

компоненту принципіально не вплило. Крім того, після виключення електромагнітного поля сила сокращений возобновлялась до исходного значения. Также, электромагнитное поле данных параметров угнетало вызванное K^+ -деполяризацией увеличение внутриклеточного кальция в гладкомышечных клетках желудка крыс. Полученные результаты могут говорить про вовлечение потенциал-зависимых кальциевых каналов в возникновение биологического эффекта электромагнитного поля.

Ключевые слова: электромагнитные поля, гладкие мышцы, изометрические сокращения, внутриклеточный кальций, сокращения вызванные K^+ -деполяризацией.

УДК 591.3:597.551.2.043:537-962+577.152.1+577.352.4

**ВЗАЄМОЗВ'ЯЗОК МІЖ ВІЛЬНОРАДИКАЛЬНИМИ ПРОЦЕСАМИ,
АНТИОКСИДАНТНОЮ СИСТЕМОЮ ТА АКТИВНІСТЮ Na^+ , K^+ -ПОМПИ
ЗАРОДКІВ В'ЮНА ЗА ВПЛИВУ МІКРОХВИЛЬОВОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ**

М. Яремчук, М. Дика, О. Семочко, Д. Санагурський

*Львівський національний університет імені Івана Франка
вул. Грушевського, 4, Львів 79005, Україна
e-mail: m.yaremchuk@i.ua*

Проведено кореляційний аналіз для встановлення взаємозв'язку між інтенсивністю процесів ліпопероксидації, активністю ферментів антиоксидантної системи та Na^+ , K^+ -АТФази у контролі та за впливу мікрохвильового випромінювання. Показано, що електромагнітне випромінювання призводить до порушення кореляційних зв'язків між вмістом продуктів пероксидного окиснення ліпідів, активністю супероксиддисмутази, каталази, глутатіонпероксидази та Na^+ , K^+ -помпи.

Ключові слова: мікрохвильове випромінювання, кореляційні зв'язки, зародки в'юна.

Впровадження у повсякденне життя електромагнітних приладів порушує природний електромагнітний фон, який є невід'ємною частиною існування живої матерії. Вплив електромагнітного випромінювання радіочастотного (ЕМВ РЧ) діапазону, що генерують лінії електропередач, телекомунікаційні та побутові пристрої, розглядають як причину виникнення багатьох захворювань людей, тварин і рослин шляхом зміни стійкості організмів до стресових факторів зовнішнього середовища [3, 8, 10].

Досі неоднозначними і суперечливими залишаються наукові висновки щодо ступеня

шкідливості неіонізуючої радіації [1, 3, 19]. Процеси впливу електромагнітних хвиль на живі системи мають доволі складний характер і залежать від багатьох параметрів як фізичного фактора, так і біологічного об'єкта [1]. Особливо небезпечним може бути вплив такого випромінювання на процеси запліднення та раннього розвитку, коли активно відбувається біосинтез ДНК та її транскрипція до різних типів РНК. Навіть незначні, на перший погляд, аномалії в період ембріогенезу можуть призводити до значних змін у дорослому організмі. Опубліковано низку робіт про вплив мікрохвильового випромінювання на розвиток дрозофіл, перепелів, курей, щурів та ін. [4, 13, 18–20, 22, 24, 26].

Таким чином, вивчення впливу ЕМВ РЧ діапазону на біохімічні характеристики ембріональних об'єктів є актуальним і має як теоретичне значення для розуміння механізму дії ЕМВ на біологічні організми, так і практичне – у зв'язку з впливом техногенних полів на процеси запліднення і раннього розвитку.

Важливий внесок у розуміння механізмів дії мікрохвильового випромінювання має вивчення кореляційних зв'язків між процесами пероксидного окиснення ліпідів (ПОЛ), ферментами антиоксидантної системи (АОС) й активністю Na^+ , K^+ -АТФази зародків в'юна на різних стадіях раннього розвитку. Однак у доступній нам літературі не вдалося знайти праць, присвячених з'ясуванню кількісного аспекту цієї проблеми. Тому метою даної роботи було встановлення кореляційних зв'язків між: вмістом продуктів ліпопероксидації; ключовими ферментами АОС; активністю Na^+ , K^+ -АТФази за впливу мікрохвильового випромінювання.

