

## МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАГНИТОТЕРАПЕВТИЧЕСКИХ ПРОЦЕДУР

М. Делавар-Касмаи, И.А. Запорожко, В.И. Зубчук\*, В.В. Шлыков\*\*, И.В. Бондаренко

*Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»*

Для оценки эффективности воздействия магнитного поля на пациента предлагается методика оценки эффектов последействия при воздействии магнитным полем, основанная на вычислении индекса формы и нормированного амплитудно-фазового коэффициента, которые вычисляются на основе гармонического состава сигнала пульсовой волны. Адекватность предложенных критериев оценки эффективности подтверждена измерениями по методу Накатани.

**Ключевые слова:** *пульсовая волна, магнитотерапия, экспресс-диагностика.*

Терапевтическое воздействие магнитного поля (МП) на организм человека широко используется в медицинской практике при физиотерапевтическом лечении и комплексном лечении в послеоперационный период реабилитации пациентов [1]. Это обусловлено эффективностью лечения заболеваний различной этиологии, практическим отсутствием противопоказаний, отсутствием явления привыкания организма и связанного с этим явлением снижения эффективности лечения. Такое лечение не вызывает аллергических реакций. Как правило, эффекты последействия при терапии МП наблюдаются после проведения нескольких сеансов и не проявляются в течение одной процедуры, поэтому контролируются после каждой процедуры терапии.

Методы, основанные на регистрации и распознавании пульсовых волн (ПВ) с помощью технологий нейронных сетей, представляют собой длительный процесс обучения и настройки нейронной сети под каждого пациента. Их применение для оперативного контроля физиологического состояния сопряжено с накоплением диагностических данных за период времени, который значительно превышает длительность каждой процедуры воздействия и нескольких сеансов терапии МП. Это обуславливает необходимость разработки методов оперативного контроля и количественной оценки процесса терапии МП в динамике. Целью разработки методов является максимизация терапевтического эффекта, определение необходимого (или достаточного) количества сеансов, оптимизация параметров МП, действующего на пациента.

**Постановка эксперимента.** В качестве объективного показателя для оценки функционального состояния пациента используются временные диаграммы ПВ, которые регистрируются с помощью оптического датчика в мелких сосудах кровеносной системы. Предполагается, что кровеносная система достаточно адекватно реагирует на любые внешние воздействия. Сигналы ПВ регистрируются в течение интервала времени, который достаточен для того, чтобы исключить влияние дыхательных движений диафрагмы и других факторов на форму пульсовых волн.

Для регистрации временной диаграммы ПВ использовался пульсоксиметр «ЮТАСОК-СИ-200U», оснащенный системой цифрового ввода данных в компьютер, на который установлено специализированное программное обеспечение сбора и обработки данных [2]. Параллельно проводилась оценка эффектов последействия с помощью диагностической системы (ДС) «ТКМ 1302» производства ООО НПП «ТехноКом», которая пред-

назначена для проведения электропунктурной диагностики состояния организма человека. Для воздействия МП на пациента применялся аппарат магнитотерапии (АМТ) “МС-92М”, который генерирует в индукторах переменное импульсное МП с параметрами: биполярный импульс типа «пульсовая волна», диапазон изменения частоты в пределах от 1 до 100 Гц, величина индукции МП 25 мТл, время воздействия 25 мин.

**Методы исследования.** Предварительные исследования проводились на добровольцах разного пола и возраста. Всего в исследованиях принимали участие четыре пациента — одна женщина и трое мужчин в возрасте от 25 до 69 лет. Рецептура воздействия МП не учитывала индивидуальных особенностей состояния пациентов и носила общеукрепляющий характер.

С помощью программной обработки измеренного ансамбля ПВ вычисляется типичная форма и коэффициенты  $a_k, b_k$  разложения сигнала в ряд Фурье, которые соответствуют этой форме. Значения коэффициентов ряда Фурье представляют исходные данные для расчета индекса формы (ИФ) и нормированного амплитудно-фазового коэффициента (НАФК). Программа ДС “ТКМ 1302se” реализует обобщенную методику интегральной акупунктурной диагностики (ИАД). В основу метрической системы ИАД и характеристик измерения положены параметры электропунктурной диагностики по методу Накатани.

