

УДК 539.16.07:612.087.1+340.624.411

Т.М. Бойчук, М.В. Шаплавський, В.З. Слободян, В.В. Буждиган, О.В. Гуцул

**БІОФІЗИЧНА ПРИРОДА МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЕРИТРОЦИТІВ**

Буковинський державний медичний університет, м. Чернівці

**Резюме.** Автори роблять підсумок результатів розробки вимірювального комплексу реологічного стану крові, технічне рішення якого базується на реєстрації її електромагнітних параметрів в умовах моделі, що відтворює властивості крові *in vivo*. Вперше публікуються виявлені в дослідженні фізичні величини магнітного потоку та магнітної індукції еритроцитів.

У роботі аргументована біофізична природа магнітного поля еритроцитів, його медичні аспекти.

**Ключові слова:** біоінертизація, реологія крові, магнітне поле еритроцитів.

**Вступ.** Напрямок досліджень біофізики кровообігу в капілярах, який проводиться нами, збігається з ідеями А.Л. Чижевського, що вказав на першочергову умову такого руху – наявність електричного розпору, тобто, однойменного заряду еритроцитів і ендотелію [1]. На основі власних досліджень це поняття сформовано як від'ємний гіперзаряд зони контакту еритроцит – капіляр [2]. Однак лише нещодавно вдалося виміряти заряд еритроцитів в умовах експериментальної моделі, адекватної *in vivo*, остаточно довести його залежність від гормональних регуляторів мікроциркуляції [3], виявити заряд, як фізичну основу зменшення в'язкості крові [3, 4]. Стало очевидним, що всі реологічні параметри крові – електропровідність, в'язкість, заряд еритроцитів та їх магнітна індукція взаємозалежні фізично і математично ідентифіковані. Отже, саме поняття реології крові тут стверджується як концепція динамічної системи електромагнетизму її складових, що задіяні в гемодинаміці. Ми не згадуємо широку полеміку з подібних проблем реології в науковій літературі, оскільки, зважаючи на низку наших попередніх робіт, упевнені, що тепер вони теоретично і експериментально вирішені.

Щодо магнітних властивостей еритроцитів [1], то численні посилання в літературі на їх наявність, як таких, не підтверджені експериментальними дослідженнями, що вказували б чітко на їх фізичну природу, на можливість їх вимірювання, біофізичну роль магнітних властивостей у гемодинаміці тощо. Про виключну актуальність цієї проблеми свідчать відомості про вагомий асигнування на програму її розробки [5].

Створення електронного вимірювального комплексу реологічних параметрів крові, що відповідав би вимогам біоінертизації, є наріжною умовою успіху подібної програми, що аргументовано нами раніше [3]. Принаймні зазначеним комплексом нам вперше вдалося виявити дію магнітного поля еритроцитів і виміряти його показники.

**Матеріал і методи.** Дослідження проведені на вищезазначеному електронному вимірювальному комплексі з використанням крові семи донорів. Статистичний аналіз не проводився, оскільки результати досліджень мають повну відтворюваність, тобто, мають зміст закономірності.

**Результати дослідження та їх обговорення.** Треба зауважити, що визначення магнітного поля еритроцитів було покладено в основу технічного рішення вимірювального комплексу, як фрагмента реєстрації реологічних параметрів крові.

Тут слід деталізувати фізичний та біологічний зміст виявлених ефектів. Ми виходили з того, що у фронті крові, що рухається в капілярі слідом за фізіологічним розчином або плазмою, проводиться спостереження добротності (Q-фактора) шару рухливих іонів крові, що складають дзета-потенціал еритроцитів ( $\xi$ ) за умови дії дифузії. Власне, таким способом ми скануємо добротністю поверхневі шари приеритроцитарних іонів (шари Штерна і Гуї), за взаємодії з некомпенсованими електронами [3]. Нагадаємо, що добротність є параметром, обернено пропорційним до концентрації іонів. Тобто, ми виявили перехід рухливих іонів у приеритроцитарну зону (фронт) крові (рис. 1а, 1б). Тут показана суперпозиція заряду еритроцитів за добротністю і наслідки дії магнітного поля еритроцитів у трьох донорів до і після уведення адреналіну.

