

УДК 615.849.19

М. Делавар-Касмаи, И.А. Запорожко, В.И. Зубчук, канд. техн. наук,  
А.Г. Комар, канд. техн. наук, В.В. Шлыков, канд. техн. наук

## Анализ эффектов последействия при терапевтическом воздействии магнитным полем

Для оценки эффективности воздействия магнитным полем 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.

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

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

### Введение

Терапевтическое воздействие магнитным полем (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 и, 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 при-

менение 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.

### 1. Постановка эксперимента

В качестве объективного показателя для оценки функционального состояния пациента используется 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 «ЮТАСОКСИ-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 предназначена 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.

## 2. Методы исследования

Предварительные исследования проводились на добровольцах с различным полом и возрастом. Всего в исследованиях принимало участие 4 пациента – 1 женщина и 3 мужчины, возрастом от 25 до 69 лет. Рецептúra воздействия МП не учитывала индивидуальных особенностей состояния пациентов и носила общеукрепляющий характер.

С помощью программной обработки измененного 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 положения 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  $\phi(f)$  на частоте  $f(i)$  каждой  $i$ -ой гармоники сигнала ПВ. Особенностью расчета НАФК является вычисление нормированной функции распределения фаз  $\phi(f)$  сигнала ПВ в виде соотношения:

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

где  $f_0$  – частота основной гармоники разложения сигнала ПВ в ряд Фурье,  $\delta(t)$  – стробимпульс времени,  $\phi(i)$  – значение фазы  $i$ -ой гармоники ПВ.

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

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

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

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

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 методике стандартной для диагностики по методу Накатани[4]. 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.

## 3. Результаты эксперимента

Измерения ПВ проводились перед началом проведения следующего курса магнитотерапии в один и тот же период времени. Добровольцы разного возраста и пола без явно выраженных патологий принимали сеансы магнестимуляции 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 рисунках 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).

Рассчитанные значения индекса формы  $F_m$  и нормированного амплитудно-фазового коэффициента  $K_n$  приведены в таблице 1 и 2, соответственно.