У попередніх наших дослідженнях впливу ЕМВ на вільнорадикальні процеси й активність Na^+ , K^+ -АТФази встановлено, що дане опромінення спричиняє зміни у процесах ліпопероксидації, активності ферментів АОС та Na^+ , K^+ -помпи, а ступінь впливу мікрохвильового випромінювання залежить не тільки від тривалості опромінення, а й від стадії розвитку зародків [14–17].

Матеріали та методи

Дослідження проводили на зародках прісноводної риби в'юна *Misgurnus fossilis* L. через 60, 150, 210, 270 і 330 хв після запліднення яйцеклітин. Використовували зародки, які відповідають: першому дробленню зиготи (2 бластомери); четвертому (16 бластомерів); шостому (64 бластомери); восьмому (256 бластомерів) і десятому (1024 бластомери). Овуляцію стимулювали внутрішньом'язовим введенням самкам хоріонічного гонадотропіну (500 од.). Ікру, одержану через 36 год після стимуляції, запліднювали у чашках Петрі суспензією спермійів [9]. Через 5–10 хв після запліднення зиготи відмивали та інкубували у фізіологічному розчині Гольтфретера при температурі 20–22°C [2].

Отримані зиготи піддавали опроміненню на частотах мобільного зв'язку. Як джерело

мікрохвильового випромінювання використовували мобільний телефон, що перебував у режимі розмови. Частота випромінювання становила 900 МГц. Для оцінки рівня випромінювання використовували питомий коефіцієнт поглинання (Specific Absorption Rate–SAR), який є показником шкідливого впливу ЕМВ мобільних телефонів. Згідно з паспортом телефону, значення SAR становить 1,1 Вт/кг.

Отримані зиготи опромінювали одноразово, відразу після запліднення протягом 1; 5; 10 та 20 хв з відбором зародків на досліджуваних стадіях. Мобільний телефон у режимі розмови містився над чашками Петрі на відстані 3 см. Стадії розвитку зародків контролювали візуально бінокулярним мікроскопом МБС–9.

Вихідним матеріалом дослідження були отримані нами експериментальні дані [14–17], а саме: середні значення вмісту малонового діальдегіду (МДА), гідропероксидів ліпідів (ГП), активності супероксиддисмутази (СОД), каталази (КТ), глутатіонпероксидази (ГПО) та Na^+ , K^+ -АТФази за впливу ЕМВ різної тривалості (1; 5; 10; 20 хв) на досліджуваних етапах розвитку зародків.

Статистичне опрацювання результатів виконували загальноприйнятими методами варіаційної статистики [5]. Кореляційний аналіз проводили з використанням прикладної програми “Microsoft Excel–2007”. Розбіжності між вибірками вважали значущими при $P < 0,05$.

Результати і їхнє обговорення

Методом кореляційного аналізу виявлено тісні кореляційні зв'язки між показниками ПОЛ – АОС на певних етапах раннього ембріогенезу. Різке зростання активності СОД свідчить про порушення фізіологічних систем захисту організму від надмірного ПОЛ [17]. При цьому спостерігається зниження інших показників антиоксидантної системи – активності каталази та глутатіонпероксидази. Активність КТ істотно знижується на стадіях 2, 16, 64 і 256 бластомерів і достовірно зростає на стадії 1024 бластомери, що свідчить про автономізацію метаболічних процесів у диференційованих клітинах [11].

Встановлено, що інтенсивність процесів ПОЛ залежить від багатьох взаємозв'язаних факторів, зокрема від стану АОС [23]. Дослідження ПОЛ і АОС проводили при найрізноманітніших умовах [12, 15, 23], однак становить інтерес конкретизація зв'язків у цій системі, зокрема за впливу мікрохвильового випромінювання. Як видно із результатів проведеного кореляційного аналізу, активування процесів ПОЛ корелює з низькими значеннями показників антиоксидантного захисту.

