

УДК 612.176:612/014.4

Г. О. Задорожна, В. П. Ляшенко, Т. Г. Чаус, А. О. Ліс, Я. О. Ткаченко

*Дніпропетровський національний університет ім. Олесь Гончара*

### **ВИХРОВИЙ ВПЛИВ ІМПУЛЬСНОГО МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ОСМОТИЧНУ РЕЗИСТЕНТНІСТЬ ЕРИТРОЦИТІВ ЩУРІВ**

Досліджено динаміку осмотичної резистентності еритроцитів щурів за умов вихрового впливу імпульсним магнітним полем (5–10 мТл, 80 Гц). Встановлено, що тривалий магнітний вплив протягом 21 тижня суттєво модулює досліджуваний показник. Розглядаються особливості дії право- та лівонаправлених вихрових впливів магнітного поля при тривалому їх використанні. При тривалій дії ефекти впливу вихрового магнітного поля різних напрямків обертання були різними та проявили себе з початку дослідження. Дія правонаправленого магнітного поля зумовлювала відновлення морфофункціонального стану еритроцитів, тоді як лівонаправлене магнітне поле його погіршувало.

Г. А. Задорожная, В. П. Ляшенко, Т. Г. Чаус, А. А. Лис, Я. А. Ткаченко

*Днепрпетровский национальный университет им. Олесь Гончара*

### **ВИХРОВОЕ ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСМОТИЧЕСКУЮ РЕЗИСТЕНТНОСТЬ ЭРИТРОЦИТОВ КРЫС**

Исследована динамика осмотической резистентности эритроцитов крыс в условиях воздействия вихревым импульсным магнитным полем. Длительное магнитное воздействие в течение 21 недели значительно изменяет исследуемый показатель. Рассматриваются особенности действия право- и левонаправленных вихревых влияний магнитного поля при длительном их использовании. При длительном действии эффекты влияния вихревого магнитного поля различной направленности были различными и проявились в начале исследования. Влияние правонаправленного магнитного поля приводило к возобновлению морфофункционального состояния эритроцитов, тогда как лево-направленное магнитное поле его ухудшало.

G. O. Zadorozhna, V. P. Lyashenko, T. G. Chaus, A. Lis, J. O. Tkachenko

*Oles' Gonchar Dnipropetrovsk National University*

### **VORTICAL INFLUENCE OF AN IMPULSIVE MAGNETIC FIELD ON OSMOTIC RESISTANCE OF RATS' ERYTHROCYTES**

The research of the dynamics of the osmotic resistance of erythrocytes of rats in the conditions of the influence of the vortical impulsive magnetic field has been provided. It has been discovered that the protracted magnetic field during 21 weeks modulates (changes) the studied index. The peculiarities of the action of right- and left-directed vortical influences of the magnetic field at their protracted use are examined. Under the prolonged action the effects of the vortical magnetic field of different orientation were different and became apparent at the beginning of the research. The action of the right-directed magnetic field caused the revival of the morphofunctional state of erythrocytes, while the left-directed one worsened it.

#### **Вступ**

Низькочастотні магнітні поля (МП) – один із факторів навколишнього середовища, який здатен викликати значні зміни функціонального стану біологічних систем

різного рівня організації. У зв'язку з прогресом розвитку технології, систем і засобів зв'язку, природний електромагнітний фон зазнав суттєвих змін унаслідок появи модульованих магнітних полів техногенного походження з різноманітними видами модуляції [4; 6]. Із погляду широкого використання магнітних сигналів у медичній практиці, гігієнічного їх нормування, а також враховуючи можливість їх несприятливої дії на людину та тварин, дослідження біологічних ефектів низькочастотних магнітних полів дозволить розкрити механізми їх дії на біооб'єкти та дасть змогу прогнозування біотропної дії магнітної компоненти біосфери.

Біологічна дія МП зумовлена змінами, які відбуваються в перебігу природних електрофізіологічних процесів, але залишається деяка невизначеність у тому, як відбувається трансформація фізичної енергії МП в реакцію цілісної високоорганізованої системи. Досить цікавими у даній галузі є питання значущості анізотропії магнітного сигналу, коли МП однієї інтенсивності і частоти, але різні за своєю структурою, викликають не однакові за розміром і навіть направленістю біологічні реакції [3; 16; 17].