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

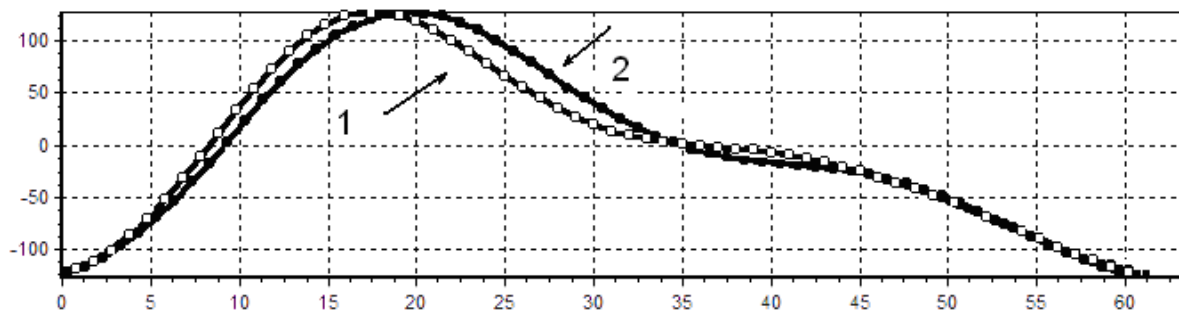


Рис. 1. Пациент – 25 лет

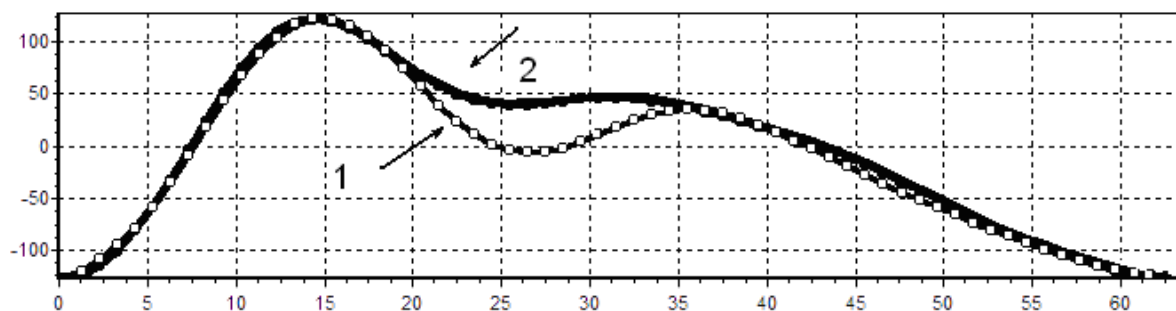


Рис. 2. Пациент – 37 лет

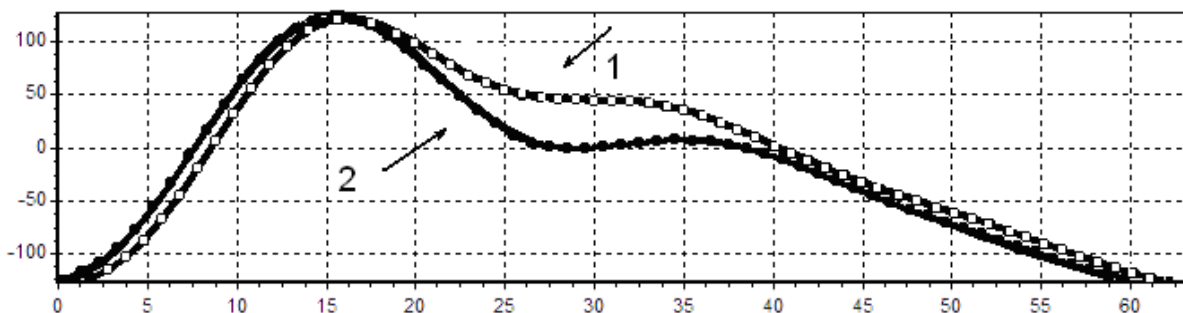


Рис. 3. Пациент - 45 лет

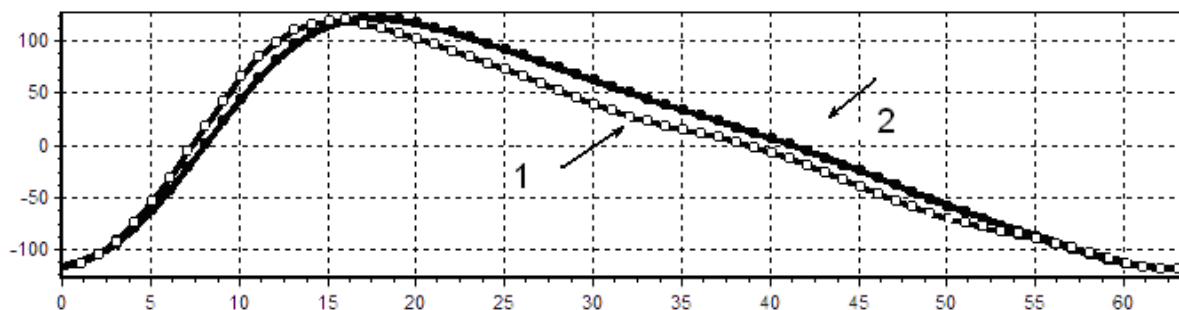


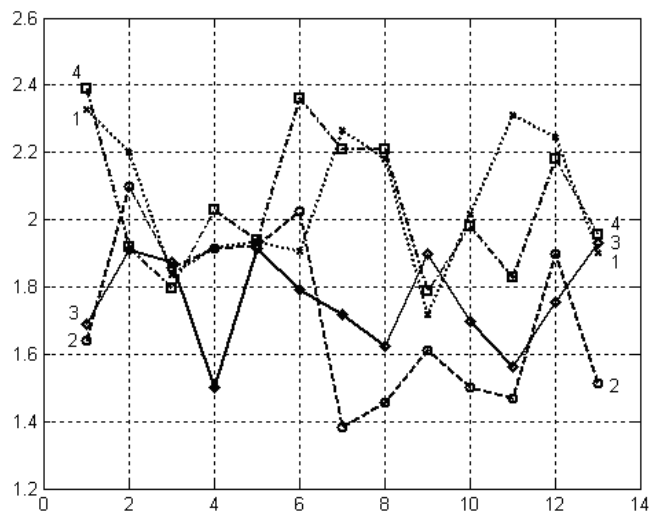
Рис. 4. Пациент – 69 лет

Таблица 1. Индекс формы

№	Пациент			
	25 лет	37 лет	45 лет	69 лет
1	2,327748	1,640099	1,688811	2,388988
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
13	1,903253	1,512047	1,930921	1,956907

Таблица 2. Нормированный амплитудно-фазовый коэффициент