Щоб підтвердити цей шонайважливіший експериментальний доказ вздовж капіляра, водночас пропускався струм (порядку 0,5 мкА, при якому в дублікатах проб графіки динаміки добротності з електричною напругою і без неї – ідентичні). Таким способом вдалося довести факт спаду електропровідності в приеритроцитарному шарі плазми (рис. 1а, 1б). Отже, оскільки концентрація катіонів плазми є незмінною, елементарним є висновок про їх перехід із вектора електропровідності соленоїда до вихрового (перпендикулярного до нього) електричного поля еритроцитів, тобто, відбувається захват катіонів вихровим електричним полем магнітного потоку еритроцитів (детальні пояснення див. також на рис. 2).

Другим феноменом, що був виявлений за спостереження магнітного поля еритроцитів, є його залежність від динаміки їх заряду. Як зазначалося, на рис. 1а, 1б наведена суперпозиція заряду еритроцитів крові трьох донорів до і після уведення в кров фармакологічної дози адреналіну. За збільшення роздільної здатності зазначених графіків добротності приеритроцитарного шару катіонів, що рухаються за ізотонічним роз-

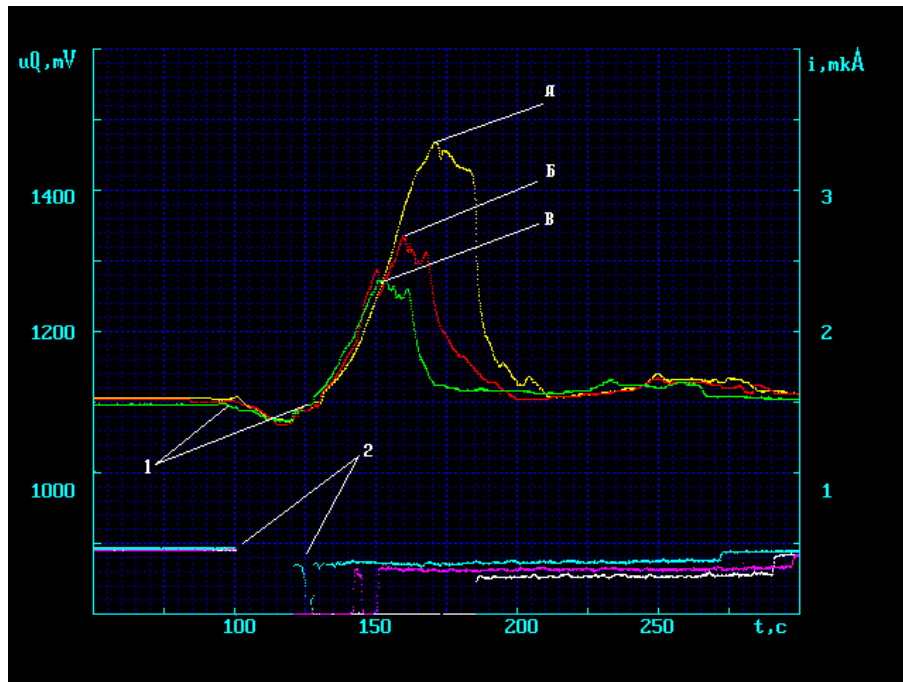


Рис. 1а. Динаміка добротності ( $uQ$ , mV) та струму ( $i$ , mA) в часі ( $t$ , c) за проходження крові донорів у капілярі до уведення адреналіну:

1 - приеритроцитарна зона (зменшення добротності); 2 – спад електропровідності соленоїда (за відсутності магнітного поля еритроцитів електропровідність мала б зрости [3]); А, Б, В - позначення донорів, де зареєстрована добротність потоку з еритроцитами до уведення адреналіну (контроль)

