

1 10—9—3 10—12 Вт для терапії, діагностики та поглиблених медико-біологічних досліджень. Авторами розглянуто можливості модуляційно-комутаційного перетворення для побудови високочутливих радіометричних пристроїв оптичного діапазону та варіанти їх використання. Розглянуто схему оптичного радіометра та алгоритм перетворення сигналів з компенсацією шумів радіометричного каналу.

Приводяться оригінальні схеми оптичних модуляційних радіометрів (ОМР) в поєднанні із пристроями для світлотерапії, що розширює їх можливості та підвищує ефективність технологій лікування, в тому числі пристрій для визначення дози поглинутої енергії в процесі проведення світлотерапії й автоматизована радіометрична система із оцінкою поглинання світлового потоку та використанням зворотного зв'язку з об'єктом опромінення.

Розглянуто схему фотометричного радарного вимірювача (спектроаналізатора) для локації слабо прозорих матеріалів, приведено результати експериментальних досліджень зразків біотканини рослинного і тваринного походження, а також взаємодію світлового потоку різної довжини хвиль з тканиною руки людини. Авторські технічні рішення затверджені патентами України. Експериментально показано, яким чином наявність кольорового пігменту в зразках біотканини змінює форму оптичної спектрограми, що може використовуватися для побудови нових методів та засобів фотоаналізу та діагностики.

Ключові слова: модуляційно-комутаційне перетворення, оптичний радіометр, світлотерапія, інтенсивність світлового потоку, біоматеріали.

¹⁾А. Ф. Яненко, ¹⁾К. Л. Шевченко, ²⁾О. Д. Головчанская

¹⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна;

²⁾Національний медичний університет імені О. Богомольця, Київ, Україна

МОДУЛЯЦИОННАЯ ОПТИЧЕСКАЯ РАДИОМЕТРИЯ В МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЯХ

Рассмотрены возможности модуляционно-коммутационного преобразования для построения высокочувствительных радиометрических устройств оптического диапазона и варианты их использования в медицине, биологических исследованиях и материаловедении.

Приводятся оригинальные схемы оптических модуляционных радиометров (ОР) в сочетании с устройствами для светотерапии, что расширяет их возможности и повышает эффективность технологий лечения.

Рассмотренная схема фотометрического радарного измерителя для локации слабо прозрачных материалов и приводятся результаты экспериментальных исследований образцов тканей растительного и животного происхождения, а также взаимодействие светового потока различной длины волн с тканью руки человека.

Ключевые слова: модуляционно-коммутационное преобразования, оптический радиометр, светотерапия, интенсивность светового потока.

Надійшла до редакції

12 березня 2018 року

Рецензовано

27 березня 2018 року

УДК 615.837.3

ОЦІНКА ВПЛИВУ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА КОАГУЛЯЦІЮ АЛЬБУМІНУ

¹⁾Терещенко М. Ф., ¹⁾Васько А. П., ¹⁾Шевченко В. В., ²⁾Чухраєв М. В.

¹⁾Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», Київ, Україна; ²⁾ТОВ «НМЦ МЕДІНТЕХ», Київ, Україна

E-mail: agfarkpi@i.ua

Проведено дослідження та математичне моделювання впливу ультразвукового випромінювання на коагуляцію альбуміну в біологічному середовищі при змінних показниках інтенсивності й часу дії ультразвуку (УЗ) в немодульованому режимі роботи та різних температурах контактного водного середовища. Визначено параметри впливу УЗ, при яких проявляється початковий процес коагуляції альбуміну. Встановлено залежність зміни товщини клітинної мембрани білку від часу впливу УЗ випромінювання на досліджуваний об'єкт.

Ключові слова: ультразвук, товщина клітинної мембрани, коагуляція альбуміну.

Вступ

У терапевтичних напрямках клінічної медицини відбувається постійна конкуренція між фізичними факторами лікування та терапією різноманітними лікувальними препаратами. На жаль, найчастіше ця конкуренція закінчується на користь останньої, що пояснюється не тільки потужною рекламою ліків, а й низьким рівнем оснащення сучасними апаратами багатьох медичних установ.