№	Пациент			
	25 лет	37 лет	45 лет	69 лет
1	0.879000	0.591000	0.821000	0.619000
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
13	0.869000	0.552000	0.654000	0.522000

Рис 5. Индекс формы  $F_m$

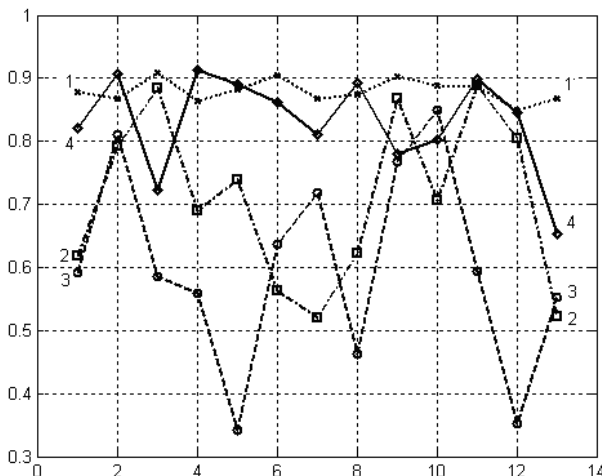


Рис. 6. Нормированный амплитудно-фазовый коэффициент  $K_n$

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 для 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:

- установлено улучшение состояния структуры первоэлементов меридиана TR (три полости туловища [4]) у всех пациентов, что указывает на общее улучшение иммунитета (таблица 3 с рисунками);