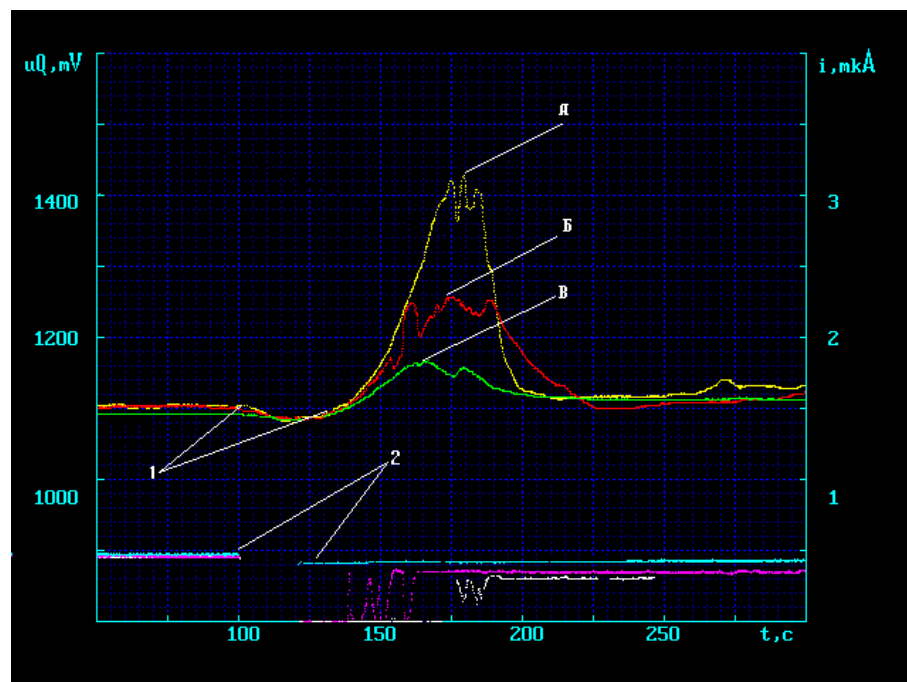


Рис. 1б. Динаміка добротності ( $uQ$ , mV) та струму ( $i$ , mA) в часі ( $t$ , c) за проходження крові донорів у капілярі після уведення адреналіну:

1 – приеритроцитарна зона (зменшення добротності); 2 – спад електропровідності соленоїда (за відсутності магнітного поля еритроцитів електропровідність мала б зрости [3]); А, Б, В – позначення донорів крові, де добротність потоку з еритроцитами знизилася після уведення адреналіну (зріс їх заряд [3]) порівняно з контролем (рис. 1 а)

чином (рис. 3), чітко видно, що дія магнітного поля еритроцитів щодо рухливих іонів збільшується там (зменшення добротності), де зростає заряд еритроцитів. До речі, саме цей ефект дії зовнішнього (по відношенню до соленоїда з ізотонічним розчином) магнітного поля ми спостерігали

раніше [6]. У випадку надходження крові до соленоїда, носієм такого поля виступають еритроцити. Власне, взаємодія оптимального за енергією магнітного поля соленоїда з магнітним полем еритроцитів і лягла в основу компенсаційної схеми програмного розрахунку конкретних параметрів еле-

ктромагнетизму червоних кров'яних тілець. Вони наступні: магнітний потік  $\Phi_{ep} = 124,4 \cdot 10^{-9} \text{ Вб}$ ; магнітна індукція  $B_{ep} = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$ .