Найчутливішими до різноманітних хімічних і фізичних агентів є мембрани [6; 11]. Низькочастотне МП досить сильно впливає на структуру мембран клітин крові [1], що є показником функціонального стану організму людини та тварин. Найдоступнішим, і в той же час достатньо інформативним методом дослідження функціонального стану еритроцитів, є дослідження їх осмотичної резистентності. Визначення осмотичної резистентності еритроцитів – метод оцінки їх фізико-хімічних властивостей, який відображає сталість клітинних мембран до різних дій. Порушення осмотичної резистентності еритроцитів відбувається внаслідок змін структурних і функціональних властивостей мембран еритроцитів і є частим наслідком стресів, несприятливої екологічної ситуації, інтоксикацій тощо.

Висвітлення питань залежності функціонального стану мембран еритроцитів від впливу вихрового МП може наблизити до розкриття механізму дії поля на живий організм і встановлення закономірностей анізотропних впливів. Тому мета даної роботи – охарактеризувати осмотичну резистентність еритроцитів при впливі право- та лівонаправлених вихорів низькочастотного імпульсного МП.

### **Матеріал і методи досліджень**

Всі експерименти виконані відповідно до існуючих міжнародних вимог і норм гуманного ставлення до тварин. Досліди проводили на білих безпородних щурах-самцях, яких поділили на три групи. Перша, контрольна група ( $n = 35$ ) складалася з тварин, які перебували у стандартних умовах віварію. На щурів другої групи ( $n = 27$ ) здійснювали вихровий вплив імпульсним МП правого напрямку обертання. Тварини третьої групи ( $n = 28$ ) зазнавали вихрового впливу МП лівого напрямку обертання. У нашому дослідженні МП створювали за допомогою магнітотерапевтичного апарату «Магнітер-01» [13]. Випромінювальну частину приладу (магнітна голівка) встановлювали над твариною, яка перебувала у коробці з магнітопрозорого матеріалу. Експозиція загального опромінення для тварин тривала 15 хв щоденно в один і той же час. Параметри МП склали: індукція магнітного поля – 5–10 мТл, частота – 80 Гц.

Експеримент тривав 21 тиждень із реєстрацією показників осмотичної резистентності еритроцитів через кожні три тижні, тобто через 3, 6, 9, 12, 15, 18 та 21 тиждень. Для цього дослідним тваринам під час експерименту здійснювали декапітацію та проводили забір крові. До пробірки додавали одну–дві краплі гепарину. Далі здійснювали кількісне визначення ступеня гемолізу еритроцитів у буферних розчинах хлориду натрію [5].

Готували основний робочий розчин, що відповідав за своєю осмотичною концентрацією 1 % розчину хлориду натрію. У ряд центрифужних пробірок розливали по 5 мл робочого розчину хлориду натрію концентрацією від 1 до 0,1 %. До кожної центрифужної пробірки додавали по 0,02 мл перемішаної гепаринізованої крові та залишали на 30 хв. Центрифугували суміш крові з розчинами хлориду натрію при 2000 об./хв протягом 5 хвилин. Із кожної пробірки зливали надосадову рідину та вимірювали оптичну щільність розчину на фотоелектроколориметрі за довжини хвилі 500–560 нм (зелений світлофільтр) у кюветі з товщиною шару 10 мм проти холостої проби. За 100 % гемолізу приймали гемоліз у пробірці, яка містила 0,1 % розчину хлориду натрію. Виразовували відсоток гемолізу у кожній пробірці, порівнюючи величину екстинкції надосадової рідини з екстинкцією, яку приймали за 100 %.

Усі отримані результати оброблялись методом парних порівнянь. Зміни вважалися вірогідними при рівні значимості  $p < 0,05$ .