Для количественного сравнения степени отличия пульсовых волн рассчитывается индекс формы пульсовой волны  $F_m$ :

$$F_m = \sqrt{a_1^2 + b_1^2} / \sqrt{\left(\sum_{i=2}^N a_i\right)^2 + \left(\sum_{i=2}^N b_i\right)^2}.$$

При расчете НАФК  $K_n$  для каждой из  $N$  процедур лечебного воздействия МП используются значения амплитуд  $A(f)$  и фаз  $\varphi(f)$  на частоте  $f(i)$  каждой  $i$ -ой гармоники сигнала ПВ. Особенностью расчета НАФК является вычисление нормированной функции распределения фаз  $\varphi(f)$  сигнала ПВ в виде соотношения:

$$\Omega(i) = \sin(2\pi \cdot f_0 \cdot \delta(t) + \varphi(i)) / (2\pi \cdot f_0 \cdot t + \varphi(i)),$$

где  $f_0$  — частота основной гармоники разложения сигнала ПВ в ряд Фурье,  $\delta(t)$  — строб-импульс времени,  $\varphi(i)$  — значение фазы  $i$ -ой гармоники ПВ.

Нормированное распределение амплитуд  $A(f)$  вычисляется в виде:

$$K_n = (K_n^{+2} + K_n^{-2}) / (1 + K_n^+ \cdot K_n^-), n = 1, \dots, N,$$

$$K_n^+ = \frac{1}{A_0} \sum_i A(i), \Omega(i) > 0; K_n^- = \frac{1}{A_0} \sum_i A(i), \Omega(i) < 0,$$

где  $A_0$  — амплитуда основной гармоники разложения ПВ в ряд Фурье.

Индекс формы  $F_m$  и амплитудно-фазовый коэффициент  $K_n$  характеризуют форму пульсовой волны и изменения формы волны в ходе лечебного процесса.

На протяжении курса магнитотерапии проводилась ИАД по методу Накатани и выполнялись дополнительные измерения системы точек первоэлементов меридиана TR. Анализ состояния системы меридианов выполнялся по стандартной для диагностики по методу Накатани методике. При оценке степени корреляции между ИФ  $F_m$ , НАФК  $K_n$  и проводимостью меридианов фиксировались состояния меридианов MC, C, TR1, TR2, TR3, TR4, TR6 до начала воздействия и после проведения курса терапии МП.

**Результаты эксперимента.** Измерения ПВ проводились перед началом следующего курса магнитотерапии в один и тот же период времени. Добровольцы разного возраста и пола без явно выраженных патологий принимали сеансы магнитостимуляции переменным МП с амплитудным значением индукции МП 30 мТл, качающейся частотой в диапазоне 1...100 Гц и трапецидальной формой магнитных импульсов. Помимо регистрации пульсовых волн проводилась экспресс-диагностика методом Накатани по стандартной методике [3]. На рис. 1–4 представлены диаграммы сигналов ПВ с усредненными значениями амплитуд до проведения магнитотерапии МП (1) и после проведения курса магнитотерапии МП в течение 3 недель (2).

Расчитанные значения индекса формы  $F_m$  и нормированного амплитудно-фазового коэффициента  $K_n$  приведены в табл. 1 и 2 соответственно.

