

## **ВЛИЯНИЕ СОЧЕТАННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ И МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА СКОРОСТЬ ПЕРИФЕРИЙНОГО КРОВОТОКА**

ГОЙДЬ В.И., САРРАФ Ж., БОНДАРИК В.М., ЛАНИНА О.В.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники  
ул. П. Бровки, 6, г. Минск, 220013, Республика Беларусь*

**Аннотация.** В работе описываются результаты исследования влияния сочетанного воздействия ультразвуковых и магнитных полей на скорость периферийного кровотока, приводится теоретическое обоснование полученных результатов. Установлено, что использование сочетанного воздействия ультразвуковых и магнитных полей позволяет ускорить кровотоки на 11%.

**Ключевые слова:** физиотерапия, магнитотерапия, ультразвуковая терапия, микроциркуляция крови.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

### **INFLUENCE OF THE COMBINED IMPACT OF ULTRASONIC AND MAGNETIC FIELDS ON THE VELOCITY OF PERIPHERAL BLOOD FLOW**

*V.I. Goid, J. Sarraf, V.M. Bondarik, O.V. Lanina*

*Belarusian state university of informatics and radioelectronics  
6 P. Brovki Street, Minsk, 220013, Belarus*

**Abstract.** The article describes the research results on the influence of the combined impact of ultrasonic and magnetic fields on the velocity of peripheral blood flow and provides a theoretical basis for the results. It was found that the use of the combined impact of ultrasonic and magnetic fields allows to accelerate blood flow by 11%.

**Keywords:** physiotherapy, magnetic therapy, ultrasonic therapy, microcirculation of blood.

**Conflict of interests.** The authors declare no conflict of interests.

#### **Введение**

Сочетанное воздействие ультразвуковыми (УЗ) и магнитными полями – одно из перспективных направлений физиотерапии. Воздействие на биологические объекты излучениями различной физической природы, как правило, позволяет достигать более эффективного результата в том числе за счет синергетического эффекта. На настоящее время метод сочетанного воздействия УЗ и магнитными полями требует дальнейшего экспериментального изучения [1].

В. И. Савченко использовал сочетанное воздействие УЗ и магнитными полями как патогенетический метод лечения больных с впервые выявленным очаговым, инфильтрованным и диссеминированным туберкулезом легких. При проведении процедур была выбрана интенсивность ультразвука 0,4 - 0,8 Вт/см<sup>2</sup>, и индукцией постоянного магнитного поля 10-30 мТл [2].

Как считает В.С Улащик, заслуживает внимание использование импульсных и переменных магнитных полей вместо постоянных. Предполагается, что такое сочетание физических факторов

может быть эффективным при нарушениях кровообращения и лимфообращения, обмена веществ, при дегенеративно-дистрофических процессах [1].

Целью данной работы стало изучение влияния сочетанного воздействия ультразвуковых и магнитных полей на скорость периферийного кровотока и выработка рекомендаций по проектированию медицинской аппаратуры для сочетанного воздействия на биологические объекты излучениями различной физической природы.

### Теоретическое обоснование эксперимента

Скорость кровотока является важным физиологическим фактором. Ускорение кровотока приводит к улучшению доставки различным органам кислорода и питательных веществ, а также выводу шлаков и токсинов, ускорению метаболизма, уменьшению воспалительного отека и восстановлению поврежденных тканей.

В общем случае ламинарное движение крови без учета растяжимости сосудов описывают уравнения Бернулли и Хагена Пуазейля [3]

$$Q = \int_s \nu(r) dS = 2\pi \int_0^R \nu(r) r dr = \frac{\pi D^4 (p_1 - p_2)}{8\eta L} \quad (1)$$

где  $Q$  – расход жидкости в трубопроводе;  $D$  – диаметр сосуда;  $\nu$  – скорость крови вдоль сосуда;  $r$  – расстояние от оси сосуда;  $R$  – радиус сосуда;  $p_1 - p_2$  – разность давлений на входе и на выходе сосуда;  $\eta$  – вязкость крови;  $L$  – длина сосуда.