### Результати та їх обговорення

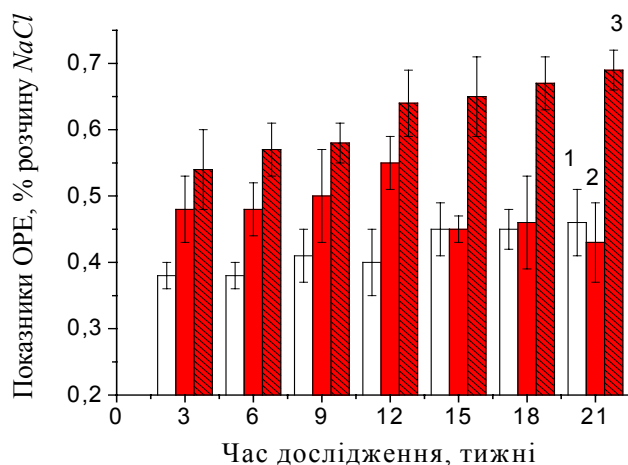
У процесі проведених досліджень встановлено, що у щурів, які перебували за стандартних умов віварію, показники концентрації сольового розчину, при якому спостерігався гемоліз еритроцитів, коливались в межах 0,38–0,46 % розчину  $NaCl$  протягом усього експерименту (рис. 1). Слід підкреслити, що за таких умов спостерігалась тенденція до підвищення цього показника з часом експерименту. Отримані значення осмотичної резистентності еритроцитів тварин контрольної групи впродовж усього експерименту були в межах норми (0,36–0,48 %) для тварин даного виду та статі [11]. Коливання цього показника протягом дослідження пов'язані з нормальними фізіологічними процесами в організмі.

Під вихровим правонаправленим впливом МП спостерігалась інша динамічна картина. Вже через 3 тижні експерименту показники концентрації розчину, в якому спостерігався гемоліз еритроцитів щурів другої групи, були достовірно більшими за показники щурів контрольної групи та дорівнювали  $0,48 \pm 0,05$  %. Підвищення показників спостерігалось протягом 12 тижнів експерименту, але вже через 15 тижнів і до кінця дослідження показники осмотичної резистентності еритроцитів (ОРЕ) щурів другої групи поверталися до норми. Значення, отримані за цих умов, через 9–12 тижнів дослідження перевершують дані норми для тварин даного віку.

Концентрація сольового розчину, в якому спостерігався гемоліз еритроцитів щурів третьої групи, які перебували під вихровим лівонаправленим впливом МП весь час дослідження, була вищою за подібну щурів інших експериментальних груп. Цей показник коливався в межах 0,54–0,69 % та підвищувався протягом усього експерименту. Наприкінці дослідження концентрація суміжного розчину у щурів третьої групи була в 1,5 раза вищою за подібну у щурів першої та другої груп.

В ізотонічному розчині еритроцити зберігають свій об'єм, у гіпертонічному – втрачають воду, зморщуються. У гіпотонічному розчині вони поглинають воду, їх об'єм збільшується до «критичного» рівня, підвищення якого супроводжується гемолізом, виходом гемоглобіну у кров. Тобто осмотична резистентність еритроцитів – це сталість їх у гіпотонічних розчинах і підвищення концентрації такого розчину в експерименті відповідає зниженню сталості еритроцита до ушкодження. Враховуючи наведене, можна говорити про те, що під впливом вихрового МП обох напрямків обертання перші 12 тижнів експерименту осмотична резистентність еритроцитів достовірно зменшувалась порівняно з показниками тварин контрольної групи. Через 15 тижнів дослідження під впливом вихрового МП правого напрямку обертання згадані показни-

ки поверталися до норми і залишалися такими до кінця терміну спостереження. Цілком імовірно, що через 15 тижнів впливу правонаправленого МП відбувалась адаптація організму щурів другої групи до зовнішньої дії. Як наслідок, показники ОРЕ через даний проміжок часу повертались до аналогічних даних щурів, які перебували весь час експерименту за стандартних умов.



**Рис. 1.** Динаміка осмотичної резистентності еритроцитів (концентрація  $NaCl$ ) щурів контрольної групи (1), тих, що перебували під впливом правонаправленого МП (2) і МП лівого напрямку обертання (3): вісь абсцис – час проведення експерименту (тижні), вісь ординат – концентрація розчину  $NaCl$ , в якому спостерігався гемоліз еритроцитів, %

За умов дії вихрового МП із лівим напрямом обертання осмотична резистентність еритроцитів щурів була зниженою вже з початку експерименту і зменшувалась протягом усього часу дослідження. Тобто адаптації до дії лівонаправленого МП не спостерігалось, а навпаки, із часом експерименту резистентність еритроцитів щурів третьої групи зменшувалась.