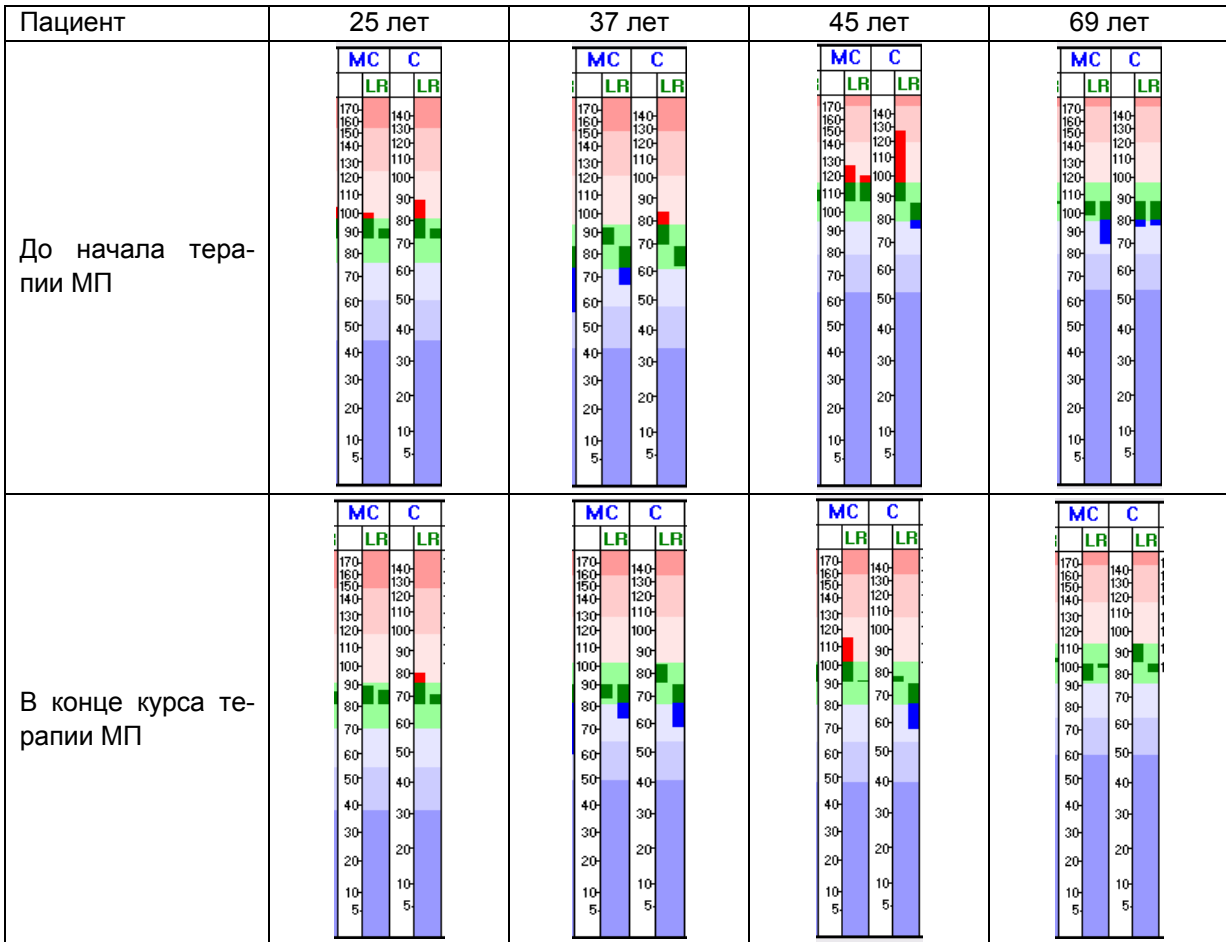
- установлено улучшение состояния сердечно-сосудистой системы (меридианы МС-перикард и С-сердце [4]), при этом после 5-го сеанса было отмечено одновременное ухудшение состояния этих систем, которое сменялось улучшением после 12 и 13-го сеансов (таблица 4 с рисунками).

Устойчивое изменение и дальнейшая стабилизация функционального состояния наблюдались у всех пациентов, причем у одного из пациентов (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, что использование магнитотерапии при комплексном лечении не имеет противопоказаний и побочных эффектов.

Таблица 3. Структуры первоэлементов меридиана TR

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

Таблица 4. Структуры первоэлементов меридианов MC и C



Проведенные предварительные исследования на добровольцах с различным полом и возрастом подтверждают чувствительность индекса формы и амплитудно-фазового коэффициента к воздействию МП. Это показывает перспективность использования ИФ  $F_m$  и НАФК  $K_n$  при разработке самых 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 [5].

### Выводы

Приведенные результаты исследований на ограниченном количестве обследуемых позволяют сделать феноменологические 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 использовать 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 методом Накатани подтверждает тенденцию к нормализации показателей систем организма, которая подтверждается изменением состояния меридианов MC, C, 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 методом Накатани.

**Литература**

1. *Синекоп 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. - 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», вып. 22, Киев, 2004, стр. 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.
5. *Синекоп Ю.С., Пойда О.И., Зубчук В.И., Шликов В.В., Ахтеров О.В.* Застосування комп'ютерного магнітотерапевтичного комплексу при лікуванні захворювань судин кінцівок та гнійних ран // Наукові вісті НТУУ "КПІ", № 5(19), 2001 р., с. 90 - 97.