В системе кровообращения длина сосудов постоянна, а диаметр сосуда и вязкость крови – переменные параметры. Как видно из формулы (1), диаметр сосуда вносит существенный вклад в изменения сопротивления току крови при различных состояниях организма.

Применение магнитных полей эффективно в лечении воспалительных заболеваний. Магнитотерапия обладает также противоопухолевым, обезболивающим и противоотечным действием [4].

Однако действие магнитных полей на кровотоки неоднозначное. С одной стороны, так как кровь является биологическим электролитом, сосудистое русло можно принять как проводник с током, на который воздействует внешнее магнитное поле. На его стенке возникает поперечная ЭДС (ЭДС Холла), которая определяется по формуле [3]:

$$U_x = (R_x [IB]) / d, \quad (2)$$

где  $R_x$  – диаметр Холла,  $d$  – диаметр сосуда,  $I$  – сила тока в проводнике,  $B$  – индукция внешнего магнитного поля;

При этом в крови возникают подемоторные силы, которые направлены перпендикулярно движению проводящей среды. Это явление называют магнитогидродинамическим эффектом. Суммарно его рассматривают как увеличение вязкости крови в магнитном поле. Исследования показывают, что при величине поля 0,1 и 0,2 Тл скорость движения крови уменьшается [5].

С другой стороны, движение крови не является ламинарным. Сосуды по мере удаления от сердца сужаются и движение крови носит турбулентный характер, соответственно вектор магнитной индукции не совпадает с вектором скорости, что позволяет рассчитать силу Лоренца, действующую на частицу крови в момент возникновения магнитного поля [3]:

$$F_n = qVB \sin a,$$

(3)

где  $q$  – заряд частицы крови,  $V$  – скорость крови,  $B$  – величина магнитной индукции,  $a$  – угол между вектором скорости и вектором магнитной индукции.

Магнитное поле, действуя на заряженные частицы крови, может менять их траекторию движения на траекторию в виде закрученной спирали внутри сосуда и придавая ускорение за счет силы Лоренца.

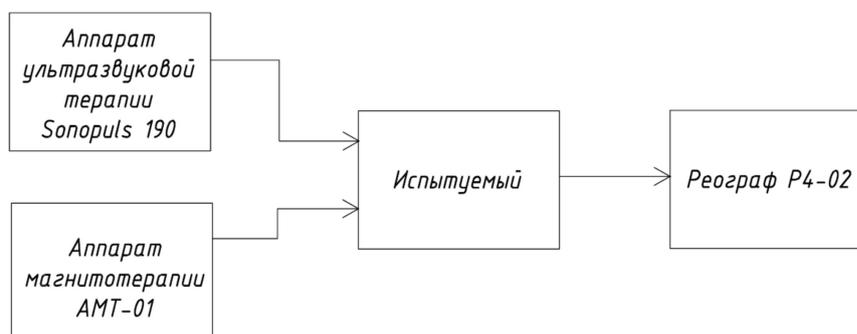
Таким образом, согласно формуле (2), магнитотерапия увеличивает вязкость крови и, как следствие, уменьшает скорость кровотока. С другой стороны, это может компенсироваться силой Лоренца (3), которая способна придать дополнительное ускорение частице крови. Результаты экспериментов по определению влияния воздействия внешнего магнитного поля на движение крови существенно различаются [6]. Из них видно, что характер воздействия внешнего магнитного поля на скорость кровотока изменяется в зависимости от интенсивности, времени воздействия, частоты магнитного поля и величины магнитного поля [3].

Влияние ультразвука на усиление кровотока достигается за счет теплового эффекта. Этот эффект достигается благодаря тому, что при распространении ультразвука в биологических средах происходит его поглощение и преобразование акустической энергии в тепловую. Тепловое действие ультразвука способствует расширению кровеносных сосудов. При этом серьезного нагрева озвучиваемых тканей не наблюдается, как за счет усиления кровообращения из зоны воздействия уносится большинство образовавшегося тепла. Тепловые эффекты ультразвука возникают при средних и высоких интенсивностях (0,5-1,2 Вт/см<sup>2</sup>) [7].