Мішенню для ініціації фізіологічної відповіді на вплив зовнішнього чинника є, перш за все, клітинні мембрани. Мембрани – рідкокристалічні системи [6]. Рідкі кристали – органічні рідини, які мають анізотропію (залежність фізичних властивостей, зокрема електромагнітних, від напрямку), що полягає в орієнтації молекул як у твердих кристалів. Більшість біологічних молекул, які входять до складу клітин, а також внутрішньоклітинних і позаклітинних морфофункціональних систем, мають властивості рідких кристалів. Рідкі кристали формують мембрани клітин і відіграють важливу роль у системних ефектах, контролюють зміни температури, рівень мембранних потенціалів, реагують на найменші зміни функціональних властивостей. Властивості рідких кристалів лежать в основі роботи фундаментальних механізмів живих систем. Завдяки рідким кристалам організми в змозі реагувати на сенсорні реакції, викликати реакції інших систем, наприклад відповіді імунної системи, продукцію мелатоніну тощо. Структура та властивості рідких кристалів можуть легко модифікуватись при зміні МП [4; 6; 12; 18]. Здатність МП до переорієнтування рідких кристалів може пояснити високу біологічну ефективність вихрових магнітних впливів, які теж мають анізотропну структуру.

Отже, біологічну активність мало вихрове імпульсне МП із правим та лівим напрямом обертання магнітної голівки. Але за тривалої дії ефекти впливу вихрового МП

різних напрямів обертання були різними. Можливо, дія правонаправленого МП призводить до більш переважного напрямку орієнтації рідкокристалічних утворень у мембранах клітин, ніж дія поля з лівим напрямком обертання. Цікава аналогія такого результату з висновками, отриманими в експериментах, в яких вплив надвисокочастотного випромінювання на амплітуду альфа-ритму ЕЕГ людини був більшим при використанні правополяризованого випромінювання, ніж лівополяризованого [7]. Встановлена також різна чутливість ока до лівої та правої компонент циркулярно поляризованого світла [8]. Результати наших експериментів відображали певну універсальну закономірність дії електромагнітних випромінювань на біооб'єкти.

Порушення сталості клітинних мембран пов'язане з біохімічними перетвореннями у їх біліпідному шарі, які призводять до зниження в'язкості мембрани. Унаслідок цього мембрана стає більш ламкою. Порушуються процеси, пов'язані зі змінами поверхні мембрани (фагоцитоз, піноцитоз, клітинна міграція тощо). Значно знижується чутливість клітини до ряду гормонів. Такі перетворення на клітинному рівні можуть бути причиною різноманітних процесів на системному, рефлекторно-гуморальному фізіологічному рівні. У сучасних дослідженнях розглядається механізм впливу МП на живий організм як стрес-фактора. Авторами [14; 15] встановлено, що підвищення загальної резистентності організму, індуковане використанням слабких МП, формується за механізмом адаптаційного синдрому при провідній ролі системних нейрогуморальних механізмів регуляції функцій. У наших попередніх дослідженнях знайдено високі кореляційні коефіцієнти між динамікою електричної активності гіпоталамуса щурів за дії МП і при формуванні стрес-відповіді організму [9], а також зміни вмісту кортистерону у сироватці крові щурів, які перебували в умовах тривалої дії МП даних параметрів [10]. Результати цього дослідження можуть бути поясненням знайдених системних реакцій у відповідь на дію МП на субклітинному рівні.

### **Висновки**

Ефекти впливу вихрового імпульсного магнітного поля залежали як від терміну дії МП, так і від обраного напрямку обертання магнітної голівки. Осмотична резистентність еритроцитів щурів за умов дії лівонаправленого магнітного сигналу знижувалась уже на перших етапах дослідження та залишалась такою до кінця експерименту. При використанні правонаправленого магнітного сигналу осмотична резистентність щурів знижувалась перші 12 тижнів дослідження. Через 15 тижнів і до кінця експерименту досліджений показник повертався до значень норми. Такі відмінності пов'язані зі здатністю МП до переорієнтування рідких кристалів, що є основою зміни під дією полів структури та властивостей клітинних мембран. Саме анізотропними властивостями рідких кристалів пояснюється поведінка молекул, клітин і складних організмів у МП. Можливо, дія правонаправленого МП призводить до більш переважного напрямку орієнтації рідкокристалічних утворень у мембранах клітин, ніж дія поля з лівим напрямком обертання. Такі перетворення відобразились на зміні проникності мембран, що є причиною морфофункціональних змін мембрани еритроцитів.

### **Бібліографічні посилання**

1. **Бордюшков Ю. Н.** Структурно-функциональные изменения мембран лимфоцитов и эритроцитов под воздействием переменного магнитного поля / Ю. Н. Бордюшков, И. А. Горошинская, Е. М. Франциянц // Вопросы медицинской химии. – 2000. – № 1. – С. 76.