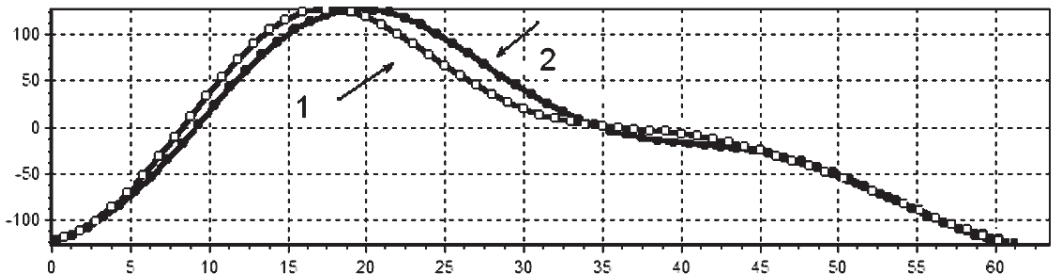


Рис. 1. Пациент – 25 лет

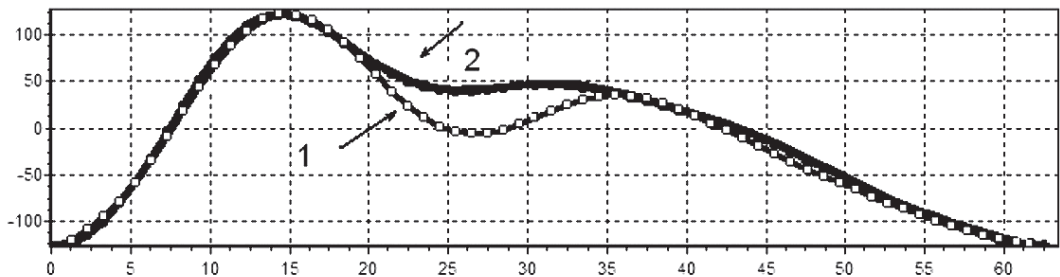


Рис. 2. Пациент – 37 лет

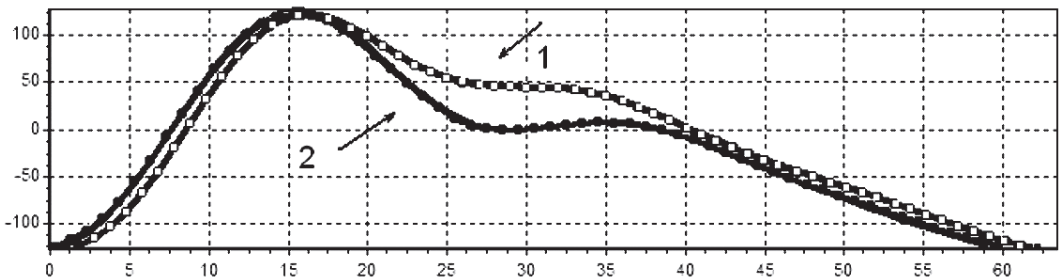


Рис. 3. Пациент - 45 лет

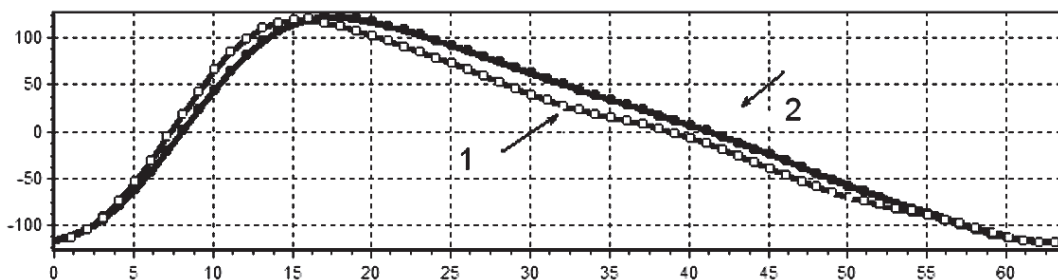


Рис. 4. Пациент – 69 лет

Таблица 1

**Индекс формы**

№	Пациенты			
	25 лет	37 лет	45 лет	69 лет
<b>1</b>	<b>2,327748</b>	<b>1,640099</b>	<b>1,688811</b>	<b>2,388988</b>
2	2,200212	2,098702	1,910715	1,918389
3	1,834546	1,858125	1,873984	1,797197
4	1,91793	1,914283	1,500408	2,030505
5	1,932912	1,924152	1,915349	1,937454
6	1,904742	2,023558	1,793541	2,360931
7	2,267319	1,380214	1,719008	2,209862
8	2,181853	1,456062	1,624012	2,208225
9	1,715934	1,610624	1,899802	1,786023
10	2,016396	1,500104	1,696344	1,980356
11	2,311187	1,466199	1,561784	1,827857
12	2,245578	1,898283	1,753344	2,180907
<b>13</b>	<b>1,903253</b>	<b>1,512047</b>	<b>1,930921</b>	<b>1,956907</b>

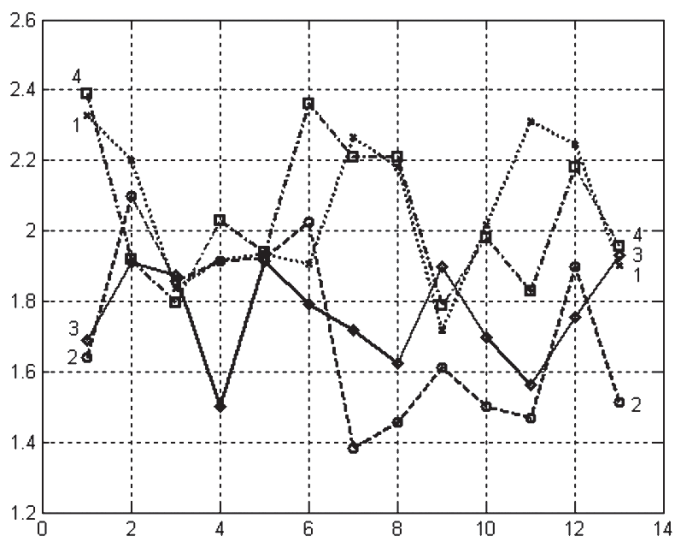
Графическая интерпретация табличных значений для зависимостей индекса формы  $F_m$  и нормированного амплитудно-фазового коэффициента  $K_n$  для 4 пациентов приведена на рис. 5 и 6 (обозначения: (1) – 25 лет, (2) – 37 лет, (3) – 45 лет, (4) – 69 лет) соответственно.