Сучасна медицина має широкий вибір активних медикаментозних засобів для лікування багатьох захворювань. Однак застосування препаратів, в ряді випадків, викликає не тільки адаптацію до них, що знижує ефект лікування, але й низку побічних та алергічних реакцій, що несприятливо позначаються на стані хворого. На відміну від ліків, більшість фізичних факторів лікування стимулюють власні сили організму для боротьби з хворобою або для її профілактики, не здійснюючи при цьому серйозних побічних ефектів, оскільки більшість фізичних факторів є природними для організму [1]. Одним з таких факторів є акустичні коливання [2]. У зв'язку з цим розробка фізіотерапевтичної апаратури [3] та дослідження параметрів впливу діючих фізичних факторів являється актуальною задачею біомедичної інженерії [4].

Постановка задачі

При розробці ультразвукової фізіотерапевтичної апаратури важливою задачею є не лише забезпечення нормованих параметрів УЗ випромінювання, а й дослідження впливу даного фізичного фактору на процеси, що відбуваються в біологічному середовищі внаслідок дії УЗ [5]. Процес дії УЗ сигналу на організм складний та багатоетапний [6]. Під впливом УЗ відбувається мікрівібрація на клітинному і субклітинному рівнях, стимулюються процеси мікроциркуляції, збільшується проникність клітинних мембран, внаслідок чого змінюється концентрація різних речовин в клітині і її найближчому оточенні, що у свою чергу призводить до зміни структури клітинних мембран, а відповідно і самої клітини [7]. Один із важливих компонентів в механізмі біологічної дії ультразвуку - утворення мікропотоків всередині клітин. Сутність явища полягає в тому, що в мікроскопічному об'ємі клітин з'являються акустичні потоки, що призводять до переміщення внутрішньоклітинних утворень і зміни їх просторової орієнтації [8]. Ці зміни підвищують функціональну активність клітини і чутливість її до фізичних і хімічних факторів, але можуть призвести і до некрозу [9]. Тому в даній роботі проведено оцінку впливу УЗ випромінювання на коагуляцію альбуміну. Речовини, що містять альбумін, такі як яєчний білок, називаються альбуміноїди. Альбуміноїдами є також сироватковий альбумін. Це складова частина крові і спинномозкової рідини. Кров протікає по капілярній сітці суглобів, забезпечуючи їх поживними речовинами і очищаючи від продуктів розпаду [8]. Отже

перевищення безпечного рівня інтенсивності ультразвукового випромінювання та тривалості може призвести до зміни параметрів кровонаповнення та тромбування капілярного кровотоку.

Методика дослідження

Для оцінки впливу УЗ випромінювання на коагуляцію альбуміну було використано ультразвукову ванну (марки Jeken CE-7200A мобільного типу) [10] з показниками інтенсивності дії ультразвуку до 2,0 Вт/см² при його впливі на яйця курячі при різних температурах контактного водного середовища та зміні часу дії ультразвуку. Контроль температурних параметрів середовища проводився згідно методики запропонованої в роботі [11]. В контрольній групі при температурі водного середовища до +40°C та часу дії до 40 хвилин коагуляція не спостерігалась. Яйця курячі однієї партії вибирались з однаковою вагою та площею поверхні (близько 70 см² з відхиленням ±5%).

Зазначене біологічне середовище (яйце), занурене у воду, піддавалося впливу УЗ при п'яти режимах його потужності без модуляції (безперервний режим) випромінювання. Частота УЗ сигналу становила 42 кГц. В якості джерела впливу було використано УЗ ванну, яка містить два УЗ перетворювачі потужністю 60 Вт. Максимальна потужність складала 120 Вт. Загальний вигляд апарату, що використовувався для проведення досліджень наведений на рис. 1.



Рис. 1. Ультразвукова ванна, що використовувалась для проведення досліджень

В ході всіх дослідів відбувався постійний контроль температури води для підтримки сталого значення температури (40-41)°C для кожного досліду. Середня маса яйця становила 54,4 г при середній довжині 58,5 мм та ширині 41,8 мм, відповідно площа повздовжнього перерізу яйця становила 24,5 см², площа поверхні яйця складала 70 см².