2. **Берлин Ю. В.** Некоторые особенности действия импульсных магнитных полей на электропроводные жидкости и биологические системы / Ю. В. Берлин, Г. М. Бувин, В. И. Белькевич // Реакции биологических систем на магнитные поля. – М. : Наука, 1978. – С. 39–48.
3. **Бурлакова Е. Б.** Сверхслабые воздействия химических соединений и физических факторов на биологические системы / Е. Б. Бурлакова, А. А. Конрадов, Е. Л. Мальцева // Биофизика. – 2004. – Т. 49, вып. 3. – С. 551–564.
4. **Винер Н.** Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. – М., 1983. – 294 с.
5. **Владимиров Ю. А.** Перекисное окисление липидов в биологических мембранах. – М. : Наука, 1972. – С. 35–48.
6. **Гуляр С. А.** Постоянные магнитные поля и их применение в медицине / С. А. Гуляр, Ю. Л. Лиманский. – К. : Ин-т физиол. им. А. А. Богомольца НАН Украины, 2006. – 320 с.
7. **Дмитриевский И. М.** Воздействие поляризованного света на глаз человека (новое объяснение зрительного феномена, обнаруженного И. М. Фейгенбергом). – М., 1985. – С. 19–24. – (Препринт МИФИ 014-85).
8. **Дмитриевский И. М.** Космофизические корреляции в живой и неживой природе как проявление слабых воздействий // Биофизика. – 1992. – Т. 37, вып. 4. – С. 674–680.
9. **Задорожна Г. О.** Вплив вихрового імпульсного магнітного поля на біоелектричну ритмічну активність задньої зони гіпоталамуса щурів за умов зооконфліктної ситуації / Г. О. Задорожна, В. П. Ляшенко, Т. Г. Чаус // Ученые записки Таврич. нац. ун-та им. В. И. Вернадского. Биология и химия. – 2008. – Т. 21 (60), № 2. – С. 35–45.
10. **Задорожна Г. О.** Вплив вихрового імпульсного магнітного поля на біоелектричну активність гіпоталамуса щурів за фізіологічних умов та умов стресу: Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – К., 2009. – 20 с.
11. **Катюхин Л. Н.** Динамика изменений красной крови у крыс при острой иммобилизации / Л. Н. Катюхин, Н. Н. Маслов // Косм. биология и авиакосм. – 1994. – Т. 18, № 3. – С. 43–47.
12. **Моисеева Н. И.** Временная среда и биологические ритмы / Н. И. Моисеева, В. М. Сысуев. – Л., 1981. – 126 с.
13. **Пристрій** для генерування магнітних полів. Патент 29009 А Україна, 6 А61N2/02./ Ю. О. Філіпов, І. І. Соколовський, І. І. Гриценко та ін.; Заяв. 15.01.1993 р. № 3687–ХІІ; опубл. 01.06.2000 р. Бюл. № 5–11.
14. **Сидякин В. Г.** Влияние флуктуаций солнечной активности на биологические системы // Биофизика. – 1992. – Т. 37, вып. 4. – С. 647–652.
15. **Сидякин В. Г.** Магнитоиндуцированные реакции в механизмах радиорезистентности организма / В. Г. Сидякин, А. М. Сташков // Ученые записки Таврич. нац. ун-та. – 2001. – № 7 (46). – С. 46–54.
16. **Хоменко О. М.** Вплив вихрового імпульсного магнітного поля на функції органів травлення та крові (моделі та механізми): Автореф. дис. ... канд. біол. наук. – Д., 2002. – 20 с.
17. **Хоменко О. М.** Вплив змінних магнітних полів на функціональний стан печінки при хронічному активному гепатиті / О. М. Хоменко, А. І. Руденко, О. Б. Мурзін // Вісник Дніпропетр. ун-ту. Біологія. Екологія. – 2002. – Вип. 10, т. 2. – С. 32–36.
18. **Шноль С. Е.** Макроскопические флуктуации – общее свойство биологических и физико-химических процессов. Проблемы «дифференциальной диагностики» макроскопических флуктуаций и автоколебаний. Возможная физиологическая роль макроскопических флуктуаций // Механизмы временной организации клетки и их регуляция на различных уровнях. Матер. Всесоюз. симпоз. – Пушкино, 1983. – С. 3–6.

*Надійшла до редколегії 05.03.2010*