Таким образом расширение сосудов, вызванное тепловым эффектом ультразвуковых полей средней и высокой интенсивности, позволит дополнить физиотерапевтические эффекты магнитотерапии повышением скорости кровотока.

#### Описание исследования

Для исследования использовалась система (рисунок 1), включающая реограф Р4-02, аппарат магнитотерапии АМТ-01 и аппарат для ультразвуковой терапии *Sonopuls 190*.

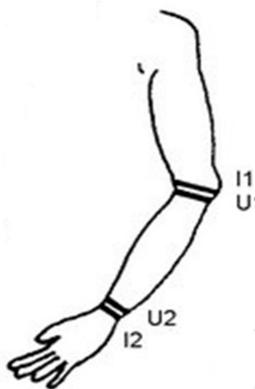


**Рис. 1.** Структурная схема системы, используемой в исследовании

**Fig. 1.** Structural scheme of the system, used in the research

В связи с удобством наложения реографических электродов для исследования было выбрано предплечье. В исследовании приняло участие 12 мужчин и 9 женщин в возрасте от 21 до 23 лет без выраженных патологий. Испытуемые были разделены на три равные группы. На предплечье участников первой контрольной группы воздействовали только магнитным полем, второй – последовательно сначала ультразвуковыми, а затем магнитными полями, третьей – магнитными и ультразвуковыми полями совместно.

Для исследования скорости кровотока был выбран четырехэлектродный способ регистрации межэлектродного сопротивления, так как он более устойчив к движениям и почти полностью исключает влияние переходного сопротивления на точность измерений. Электроды накладываются так, как показано на рисунке 2 [8].



**Рис. 2.** Схема наложения реографических электродов при четырехэлектродном способе измерения

**Fig. 2.** Electrodes application diagram in the four-electrode measurement method

Для проведения магнитотерапии выбрана интенсивность магнитного поля 30 мТл с частой 50 Гц, как используемая в физиотерапевтических процедурах при лечении травм суставов и ран. Время воздействия – 10 минут [9].

Для проведения ультразвуковой терапии выбрана интенсивность 0,7 Вт/см<sup>2</sup>, так как эта интенсивность позволяет достичь теплового эффекта ультразвука и, соответственно, увеличения радиуса сосудов. Частота 1 МГц позволяет ультразвуковым полям проникнуть к глубоким тканям и усилить тепловой эффект. Время воздействия 10 минут.

Воздействие ультразвуковых и магнитных полей на предплечье контактное, согласно схеме, показанной на рисунке на рисунке 3 [7].



**Рис. 3.** Воздействие ультразвуковыми и магнитными полями контактно на кисть

**Fig. 3.** Contact impact to ultrasonic and magnetic fields on the hand

Сочетанное воздействие ультразвуковыми и магнитными полями осуществлялось в течении 10 минут.

Скорость кровотока измерялась до начала и после исследования. Результат исследования (изменение проводимости кровеносных сосудов до и после исследования) вычислялся по формуле 4:

$$\Delta G = \frac{G_{\text{конеч}} - G_{\text{нач}}}{G_{\text{нач}}} * 100\% , \quad (4)$$

где  $G_{\text{нач}}$  – Проводимость кровеносных сосудов до начала исследования,  $G_{\text{конеч}}$  – Проводимость кровеносных сосудов по окончанию исследования

#### Результаты исследования

Результаты исследования представлены в таблице 1.