Інтенсивність випромінювання визначалась за відомою формулою [4]:

$$I = \frac{P}{S}, \quad (1)$$

де I – інтенсивність випромінювання УЗ, P – потужність випромінювання, S – площа випромінювання.

Оскільки значення загальної потужності змінювались від 24 Вт до 120 Вт, а сума площі обох випромінювачів складає 30,4 см², відповідно загальна інтенсивність випромінювання при коефіцієнті загасання $k=0,5$ змінювалась:

в 1 режимі – 0,4 Вт/см²;

- в 2 режимі – 0,79 Вт/см²;
- в 3 режимі – 1,19 Вт/см²;
- в 4 режимі – 1,58 Вт/см²;
- в 5 режимі – 2,0 Вт/см².

У процесі проведенні експериментів тільки на максимальній потужності були помічені сліди коагуляції альбуміну.

Результати дослідження та обговорення

Процес коагуляції білку безпосередньо пов'язаний з явищем руйнування клітинних мембран. Оскільки значення товщини клітинної мембрани знаходиться в межах від 6 нм до 10 нм [2], то значення товщини, що виходять за дані межі, призводять до зміни структури клітини. Таким чином, для оцінки швидкості коагуляції можна використати формулу зміни товщини мембрани залежно від часу впливу УЗ при незмінній його частоті та інтенсивності випромінювання.

На рис. 2 зображено результат досліду при режимі максимальної потужності за час 16 хвилин при температурі води +41°C.

Здійснюючи оцінку методом спостереження, можна зробити висновок, що за даних умов коагуляція альбуміну в яєчному білку не відбувається. Оскільки початкові процеси зміни структури клітини неможливо оцінити неозброєним оком, необхідно провести математичну оцінку даного процесу. При відсутності коагуляції буде виконуватись наступна залежність зміни товщини клітинної мембрани $l(\tau)$ від часу ультразвукової дії t , температури та діючих потенціалів іонів [8]:

$$t = -\frac{\tau}{l(\tau)} \cdot \ln \left[1 - \exp \left(\frac{-E \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{u_K + u_{Na}}{u_K - u_{Na}} \right) \right], \quad (2)$$

де $l(\tau)$ – товщина плазматичної мембрани клітини білка альбуміну, τ – стала часу для мембрани, t – час дифузії в мембрані (еквівалентна часу опромінювання), E – внутрішньо мембранний потенціал, F – число Фарадея ($9,6485 \times 10^4$ Кл/моль), R – газова константа (8,31 Дж/(моль К)), T – температура (в Кельвінах), u_K та u_{Na} – активність іонів в мембрані.

Підставивши всі значення у формулу (2) та взявши середнє значення товщини мембрани, отримаємо:

$$t = -\frac{370}{8 \cdot 10^{-9}} \times \ln \left[1 - \exp \left(\frac{-60 \cdot 10^{-3} \cdot 96485}{8,31 \cdot 314,15} \cdot \frac{0,06446 + 0,0501}{0,06446 - 0,0501} \right) \right], \quad (3)$$

$$t = 960 \text{ (с)}. \quad (4)$$

З цього слідує, що за 16 хвилин впливу УЗ за даних умов, процес коагуляції в біологічному середовищі не відбувається.

В наступному досліді час опромінювання збільшено до 24 хв. Температура води та потужність УЗ залишаються незмінними. Результат даного досліді представлено зображенням на рис. 3.

