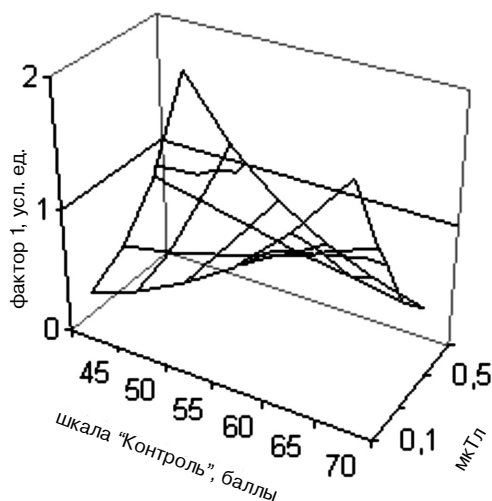


Рис. 4. График регрессионной модели, связывающей уровни фактора 2 (снижение релаксации) со среднесменными значениями МП НЧ (модифицирующий фактор — низкий уровень контроля над рабочей ситуацией): фактор 2 = $e(11,57 \cdot \text{среднесменное значение МП НЧ} + 0,08 \cdot \text{шкала рабочего стресса «Контроль»} - 0,21 \cdot \text{среднесменное значение МП НЧ} \cdot \text{шкала рабочего стресса «Контроль»} - 0,24 \cdot \text{возраст старше 40 лет (код 1)} - 0,18 \cdot \text{доход ниже прожиточного минимума (код 1)} - 0,03 \cdot \text{доля энергии пищи за счет жиров } 40\%)$.

МП НЧ. В случае сочетанного действия относительно высоких среднесменных уровней МП НЧ и рабочего стресса (в виде низкой степени контроля над ситуацией) у работников имелись признаки другого вида диастолической дисфункции — снижения релаксации левого желудочка.

Несмотря на кросс-секционный характер, исследование имеет ряд особенностей, отсутствовавших в обсуждавшихся работах [4, 8, 9, 10], в том числе — персональная дозиметрия МП НЧ, учет большего числа индивидуальных факторов риска, оценка модифицирующего эффекта отдельных факторов.

Признавая вполне возможным тот факт, что причинно-следственная связь между профессиональными экспозициями МП НЧ и инфарктом миокарда может отсутствовать, мы должны обратить внимание на необходимость организации проспективных эпидемиологических исследований по изучению других исходов: развития хронической ИБС, сердечной недостаточности, включая оценку течения уже имеющихся сердечно-сосудистых заболеваний у работников, подвергающихся профессиональному воздействию МП НЧ. При этом необходимо учитывать роль от-

дельных факторов риска (возраст, рабочий стресс), повышающих чувствительность работников к воздействию МП НЧ, а также изучить возможные патогенетические механизмы, лежащие в основе различных типов изменений при наличии отдельных факторов риска.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ (контракт № 02.442.11.7008).

ЛИТЕРАТУРА

1. Асанова Т.П., Раков А.Н. Состояние здоровья работающих в ЭП открытых распределительных устройств ОРУ 400-500 кВ // Гиг. труда и проф. забол. — 1966. — № 5. — С. 50—52.
2. Беленков Ю.Н., С.К. Терновой. Функциональная диагностика сердечно-сосудистых заболеваний. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. — 976 с.
3. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: Р 2.2.2006-05. — М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2005. — 129 с.
4. Cooper A.R., Van Wijngaarden E., Fisher S.G. et al. A population-based cohort study of occupational exposure to magnetic fields cardiovascular disease mortality // *Annals of epidemiology*. — 2009. — Vol. 19, 1. — P. 42—48.
5. Diet history questionnaire [Electronic resource]. — Electronic data. — Mode of access: <http://riskfactor.cancer.gov/DHQ>.
6. Graham C., Cook M.R., Sastre A. et al. Cardiac autonomic control mechanisms in power-frequency magnetic fields: a multistudy analysis // *Environmental health perspectives*. — 2000. — Vol. 108, 8. — P. 737—742.
7. Karasek R., Brisson C., Kawakami N. et al. The Job

Content Questionnaire (JCQ): an instrument for internationally comparative assessments of psychosocial job characteristics // *J. occup. health psychol.* — 1998. — Vol. 3. — P. 322—355.

8. Kheifets L., Ahlbom A., Johansen C. et al. Extremely low-frequency magnetic fields and heart disease // *Scand. J work enviro and health*. — 2007. — Vol. 33, 1. — P. 5—12.

9. Roosli M., Egger M., Pfluger D., Minder C. Cardiovascular mortality and exposure to extremely low frequency magnetic fields: a cohort study of Swiss railway workers // *Envir. health*. — 2008. — Vol. 7. — P. 35—41.

10. Savitz D.A., Liao D., Sastre A. et al. Magnetic field exposure and cardiovascular disease mortality among electric utility workers // *Am. J. epidemiol.* — 1999. — Vol. 149, 2. — P. 135—142.

Поступила 26.05.09.

THE EFFECT OF LOW FREQUENCY MAGNETIC FIELDS ON THE FUNCTIONAL STATE OF THE MYOCARDIUM OF THE POWER SUPPLY WORKERS

L.M. Fathutdinova, R.R. Zalyalov, V.N. Oslopov

Summary

Using echocardiography the diastolic function of the myocardium was studied in 113 employees of electric power companies, professionally differing according to types of operated equipment and features of the implementation of work responsibilities. Established was the dependence of the diastolic myocardial function on professional exhibits to low-frequency magnetic fields, particularly in older age groups observed was elevation of left ventricular wall stiffness. In the case of combined action of relatively high average daily levels of low frequency magnetic fields, and work stress (in the form of a low degree of control over the situation) the workers had symptoms of another type of left ventricular diastolic dysfunction — the reduction of the process of relaxation.

Key words: professional risk, low-frequency magnetic fields, work stress, diastolic function of the left ventricle.

УДК 621.313:616.127—005.8

РИСК РАЗВИТИЯ ИНФАРКТА МИОКАРДА НА УЧАСТКАХ ТЕРРИТОРИЙ С РАЗЛИЧНЫМИ УРОВНЯМИ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Маргарита Валентиновна Гудина¹, Людмила Петровна Волкотруб¹,
Александр Семёнович Бородин²

¹ Кафедра гигиены (зав. — проф. Л.П. Волкотруб) Сибирского государственного медицинского университета, ² кафедра космической физики и экологии (зав. — проф. А.Г. Колесник) Томского государственного университета, e-mail: myg38@sibmail.com

Реферат

Исследовалась заболеваемость населения острым инфарктом миокарда на территориях с разным уровнем магнитной индукции поля промышленной частоты, измерение которого производилось с использованием автоматизированного комплекса, включающего ноутбук, GPS-приемник и тестеры магнитной индукции, ориентированные соответственно трем компонентам вектора магнитного поля. Полученные эпидемиологические данные демонстрируют роль электромагнитных полей промышленной частоты

как фактора риска развития социально значимых заболеваний населения.

Ключевые слова: электромагнитное поле, электромагнитное загрязнение, магнитное поле, промышленная частота, заболеваемость.

Источником электромагнитных полей промышленной частоты (ЭМП ПЧ) на городских территориях является сеть линий электропередачи (ЛЭП), пронизывающая селитебные районы. Провода работающей ЛЭП создают в прилегающем