**Таблица 1.** Изменение межэлектродного сопротивления до и после исследования  
**Table 1.** Change in interelectrode resistance before and after research

Наименование процедуры (Procedure name)	$\Delta G$
Магнитотерапия	101%
Последовательная ультразвуковая терапия и магнитотерапия	106%
Сочетанная ультразвуковая терапия и магнитотерапия	111%

Как следует из таблицы 1, использование сочетанного воздействия ультразвуковых и магнитных полей позволяет увеличить проводимость на 11% и, как следствие, достичь наибольшей скорости периферийного кровотока. Однако следует отметить существенное неудобство одновременного использования аппаратов ультразвуковой и магнитотерапии. Также при использовании двух аппаратов не представляется возможным обеспечить локальное сосредоточенное воздействие ультразвуковыми и магнитными полями на одну область. Имеется возможность насаживать кольцевой ферритовый магнит на ультразвуковой излучатель, однако это исключает возможность использования импульсных магнитных полей, а также регулировки параметров воздействия. В связи с этим авторам представляется перспективным разработка аппаратов с наличием ультразвукового излучателя и магнитного индуктора, возможностью одновременного воздействия ультразвуковыми и магнитными полями, а также регулировки параметров воздействия.

#### Заключение

В ходе исследования было установлено, что использование сочетанного воздействия ультразвуковыми и магнитными полями позволяет ускорить кровоток на 11%. Отмечена перспективность разработки аппаратов с возможностью одновременного воздействия ультразвуковыми и магнитными полями. Это позволит усилить физиотерапевтический эффект от процедуры благодаря локальному сосредоточенному воздействию двух физических факторов, а также сделает процедуру более удобной.

#### Список литературы

1. Улащик В.С., Плетнев А.С., Войченко Н.В., Плетнев С.В., редактор: Улащик В.С. *Магнитотерапия: Теоретические основы и практическое применение*. Минск: Беларуская навука; 2015
2. Савченко В.И. *Использование магнито-ультразвуковой терапии в комплексном лечении больных с впервые выявленным туберкулезом легких*. Киев: Институт фтизиатрии и пульмонологии имени Яновского; 2005
3. Цибульский В.Р., Шайдуров О.С. Обзор моделей взаимодействия электромагнитных полей с кровотоком в кровеносных сосудах человека. *Вестник кибернетики*. 2011 (№10)
4. Куликов А.Г., Ярустовская М.Ю., Герасименко Е.В., Кузовлева Т.Н., Зайцева Д.Д., Воронина М.Г., Лутошкина И.С., Евстигнеева И.С. *Применение обшей магнитотерапии в клинической практике: учебное пособие*. Москва: ФГБОУ ДПО РМАНПО; 2017
5. Олейник В.П. *Основы взаимодействия физических полей с биологическими объектами: учебное пособие*. Харьков: Нац. Аэрокосм. Ун-т «Харьк. Авиаци. Ин-т»; 2006
6. Трибрат Н.С., Чуян Е.Н., Раваева М.Ю. Влияние электромагнитных излучений различного диапазона на процессы микроциркуляции. *Регионарное кровообращение и микроциркуляция*. 2010 (№3)
7. Артемова Н.М., Малыгин А.Г., Соколов А.В. *Ультразвуковая терапия как корректирующая технология восстановительной медицины. Учебное пособие для ординаторов и интернов по дисциплине физиотерапия*. Рязань: Рязанский государственный медицинский университет имени академика Павлова; 2011
8. Ронкин М.А., Иванов Л.Б. *Реография в клинической практике*. – Москва: МБН; 1997
9. Улащик В.С., Козловская Л.Е., Рыбин И.А. *Методики магнитотерапии к аппарату магнитотерапии «АМТ-01»*. Минск: НПООО «КЛЭР»; 2000

#### References

1. Ulashchik V.S., Pletenev A.S., Voichenko N.V., Pletnev S.V., editor: Ulashchik V.S. [*Magnetotherapy: Theoretical basis and practical application*]. Minsk: Belaruskaya navuka; 2015. (In Russ.)