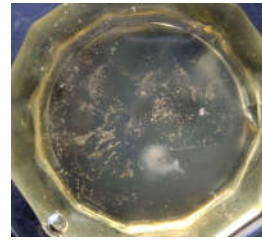


Рис. 2. Зразок, витриманий під дією УЗ 16 хв. Коагуляція відсутня

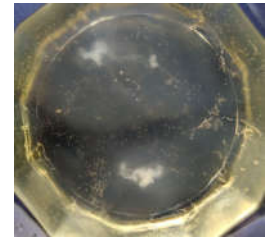


Рис. 3. Зразок, витриманий під дією УЗ 24 хв. Коагуляція візуально не спостерігається

Для оцінки швидкості коагуляції використовуємо формулу зміни товщини мембрани залежно від часу впливу УЗ:

$$l(\tau) = -\frac{\tau}{t} \cdot \ln \left[1 - \exp \left(\frac{-E \cdot F}{R \cdot T(\tau)} \cdot \frac{u_K + u_{Na}}{u_K - u_{Na}} \right) \right], \quad (5)$$

Підставивши відповідні значення, маємо:

$$l(\tau) = -\frac{370}{1440} \times \ln \left[1 - \exp \left(\frac{-60 \cdot 10^{-3} \cdot 96485}{8,31 \cdot 314,15} \cdot \frac{0,06446 + 0,0501}{0,06446 - 0,0501} \right) \right], \quad (6)$$

$$l(\tau) = 5,3 \text{ (нм)}. \quad (7)$$

Отримане значення (7) товщини клітинної мембрани свідчить про те, що плазмалема знаходиться в критичному стані, процес коагуляції розпочатий, але в даному випадку не візуалізується.

На наступному етапі зразок піддається впливу УЗ 32 хв. В результаті цього в білку виявлені білі смуги, що свідчать про продовження процесу коагуляції в даному біологічному середовищі. Описане явище представлено на рис. 4.

Визначимо товщину цитоплазматичної мембрани:

$$l(\tau) = -\frac{370}{1920} \times \ln \left[1 - \exp \left(\frac{-60 \cdot 10^{-3} \cdot 96485}{8,31 \cdot 314,15} \cdot \frac{0,06446 + 0,0501}{0,06446 - 0,0501} \right) \right], \quad (8)$$

$$l(\tau) = 4 \text{ (нм)}. \quad (9)$$

Отримане значення (9) підтверджує незворотні зміни структури клітин.

Витримуємо наступний зразок 40 хв. за незмінних умов. В результаті отримано очевидну явну зону помутніння в біологічному середовищі з наявними контурами, що зображено на рис. 5.

Товщина плазмалеми в такому випадку є:

$$l(\tau) = -\frac{370}{2400} \times \ln \left[1 - \exp \left(\frac{-60 \cdot 10^{-3} \cdot 96485}{8,31 \cdot 314,15} \cdot \frac{0,06446 + 0,0501}{0,06446 - 0,0501} \right) \right], \quad (10)$$

$$l(\tau) = 3,2 \text{ (нм)}. \quad (11)$$

При подальшому збільшенні часу впливу УЗ на зразок (до 56 хв) зона помутніння в білку стає яскраво вираженою з чіткими контурами. Даний зразок представлений на рис. 6.

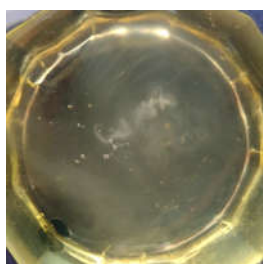


Рис. 4. Зразок, витриманий під дією УЗ 32 хв. Коагуляція розпочалася

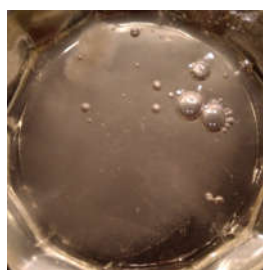


Рис. 5. Зразок, витриманий під дією УЗ 40 хв. Коагуляція добре виражена



Рис. 6. Зразок, витриманий під дією УЗ 56 хв. Коагуляція яскраво виражена



Рис. 7. Зразок, витриманий у воді температурою 40-41° протягом 65 хвилин без впливу УЗ

Товщина клітинної мембрани визначається як:

$$l(\tau) = -\frac{370}{3360} \times \ln \left[1 - \exp \left(\frac{-60 \cdot 10^{-3} \cdot 96485}{8,31 \cdot 314,15} \cdot \frac{0,06446 + 0,0501}{0,06446 - 0,0501} \right) \right] \quad (12)$$