Анализ зависимостей показывает, что во время проведения сеансов терапии МП отмечаются некоторые изменения значений ИФ  $F_m$  и НАФК  $K_n$ . При этом установлено кратковременное возвращение значений коэффициентов в начальное состояние, соответствующее состоянию пациента до воздействия МП. В конце курса терапии МП у всех пациентов отмечается некоторое уменьшение значения НАФК  $K_n$ , что можно интерпретировать как общее улучшение функционального состояния пациентов.

С помощью ИАД по методу Накатани установлены следующие закономерности, которые являются общими для всех пациентов:

## Нормированный амплитудно-фазовый коэффициент

№	Пациенты			
	25 лет	37 лет	45 лет	69 лет
<b>1</b>	<b>0.879000</b>	<b>0.591000</b>	<b>0.821000</b>	<b>0.619000</b>
2	0.869000	0.811000	0.906000	0.793000
3	0.909000	0.585000	0.722000	0.884000
4	0.863000	0.558000	0.914000	0.690000
5	0.883000	0.341000	0.891000	0.740000
6	0.904000	0.636000	0.861000	0.563000
7	0.869000	0.719000	0.810000	0.520000
8	0.875000	0.462000	0.893000	0.623000
9	0.902000	0.768000	0.779000	0.869000
10	0.888000	0.849000	0.803000	0.707000
11	0.887000	0.594000	0.898000	0.889000
12	0.849000	0.353000	0.846000	0.804000
<b>13</b>	<b>0.869000</b>	<b>0.552000</b>	<b>0.654000</b>	<b>0.522000</b>

Рис 5. Индекс формы  $F_m$ 

- установлено улучшение состояния структуры первоэлементов меридиана TR (три полости туловища [4]) у всех пациентов, что указывает на общее улучшение иммунитета (табл. 3 с рисунками);
- установлено улучшение состояния сердечно-сосудистой системы (меридианы МС-перикард и С-сердце [4]), при этом после 5-го сеанса было отмечено одновременное ухуд-

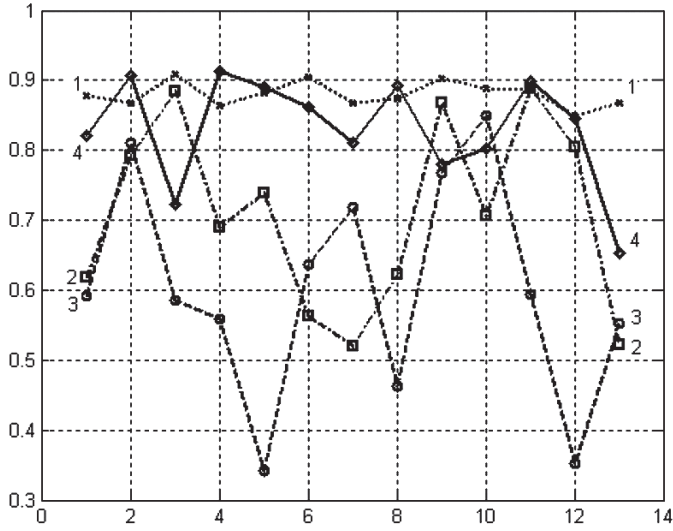


Рис. 6. Нормированный амплитудно-фазовый коэффициент  $K_n$

шение состояния этих систем, которое сменялось улучшением после 12 и 13-го сеансов (табл. 4 с рисунками).

Таблица 3

**Структуры первоэлементов меридиана TR**

Пациент	До начала терапии МП	В конце курса терапии МП
37 лет		

Устойчивое изменение и дальнейшая стабилизация функционального состояния наблюдались у всех пациентов, причем у одного из них (обозначение (4) на рис. 6) отмечается значительное уменьшение значения НАФК — от 0,821 до 0,654, что можно интерпретировать как общее улучшение иммунитета. Эти результаты хорошо согласуются с выводом о том, что использование магнитотерапии при комплексном лечении не имеет противопоказаний и побочных эффектов.