На рис. 3 чітко зафіксовані три різні за величиною відхилення (А, Б і В) від квазірівноважного стану (результуюча протидія квазіупругих ньютонівських сил електричних та магнітних полів), що зумовлені динамічними умовами формування дзета-потенціалу еритроцитів ( $\xi$ ) на межі кров-ізотонічний розчин, за повільного надходження останньої в зону дії змінного електромагнітного поля коливального контуру. Чим більше відхилення від квазірівноважного стану, тим сильніше проявляється дія адреналіну на еритроцити крові, що зумовлює протилежне за знаком зміщення добротності за такого стану і беззаперечно підтверджується експериментальними даними, наведеними на рис. 3.

Рівень відхилення від квазірівноважного стану еритроцитів крові чутливий до дії адреналіну, зумовлений змінами їх заряду за дії факторів, які впливають на кров задовго до експерименту, що копіює їх поведінку *in vivo*.

При зростанні амплітуди зовнішнього змінного магнітного поля в приеритроцитарній зоні породжуються вихрові електричні поля як вільних додатніх іонів, так і вихрові електричні поля, пов'язані з обертанням еритроцитів, поверхневий заряд яких має фіксований від'ємний знак (рис. 2). Вихрове електричне поле еритроцитів, що обертаються, неминуче породжує магнітне поле еритроцитів. Саме воно у свою чергу взаємодіє зі зростаючим за амплітудою зовнішнім змінним магнітним полем соленоїда.

Власне, зазначені взаємодії і створюють квазірівноважний стан, чутливий до дії зовнішніх щодо еритроцита антагоністичних чинників. Дія адреналіну на кров якраз і дозволила виявити існування квазірівноважного стану і вияснити механізм його зміни. Оскільки його відхилення, як виявилось, залежить від передісторії проб кро-

ві (у різних донорів виявлена різна чутливість до дії ідентичної дози адреналіну [3] – рис. 3), то можна дійти висновку, що тут ми маємо справу з новим пластом фундаментальних досліджень регуляторів електромагнетизму еритроцитів, тобто, чинників фізіологічного, патологічного, фізичного та фармакологічного змісту.

Щодо біофізичних аспектів, то магнітне поле еритроцитів, що виявляється вихровим електричним полем, притаманне їм не випадково. Воно виконує їх орієнтуючу функцію в гемодинаміці з відомими ефектами, зокрема, зумовлює поперечну позицію до вектора руху крові за входження її в капіляр [2]. До речі, саме таке, за дії магнітного поля еритроцитів, «монетне» розташування зумовлює не тільки їх рушійну силу [2], а й неминуче зменшення гемостатичного тиску позаду еритроцитів у дистальному відділі капіляра, що разом із вектором онкотичного тиску плазми, за численних умов електромагнетизму біоінертизації, повертає в кровообіг гідратовані компартменти крові, збагачені продуктами клітинного метаболізму. Якби цей постулат був помилковим, то дистальне анатомічне розширення капіляра [2] призвело б до падіння кінетичної складової і зростання тут гемостатичного тиску крові (правило Бернуллі), що заблокувало б формування венозної крові. Цілком очевидно, саме це і відбувається за зменшення тиску серця на вході в капіляр, зменшення електрокінетичної та магнітної енергії еритроцитів. Про це свідчить і відсутність імпульсу збільшення гемостатичного тиску серця в капілярі за систоли [2].

Отже, наші дослідження підтверджують припущення ряду авторів про фізичний зв'язок біомагнітного поля клітин із динамікою їх поверхневого заряду [7]. Такий зв'язок у еритроцитів, за нашими дослідженнями, вказує на те, що їх магнітний імпульс також регульований гормонами. Іншими словами, фізіологічний синергізм електричного і магнітного полів еритроцитів – очевид-