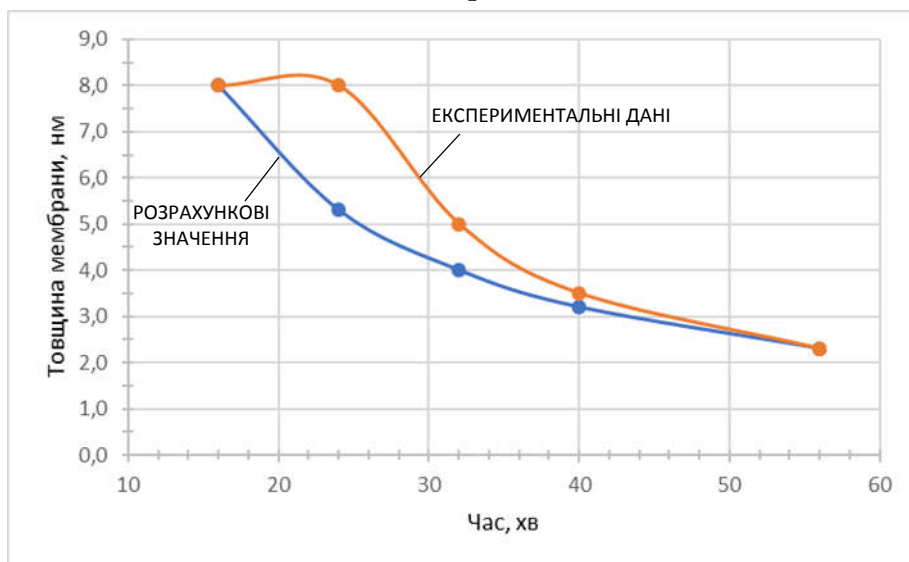


Рис. 8. Залежність зміни товщини мембрани від часу впливу ультразвуковим випромінюванням

Висновки

Проведені результати досліджень та математичного моделювання впливу ультразвуку на біологічне середовище показали, що первинні процеси коагуляції альбуміну починаються після 16 хв. дії УЗ частотою 42 кГц, інтенсивністю 2,0 Вт/см² за температури води 41°. Залежність зміни товщини мембрани від часу впливу УЗ випромінювання показує, що

$$l(\tau) = 2,3 \text{ (нм)}. \quad (13)$$

Отже, за даних умов (температура 41°С, інтенсивність ультразвуку $I = 2,0 \text{ Вт/см}^2$) первинний процес коагуляції альбуміну починається після 16 хвилини впливу УЗ коливань інтенсивності $I = 2,0 \text{ Вт/см}^2$.

Для виключення температурного фактору впливу на коагуляцію білку наступний зразок (рис. 7) був витриманий у воді температурою 40-41° протягом 65 хвилин без впливу УЗ випромінювання.

Отриманий на даному етапі зразок має рівномірно прозору субстанцію, з незначним помутнінням, але без очевидних зон та контурів коагуляції. Це свідчить про те, що температурний фактор має місце в даному дослідженні та водночас доводить значний вплив УЗ хвиль на процес коагуляції альбуміну.

Залежність зміни товщини мембрани від часу впливу УЗ випромінювання зображено на рис. 8.

Залежність представлена двома кривими: нижня – побудована на основі теоретично розрахованих значень, верхня – визначена експериментальним шляхом. Різниця значень отриманих графіків свідчить про початок процесу коагуляції, який неможливо виявити неозброєним оком на ранній стадії, коли плазмалема перебуває у критичному стані.

Отримана залежність показує, чим довший час впливу УЗ випромінювання, тим більше порушується цілісність клітинної мембрани, відповідно збільшується відсоток коагуляції в біологічному середовищі.

відсоток коагуляції в біологічному середовищі підвищується при збільшенні часу опромінення.

Отримані дані використані для розробки методик роботи фізіотерапевтичного апарату з системою ультразвукової ванни для лікування кінцівок рук та ніг, шляхом впливу УЗ випромінювання через рідину.