## Структуры первоэлементов меридианов МС и С

Пациенты	25 лет	37 лет	45 лет	69 лет
До начала терапии МП				
В конце курса терапии МП				

Проведенные предварительные исследования на добровольцах разного пола и возраста подтверждают чувствительность индекса формы и амплитудно-фазового коэффициента к воздействию МП. Это показывает перспективность использования ИФ  $F_m$  и НАФК  $K_n$  при разработке различных лечебных методик, в том числе магнитотерапии.

Улучшения функционального состояния пациентов в процессе терапии МП с позиций клинической хирургии обусловлены улучшением кровообращения, микроциркуляций в тканях и усилением местного иммунитета в области применения МП [1].

### Выводы

Приведенные результаты исследований позволяют сделать выводы относительно оценки эффективности воздействия МП:

- установлена чувствительность индекса формы  $F_m$  и нормированного амплитудно-фазового коэффициента  $K_n$  к воздействию на пациента МП, что позволяет их использо-

вать для количественной оценки дозы магнитотерапии, оценивать и управлять динамикой лечения;

- флуктуации значений индексов в некоторых пределах обусловлены изменениями условий регистрации сигналов ПВ и не вносят значительной погрешности в общую для всех пациентов динамику, которая показывает уменьшение величины индекса формы  $F_m$  и нормированного амплитудно-фазового коэффициента  $K_n$  под воздействием МП, что соответствует процессу оздоровления организма;
- экспресс-диагностика по методу Накатани подтверждает тенденцию к нормализации показателей систем организма, которая подтверждается изменением состояния меридианов МС, С, TR1, TR2, TR3, TR4, TR6 до начала воздействия и после проведения сеансов магнитотерапии;
- анализ зависимостей для ИФ  $F_m$  и НАФК  $K_n$  свидетельствует о взаимной корреляции полученных результатов с ИАД по методу Накатани.

### Литература

1. Синекон Ю.С., Пойда А.И., Зубчук В.И., Шлыков В.В. и др. Применение магнитотерапии при лечении сосудистых заболеваний и гнойных ран // Электроника и связь. – 2000. – № 9. – С. 108–109.
2. Delavar-K.M., Zaporozhko I.A., Zubchuk V.I. Recognition Methods of Polymetric Human Information Research // Proceedings of International Scientific-Practical Conference “Virtual Instruments In Biomedicine 2009”. – Klaipeda, 2009. – P. 263–267.
3. Зубчук В.И., Дудко С.Ю., Комар А.Г. Идентификация методом Накатани следовых эффектов воздействия терапевтического магнитного поля на организм человека // «Электроника и связь». – 3004. – Вып. 22. – С. 73–75.
4. Самосюк И.З., Лысенюк В.П., Лиманский Ю.П. и др. // Нетрадиционные методы диагностики и терапии. – К.: Здоров'я, 1994. – 240 с.

## МЕТОДИ І ЗАСОБИ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ МАГНІТОТЕРАПЕВТИЧНИХ ПРОЦЕДУР

М. Делавар-Касмаї, І.О. Запорожко, В.І. Зубчук, В.В. Шликов, І.В. Бондаренко

Для оцінки ефективності впливу магнітного поля на пацієнта запропонована методика оцінки ефектів післядії при терапії магнітним полем, що ґрунтується на обчислюванні індексу форми і нормованого амплітудно-фазового коефіцієнту, які визначаються за гармонічним складу сигналом пульсової хвилі. Адекватність запропонованих критеріїв оцінки ефективності підтверджена вимірюваннями за методом Накатані.

**Ключові слова:** *пульсова хвиля, магнітотерапія, експрес-діагностика.*

## METHODS AND TOOLS FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF MAGNETOTHERAPEUTIC PROCEDURES

M. Delavar-Kasmai, I.A. Zaporozhko, V.I. Zubchuk, V.V. Shlykov, I.V. Bondarenko

For an estimation of efficiency of influence the magnetic field on the patient a method of an estimation of effects of the deferred action under influence by a magnetic field is offered. The method based on calculation of index of the form and normalized of index of the amplitude-phase which is calculated on the basis of harmonious structure of a signal of pulse waves. Adequacy of the suggested criteria of an estimation of efficiency which are measured on method Nakatani is confirmed.

**Key words:** *magnetic field, pulse waves, method Nakatani.*