2. Savchenko V.I. [*The use of magnetic-ultrasound therapy in the complex treatment of patients with newly diagnosed pulmonary tuberculosis*]. Kiev: Institut fiziatritii i pul'monologii imeni Yanovskogo; 2005. (In Russ.)
3. Tsibulsky V.R., Shaidurov O.S. [Review of interaction models between electromagnetic fields and blood flow in human blood vessels]. *Vestnik kibernetiki*. 2011(№10). (In Russ.)
4. Kulikov A.G., Yarustovskaya M.Y., Gerasimenko E.V., Kuzovleva T.N., Zaitseva D.D., Voronina M.G., Lutoshkina I.S., Evstigneeva I.S. [*The use of general magnetotherapy in clinical practice: a tutorial*]. Moscow: FGBOU DPO RMANPO; 2017. (In Russ.)
5. Oleinik V.P. [*Basics of the interaction of physical fields with biological objects: a tutorial*]. Kharkov: Nac. Aero-kosm. Un-t «Hark. Aviac. In-t»; 2006. (In Russ.)
6. Tribat N.S., Chuyan E.N., Ravaeva M.U. [Influence of electromagnetic radiation of various ranges on the processes of microcirculation]. *Regionarnoe krovoobrashchenie i mikrocirkulyaciya*. 2010 (№3). (In Russ.)
7. Artemova N.M., Malygin A.G., Sokolov A.V. [*Ultrasound therapy as a corrective technology for restorative medicine. Tutorial for residents and interns or the discipline of physiotherapy*]. Ryazan: Ryazanskij gosudarstvennyj medicinskij universitet imeni akademika Pavlova; 2011. (In Russ.)
8. Ronkin M.A., Ivanov L.B. [*Rheography in clinical practice*]. Moscow: MBN; 1997. (In Russ.)
9. Ulashchik V.S., Kozlovskaya L.E., Rybin I.A. [*Magnetic therapy techniques for the AMT-01 magnetotherapy device*]. Minsk: NPOOO «KLER»; 2000. (In Russ.)

### Вклад авторов

Гойдь В. И. Разработал методику исследования, произвел систематизацию и окончательный анализ результатов исследования, а также подготовил текст статьи, основываясь на выводах из результатов и теоретических исследованиях.

Сарраф Ж. Проводил исследование и произвел первичный анализ результатов.

Бондарик В.М. Планировал и курировал работу, а также вносил правки в текст статьи.

Ланина О.В. Проводила анализ результатов исследования, вносила практические рекомендации по проектированию аппаратуры для сочетанного воздействия полями различной физической природы на биологический объект.

### Authors contribution

V. I. Goid developed a research methodology, systematized and analyzed the results, and prepared the text of the article, based on the conclusions from the results of research and theoretical studies.

Sarraf J. conducted the research and performed an initial analysis of the results.

Bondarik V.M. planned and supervised the work, and also corrected the text of the article.

O. V. Lanina analyzed the results of the research, made practical recommendations on the design of equipment for the combined effect of fields of different physical nature on a biological object.

### Сведения об авторах

Гойдь В.И., магистрант кафедры электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

Сарраф Ж., магистрант кафедры электронной техники и технологии Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники

Бондарик В.М., к.т.н, доцент, декан факультета доуниверситетской подготовки и профессиональной ориентации Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники.

О.В. Ланина, инженер по качеству Fisher & Paykel Healthcare

### Information about the authors

Goid V.I., Master Student of the Electronic Technology and Engineering Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Sarraf J., Master Student of the Electronic Technology and Engineering Department of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

Bondarik V.M., PhD, dean of the faculty of pre-university preparation and occupational guidance of Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics

O.V. Lanina, Fisher & Paykel Healthcare Quality Engineer

**Адрес для корреспонденции**

220013, Республика Беларусь,  
г. Минск, ул. П. Бровки, 6,  
Белорусский государственный университет ин-  
форматики и радиоэлектроники  
тел. +375 (17) 293-84-14;  
e-mail: gvit98@mail.ru  
Гойдь Виталий Иосифович

**Address for correspondence**

220013, Republic of Belarus,  
Minsk, P. Brovki str. 6,  
Belarusian State University  
of Informatics and Radioelectronics  
tel. +375 (17) 293-84-14  
e-mail: gvit98@mail.ru  
Goid Vitali Iosifovich