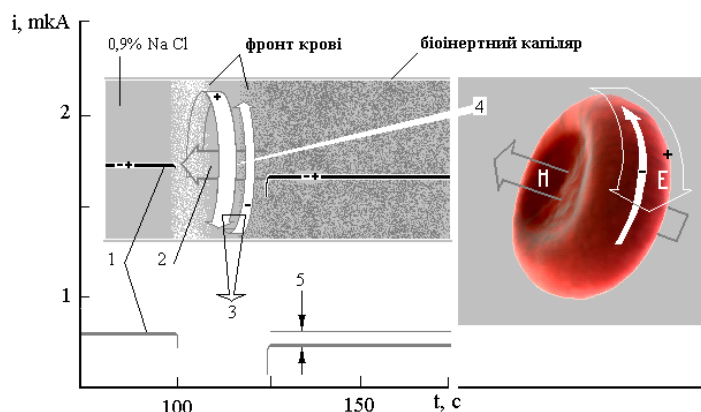


Рис. 2. Теоретичне пояснення дії магнітного поля еритроцитів у фронті крові, що рухається в капілярному соленоїді:

1 – вектор – рівень струму капілярного соленоїда, в якому рухається кров слідом за ізотонічним розчином; 2 – магнітний потік еритроцитів у фронті крові; 3 – вектор вихрового електричного поля еритроцитів (спад електропровідності соленоїда); 4 – магнітоелектричний модуль крові (еритроцит: Н – напруженість магнітного поля, Е – напруженість вихрового електричного поля); 5 – зменшення струму в масиві крові за рахунок малорухливих носіїв зарядів (білки, формені елементи)

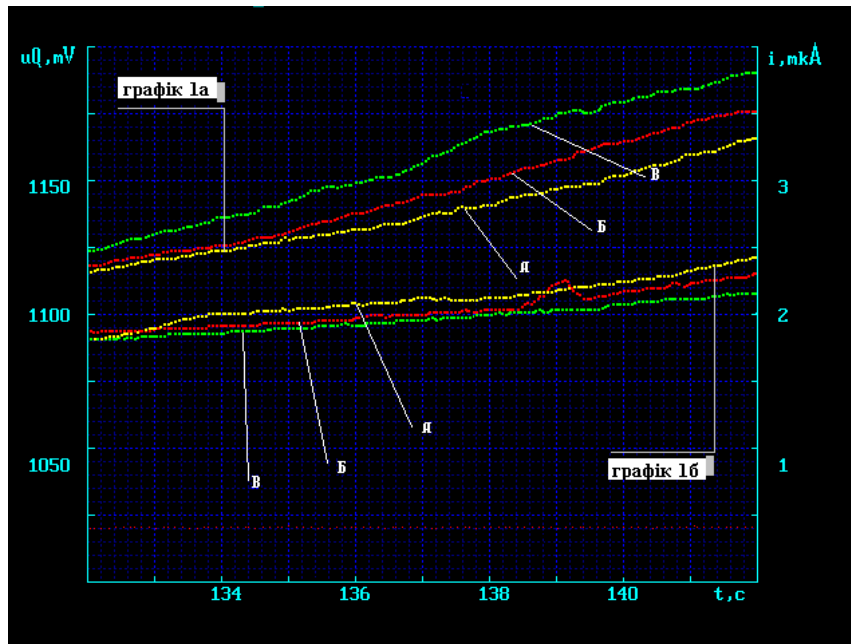


Рис. 3. Збільшена роздільна здатність приеритроцитарної зони графіків 1а, 1б

Примітка. За уведення адреналіну і зростання заряду еритроцитів (графік 1б) відбулося зменшення добротності в приеритроцитарній зоні рухливих іонів, тобто, посилилася дія магнітного поля еритроцитів

ний. Ми привели достатньо доказів, які вказують не те, що динаміка зазначених полів є основою, зокрема, фізіології кровообігу, а не «проявом життєдіяльності клітин» [7].

Підсумовуючи тут гносеологічний зміст численних робіт, присвячених магнітному полю еритроцитів, необхідно підкреслити, що в даному дослідженні визначається схема проблеми, яка полягає в тому, що еритроцити, на відміну від неживої субстанції, можуть бути пара-, діаманетиками за дії зовнішнього магнітного поля [8] і феромагнетиками [9] за течії в моделях судин, далеких від умов біоінертизації. У нашому ж дослідженні з'ясована фізична природа та біоенергетичний зміст магнітного поля еритроцитів, визначено його конкретні параметри.