Подальші дослідження будуть направлені на встановлення ефективних та оптимальних режимів дії ультразвукових коливань на кінцівок рук та ніг в різних рідинних середовищах та в комбінованій дії з магнітними полями.

Література

- Chukhraiev N. V., Vladimirov A. A., L.Vilcahuaman, W. Zukow, Samosyuk N. I., Chukhraieva E., Butskaya L. V. Application of ultrasonic waves, magnetic fields and optical flow in rehabilitation./ Kiev Shupyk National Medical Academy of Postgraduate Education Pontifical Catholic University of Peru Radomsko High School SCM «Medical Innovative Technologies». 2017. – 324 p.
- Кайно Г. Акустические волны: Устройства, визуализация и аналоговая обработка сигналов; Пер. с англ. Москва: Мир, 1990. 656 с.
- Терапия ультразвуковыми волнами / Научно-практические материалы под. ред. И. З. Самосюка // Всеукраинская ассоциация физиотерапевтов и курортологов. Киев, 2003. 174 с.
- Терещенко М. Ф., Кирилова А. В. Дослідження параметрів впливу ультразвукового сигналу на біологічні структури // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. 2011. №41. С. 152 – 161.
- Васько А. П. Способ измерения параметров интенсивности ультразвуковых колебаний при физиотерапии: материалы 10-ой Междунар. науч.-техн. конф. молодых ученых и студентов «Новые направления развития приборостроения». Минск: БНТУ, 2017. С. 21.
- Кирилова А. В. Алгоритм автоматизованого оцінювання впливу ультразвуку на біологічну тканину / А. В. Кирилова, М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик, В. Ю. Рудик. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. 2013. №5. С. 98 – 102.
- Терещенко М. Ф., Кирилова А. В. Оцінка впливу ультразвукового сигналу на біологічні тканини // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. 2010. №39. С. 130 – 136.
- Иннервация суставов нижних конечностей / В. Н. Андриеш, Н. М. Фрунташ, Г. В. Винченко и др. // Издательство МАКО, Тирасполь, 1996. 130 с.
- Аппаратна косметология. Ультразвуковая терапия. Баховец Н. В. Издательство Нордмедиздат. Санкт-Петербург, 2012. 72 с.
- Васько А. П. Нові матеріали та технології ультразвукових датчиків у фізіотерапевтичній апаратурі // Актуальні задачі сучасних технологій: збірник тез доповідей міжнар. наук.-техн. конф. молодих учених та студентів (Тернопіль 17-18 листоп. 2016.) /М-во освіти і науки України, Терн. націон. техн. ун-т ім. І. Пулюя [та ін]. – Тернопіль: ТНТУ, 2016. С. 134.
- Матвієнко С. М., Вислоух С. П. Підвищення точності вимірювання теплопровідності рідин методом прямого підігріву термістора // Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2016. № 6. С. 85 – 93.

УДК 615.837.3

¹Н. Ф. Терещенко, ¹А. П. Васько, ¹В. В. Шевченко, ²Н. В. Чухраєв

¹Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина;

²ООО «НМЦ МЕДИНТЕХ», Киев, Украина

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА КОАГУЛЯЦИЮ АЛЬБУМИНА

При разработке ультразвуковой физиотерапевтической аппаратуры важной задачей является исследования влияния данного физического фактора на процессы, происходящие в биологической среде в результате действия УЗ. Под влиянием УЗ происходит микровибрация на клеточном и субклеточном уровнях, стимулируются процессы микроциркуляции, увеличивается проницаемость клеточных мембран, в результате чего изменяется концентрация различных веществ в клетке и ее ближайшем окружении, что в свою очередь приводит к изменению структуры клеточных мембран, а соответственно и самой клетки. Поэтому в данной работе проведены исследования и математическое моделирование влияния ультразвукового излучения на коагуляцию альбумина в биологической среде при переменных показателях интенсивности и времени действия ультразвука в немодулированном режиме работы и различных температурах контактной водной среды. Определены параметры влияния УЗ, при которых проявляется начальный процесс коагуляции альбумина. Установлена зависимость изменения толщины клеточной мембраны белка от времени воздействия УЗ излучения на исследуемый объект.