Так, на стадії 2 бластомерів вміст первинних продуктів ПОЛ – ГП зворотно корелює з активністю ГПО ($r = -0,71$; $P < 0,05$). Підвищення вмісту МДА корелює зі зниженою активністю ГПО ($r = -0,52$). Крім того, між вмістом ГП та МДА встановлений тісний

кореляційний зв'язок ($r=0,96$; $P<0,001$). Між активністю СОД і КТ існує середньої тісноти негативна кореляція ($r=-0,57$), що свідчить про оберненість зв'язку між досліджуваними показниками.

Встановлено, що мікрохвильове випромінювання призводить до інтенсифікації процесів ПОЛ і зниження активності Na^+ , K^+ -АТФази [14–16]. З літературних джерел відомо, що функціонування Na^+ , K^+ -помпи значно порушується у присутності вільних радикалів [21].

За впливу ЕМВ РЧ діапазону зафіксовано негативну кореляцію між активністю АТФази та вмістом первинних ($r=-0,89$; $P<0,01$) і вторинних продуктів ліпопероксидації ($r=-0,79$; $P<0,05$) на стадії 2 бластомерів. Відмічена негативна кореляція між активністю ГПО і КТ ($r=-0,68$; $P<0,05$), КТ і Na^+ , K^+ -АТФазою ($r=-0,89$; $P<0,01$). Між активністю Na^+ , K^+ -АТФази і СОД виявлено середньої тісноти позитивний кореляційний зв'язок ($r=0,69$; $P<0,05$). На цьому етапі розвитку зародків коефіцієнт кореляції між вмістом ГП та каталазою активністю становить $0,72$ ($P<0,05$).

На стадії 16 бластомерів спостерігається тісна позитивна кореляція між активністю КТ і Na^+ , K^+ -АТФази ($r=0,98$; $P<0,001$), і негативна кореляція між ГПО та Na^+ , K^+ -АТФазною активностями ($r=-0,91$; $P<0,01$). Проте коефіцієнт кореляції між активністю СОД і Na^+ , K^+ -АТФази становить $-0,49$. Вміст ГП та вміст МДА позитивно корелює між собою ($r=0,95$; $P<0,001$). Зростання процесів ліпопероксидації слабо корелюють з активністю Na^+ , K^+ -АТФази. Між вмістом ГП і активністю СОД наявний сильний негативний кореляційний зв'язок ($r=-0,96$; $P<0,001$). Зафіксовано тісну кореляцію між вмістом МДА й активністю СОД ($r=-0,99$; $P<0,001$). У нормі зростання вмісту первинних і вторинних продуктів ліпопероксидації позитивно корелює із підвищеною активністю ГПО ($r=0,89$; $P<0,01$), тоді як за впливу ЕМВ РЧ діапазону спостерігається негативний слабкий кореляційний зв'язок. Зниження глутатіонпероксидазної та каталазоної активності за впливу мікрохвильового опромінення зафіксовано на фоні підвищення супероксиддисмутазної активності [17]. З'ясовано, що на цьому етапі розвитку коефіцієнт кореляції між ГПО та каталазою активністю становить $0,96$; $P<0,001$. Існує середньої тісноти позитивний зв'язок між активністю СОД і ГПО ($r=0,54$).

Отже, виявлено порушення кореляційних зв'язків між активністю досліджуваних ферментів. Це свідчить про дисбаланс у функціонуванні ключових ферментів АОС за впливу мікрохвильового випромінювання. Зміни у функціонуванні антиоксидантних ферментів, з огляду на посилене утворення активних форм кисню, за впливу опромінення є наслідком порушеного регулювання метаболізму та формування відповіді на дію пошкоджувальних чинників.