Зрештою, щодо клінічного аспекту. Еритроцит є збудливою клітиною і втрата його типової форми на вході в капіляр є не що інше, як здійснення потенціалу дії [2]. Легко здогадатися, що для повної перезарядки мембрани треба принаймні нейтралізувати позитивний заряд  $\xi$  – потенціалу еритроцитів, тобто, магнітний імпульс має бути значно більшим за здійснення потенціалу дії, аніж той, що спостерігається у фізіологічних флуктуаціях гормональної дії, наведеної в цій роботі. Тут виникає питання – звідки береться потужний імпульс, здатний, зрештою, деполаризувати мембранний потенціал еритроцитів [2]. Стало відомо, що серце комплексом QRS генерує електромагнітний імпульс (ЕМІ), що значно перевищує рівень, необхідний для здійснення систоли [10]. Виходячи з того, що зона від'ємного гіперзаряду внаслідок високої концентрації незкомпенсованих електронів [3] має бути у фізичному змісті ідеальним провідником, то можна

дійти висновку, що саме електромагнітний імпульс серця разом із тиском в 10 мм рт. ст. породжує потенціал дії еритроцитів, що усуває їх в'язкість на вході в капіляр із подальшим включенням їх рушійної сили [2]. Тобто, пануючі до цих пір механістичні уявлення про так звану деформованість еритроцитів – нонсенс. До речі, одна із найпопулярніших до нині монографій, присвячених, зокрема, мікроциркуляції, так і називається «Механіка кровообігу» [11]. Отже, ми маємо справу не з механікою, а з електромагнетизмом на рівні кровообігу. На противагу цьому, серцю тільки за початку систоли довелось би на вході у капіляр, діаметр якого удвічі менший від еритроцита, долати на відстані механічний опір близько 200 000 000 000 еритроцитів (половина числа капілярів).

Необхідні серійні клінічні дослідження, щоб довести, зрештою, дійсний механізму генезу, наприклад, гіпертонічної хвороби, яка лікувалась би не тимчасовим зниженням ОЦК, тону судин, ослабленням скорочувальної функції серця чи іншими наслідками емпіричної фармакодинаміки, що залишаються поза полем зору медиків.

Ураховуючи вищезазначене, є всі підстави стверджувати наріжну роль зрушень електромагнетизму на кожній із згаданих вище ланок його функціонування в гемодинаміці, зрушень, що чекають клінічного висвітлення і корекції.

Загалом, сучасні досягнення молекулярної біофізики, біохімічної фізики, квантової медицини, прямо вказують на те, що давно визрів стратегічний напрям розвитку біології і медицини, який має розкрити електромагнетизм як основу квантової термодинамічної конструкції, що запрограмована генетично і називається життям.

**Висновки**

1. Електронний вимірювальний комплекс реологічного стану крові забезпечує реєстрацію магнітного поля еритроцитів із визначенням його конкретних параметрів.

2. Магнітне поле еритроцитів фізично спряжене з їх зарядом.

3. Магнітний імпульс еритроцитів зазнає гормональної регуляції.

4. Вимірювальний комплекс дозволяє реєструвати в одній пробі крові (1 мл) всі параметри електромагнетизму цієї тканини (в емпіричному змісті – реологічні показники).

**Перспективи подальших досліджень.** Вивчення механізму мікроциркуляторної динаміки з позицій біоелектромагнетизму в клініці з метою висвітлення патогенезу захворювань, їх ранньої діагностики, прогнозування та корекції. Такі дослідження мають проводитися за спостереження енергообміну еритроцитів та порівняльних дослідницьких схем із засобами емпіричної медицини.