Ключевые слова: ультразвук, толщина клеточной мембраны, коагуляция альбумина.

¹Mykola Tereshchenko, ¹Anna Vasko, ¹Vadym Shevchenko, ²Mykola Chukhraiev

¹National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", Kyiv, Ukraine; ²"NMC MEDINTEH" (Limited Liability Company), Kyiv, Ukraine

EVALUATION OF ULTRASONIC RADIATION EFFECT ON ALBUMIN COAGULATION

An important task of the development of ultrasonic physiotherapeutic equipment is to ensure the rationed parameters of ultrasonic radiation and research the influence of this physical factor for processes occurring in the biological environment due to the effect of ultrasound. There are occur the following processes due the influence of ultrasound: microvibration on the cellular and subcellular levels, stimulation of microcirculation processes, increasing the cell membranes permeability. As a result, the concentration of various substances in the cell and its closest environment is changed. It leads to cell membranes structure changing and the cells itself. That is why in this article were researched and mathematical modeled the ultrasonic radiation influence on albumin coagulation in the biological environment with variable indices of the intensity and time of ultrasound in unmodulated mode and different temperatures of the contact aquatic environment.

It was used an ultrasound bath with an ultrasound intensity of up to 2.0 W/cm^2 to evaluate the effect of ultrasonic radiation on albumin coagulation. The biological environment (chicken egg) immersed in water was subjected to ultrasonic with five modes of power without modulation (continuous mode) of radiation. The frequency of the ultrasonic signal was 42 kHz. As a source of influence was used the ultrasonic bath with two ultrasonic transducers 60 watts powerful. The maximum power was 120 W. There was a constant control of the water temperature during all experiments to keep a constant temperature value ($40\text{--}41^\circ$) for each experiment.

As a result, was determined the parameters of ultrasonic influence when is the initial process of albumin coagulation is manifested. Was exposed the dependence of the changing of the protein cell membrane thickness from the time of the ultrasonic radiation.

Keywords: ultrasound, cell membrane thickness, albumin coagulation.

*Надійшла до редакції
12 квітня 2018 року*

*Рецензовано
28 квітня 2018 року*

УДК 612.72.2+616.12-00.8.3

СПЕКТРАЛЬНЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА ВАРИАБЕЛЬНОСТИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА

Худякова Л. А., Багатенкова А. И., Кулахметов Д. Р.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

E-mail: luda@phbme.kpi.ua, bogatonkoviv@inbox.ru, coolahmetov@gmail.com

Проблема хронического стресса, когда имеется постоянное повышенное напряжение регуляторных систем, касается практически всего населения, но особенно важна для отдельных профессиональных групп, труд которых сопряжен с воздействием комплекса стрессовых факторов. Это, в частности, операторы компьютерных систем, диспетчеры, водители, а также бизнесмены и административно-управленческий аппарат.

Анализ вариабельности сердечного ритма является адекватным методом оценки уровня стресса при их повседневной деятельности. В статье рассмотрена информационная технология в виде программного обеспечения, используя которую можно обрабатывать результаты исследований вариабельности сердечного ритма, которые получены с помощью специализированного прибора и сохранены в виде числового массива данных. Программное обеспечение написано при помощи Matlab и исследует массив данных с помощью спектрального метода. Также проведен краткий анализ результатов.

Ключевые слова: *вариабельность сердечного ритма, спектральный метод, RR-интервал.*

Введение

Анализ вариабельности сердечного ритма (ВСР) является методом оценки состояния механизмов регуляции физиологических функций в организме человека, в частности, общей активности регуляторных механизмов, нейрогуморальной регуляции сердца, соотношения между симпатическим и

парасимпатическим отделами вегетативной нервной системы.

Текущая активность симпатического и парасимпатического отделов является результатом реакции многоконтурной и многоуровневой системы регуляции кровообращения, изменяющей во времени свои параметры для достижения оптимального приспособительного ответа, который отражает адаптационную реакцию целостного организма.