З літературних джерел відомий факт взаємозв'язку активного транспорту катіонів з

внутрішньоклітинними процесами, зокрема біоенергетичними та ПОЛ [6, 7]. Зростання процесів ліпопероксидації у зародків в'юна, про що свідчить зростання вмісту ГП та МДА, може призводити до структурно-функціональних змін плазматичних мембран, що згідно з даними літератури спричинює порушення у функціонуванні Na^+ , K^+ -помпи [21, 25]. Підтвердженням цього є наявність сильного негативного кореляційного зв'язку між активністю АТФази і вмістом первинних продуктів ліпопероксидації ($r=0,81$; $P<0,05$) на стадіях розвитку 64 і 256 бластомерів. На стадії 64 бластомерів зафіксовано сильний кореляційний зв'язок між вмістом МДА й активністю Na^+ , K^+ -АТФази ($r=-0,89$; $P<0,01$). Однак на стадії 256 бластомерів зв'язок між даними показниками середньої тісноти.

Між вмістом первинних і вторинних продуктів ПОЛ на стадії 64 бластомерів зафіксовано тісну кореляцію ($r=0,81$; $P<0,05$). Відзначено сильний позитивний кореляційний зв'язок між активністю Na^+ , K^+ -АТФази та КТ ($r=0,94$; $P<0,001$) на даному етапі розвитку за впливу мікрохвильового випромінювання, тоді як у нормі спостерігається сильний негативний кореляційний зв'язок. Між активністю АТФази і СОД виявлено сильної тісноти негативний кореляційний зв'язок ($r=-0,82$; $P<0,05$). Зростання вмісту МДА позитивно корелює із підвищеною активністю ГПО ($r=0,74$; $P<0,05$). Встановлено сильний кореляційний зв'язок між активностями КТ, ГПО та вмістом ГП. За впливу мікрохвильового випромінювання порушується позитивний кореляційний зв'язок між активністю СОД та КТ і становить $-0,83$ ($P<0,05$).

На стадії 256 бластомерів вміст первинних продуктів ПОЛ – ГП корелює з активністю КТ ($r=-0,73$; $P<0,05$), ГПО ($r=0,34$) та СОД ($r=0,42$), тоді як у нормі спостерігаються сильні позитивні зв'язки ($r=0,87$; $P<0,01$). Крім того, вміст ГП та МДА позитивно корелює між собою ($r=0,8$; $P<0,05$). Зростання активності СОД негативно корелює зі зниженою активністю ГПО ($r=-0,68$; $P<0,05$). Встановлено сильної тісноти кореляційний зв'язок між активностями Na^+ , K^+ -АТФази та ГПО ($r=-0,99$; $P<0,001$).

На останній із досліджуваних стадій розвитку зародків між вмістом як первинних, так і вторинних продуктів ПОЛ та активністю Na^+ , K^+ -АТФази існує слабкий негативний кореляційний зв'язок. Знижена активність Na^+ , K^+ -АТФази позитивно корелює зі зниженою активністю ГПО ($r=0,97$; $P<0,001$). Зростання вмісту ГП позитивно корелює із МДА ($r=0,98$; $P<0,001$). Виявлено позитивну кореляцію між вмістом ГП і активністю КТ ($r=0,984$ $P<0,001$) та МДА і КТ ($r=0,92$; $P<0,01$). Між вмістом ГП та супероксиддисмутазою активністю наявний сильний позитивний кореляційний зв'язок ($r=0,95$; $P<0,001$). Подібною сили зв'язок зафіксовано і між вмістом МДА і активністю СОД ($r=0,87$; $P<0,01$). Встановлено досить сильну і позитивну кореляцію між активністю СОД і КТ ($r=0,99$; $P<0,001$), що, мабуть,

пояснюється тим, що синергістом СОД у клітині є КТ, яка перешкоджає накопиченню продукту супероксиддисмутазної реакції – пероксиду водню, що є інгібітором СОД.

ЕМВ спричиняє порушення прооксидантно-антиоксидантного гомеостазу і транспортних процесів, на що вказує зміна тісноти кореляційних взаємозв'язків, зокрема між вмістом первинних і вторинних продуктів ПОЛ, активністю ферментів АОС та Na^+ , K^+ -АТФази. За нормальних умов спостерігається негативний кореляційний зв'язок ($r=-0,62$) [12], який вказує на зниження активності Na^+ , K^+ -АТФази при інтенсифікації процесів ліпопероксидації у мембранах клітини. Також виявлено порушення кореляційних зв'язків між активністю ферментів АОС і активністю Na^+ , K^+ -АТФази.