**Література**

1. Чижевский А.Л. Электрические и магнитные свойства эритроцитов / А.Л. Чижевский. – К.: Наукова думка, 1973. – 94 с.
2. Шаплавський М.В. Біоінертизація як біологічна функція / М.В. Шаплавський. – Чернівці: Прут, 1996. – 184 с.
3. Вимірювання добротності в біометрії крові / Т.М. Бойчук, М.В. Шаплавський, В.М. Конов-

чук [та ін.] // Бук. мед. вісник. – 2011. – Т. 15, № 4 (60). – С. 129 – 132.

4. Буждиган В.В. Апробація безелектродного аналізу в'язкості крові / В.В. Буждиган, О.В. Слободян, М.В. Шаплавський // Бук. мед. вісник. – 2009. – Т. 3, № 3. – С. 140-142.
5. Tao R. Reducing blood viscosity with magnetic fields / R. Tao, K. Huang // Phys. Rev. – 2011. – E. 84, 011905. – P. 5.
6. Парадокси гемодинаміки у світлі теорії біоінертизації / М.В. Шаплавський, В.П. Пішак, М.Ю. Коломоець [та ін.] // Бук. мед. вісник. – 2007. – Т. 11, № 1. – С. 148-150.
7. Медицинская электронная библиотека. Магнитные поля биологического происхождения / © rosmedic.ru 2006 – 2011 Rambler's Top 100.
8. Калыгин А.Н. Влияние температуры и pH среды на магнитные свойства эритроцитов человека / А.Н. Калыгин, К.А. Кротов // Биофизика. – 1988. – Т. 33, № 3. – С. 529-530.
9. Kenjeras S. Numerical an analysis of blood flow in realistic arteries subjected to strongnon – uniform magnetic fields / S. Kenjeras // Intern. J. Heart Fluid Flow. – 2008. – Vol. 29. – P. 752-764.
10. Зусманович Ф.Н. Генез артериального давления с позиций биоинформатики / Ф.Н. Зусманович, С.Н. Елизарова // Физиол. человека. – 2002. – Т. 28, № 2. – С. 152.
11. Механика кровообращения / К. Каро, Т. Педли, Р. Шротер, У. Сид. – Л.: Мир, 1981. – 624 с.

**БИОФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ЭРИТРОЦИТОВ**

*Т.Н. Бойчук, Н.В. Шаплавский, В.З. Слободян, В.В. Буждыган, О.В. Гуцул*

**Резюме.** Авторы подводят итоги результатов разработки измерительного комплекса реологического состояния крови, техническое решение которого основано на регистрации ее электромагнитных параметров в условиях модели, которая воспроизводит свойства крови *in vivo*. Впервые публикуются определенные в исследовании физические величины магнитного потока и магнитной индукции эритроцитов.

В работе аргументирована биофизическая природа магнитного поля эритроцитов, его медицинские аспекты.

**Ключевые слова:** биоинертизация, реология крови, магнитное поле эритроцитов.

**BIOPHYSICAL NATURE OF THE MAGNETIC FIELD OF ERYTHROCYTES**

*T.M. Boichuk, M.V. Shaplav's'kyi, V.Z. Slobodian, V.V. Buzhdygan, O.V. Gutsul*

**Abstract.** The authors summarize the results of developing a blood rheological state measuring complex, whose technical solution is based on registering its electromagnetic parameters under a model condition which reproduces the blood properties *in vivo*. The physical parameters of the magnetic flux and magnetic inductions of erythrocytes are published in the research for the first time.

The biophysical nature of the magnetic field of erythrocytes, its physical aspects are argued in the paper.

**Key words:** bioinertization, blood rheology, erythrocytic magnetic field.

Bukovinian State Medical University (Chernivtsi)

Рецензент – проф. В.Ф. Мислицький

Buk. Med. Herald. – 2012. – Vol. 16, № 3 (63), part 1. – P. 16-20

Надійшла до редакції 02.07.2012 року