Різний тип кореляції між активністю антиоксидантних ферментів за впливу мікрохвильового випромінювання на різних етапах розвитку відображає зміну їхньої чутливості до дії досліджуваних чинників.

Отже, за допомогою кореляційного аналізу показано взаємозалежність між процесами ліпопероксидації, активністю ферментів АОС та Na^+ , K^+ -АТФази. Також відмічено порушення взаємозв'язків між супероксиддисмутазою, каталазою та глутатіонпероксидазою активностями за впливу мікрохвильового випромінювання.

Використання кореляційного аналізу дає підставу вважати, що вплив ЕМВ РЧ діапазону на зародки в'юна реалізується на мембранному рівні: призводить до інтенсифікації процесів ліпопероксидації, інгібування активності Na^+ , K^+ -АТФази та зумовлює зміни в активності ферментів АОС.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ганєєв А. Б., Чемерис Н. К. Действие непрерывного и модулированного ЭМИ КВЧ на клетки животных: Обзор. Ч. 1. Особенности и основные гипотезы о механизмах биологического действия ЭМИ КВЧ // Вестн. новых мед. технологий. 1999. Т. 6. № 1. С. 15–22.
2. Гойда Е. А. Биофизические аспекты раннего онтогенеза животных. К.: Наук. думка, 1993. 224 с.
3. Григорьев О. А., Бичелдей Е. П., Меркулов А. В. Воздействие антропогенного электромагнитного поля на состояние и функционирование природных экосистем // Радиационная биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43. № 5. С. 544–551.
4. Григорьев Ю. Т. Влияние электромагнитного поля сотового телефона на куриные эмбрионы // Радиационная биология. Радиоэкология. 2003. Т. 43. № 5. С. 541–543.
5. Гумецький Р. Я., Паляниця Б. М., Чабан М. Е. Математичні методи в біології: теоретичні відомості, програмований практикум, комп'ютерні тести. Л.: Вид. центр

- ЛНУ ім. І. Франка, 2004. 111 с.
6. Древаль В. И. Изменение липидного компонента плазматических мембран тимоцитов при воздействии ионизирующего излучения // Радиобиология. 1993. Т. 33. № 1. С. 45–48.
 7. Древаль В. И., Финашин А. В. Влияние перекисного окисления липидов плазматических мембран на активность Ca^{2+} -АТФазы // Биофизика. 1991. Т. 36. № 5. С. 799–801.
 8. Мельчиков А. С., Мельчикова Н. М. Изменение гомеостаза при действии экстремальных факторов электромагнитной природы (экспериментальное исследование) // Успехи соврем. естествознания. 2004. № 3. С. 19.
 9. Нейфах А. А., Тимофеева М. Я. Проблемы регуляции в молекулярной биологии развития. М.: Наука, 1978. 336 с.
 10. Пряхин Е. А., Аклеев А. В. Влияние неионизирующих электромагнитных излучений на животных и человека: монография. Челябинск: Полиграф–Мастер, 2006. 220 с.
 11. Санагурський Д. І. Об'єкти біофізики: монографія. Львів: Вид. центр ЛНУ ім. І. Франка, 2008. 522 с.
 12. Семочко О. М. Функціонування Na^+ , K^+ -помпи та процеси ліпопероксидації у зародках в'юна за умов електромагнітного випромінювання: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 03.00.02. Львів, 2012. 20 с.
 13. Якименко И. Л., Хеншель Д., Сидорик Е. П. и др. Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на соматогенез птицы // Доп. НАН України. 2011. № 1. С. 146–152.
 14. Яремчук М. М., Дика М. В., Санагурський Д. І. Вміст гідропероксидів ліпідів зародків в'юна за впливу мікрохвильового випромінювання // Современные направления теоретических и прикладных исследований: сб. науч. трудов SWorld. (Одеса, 2014). Т. 35. С. 7–11.
 15. Яремчук М. М., Дика М. В., Санагурський Д. І. Процеси ліпопероксидації зародків в'юна за впливу мікрохвильового випромінювання // Вісн. Львів. ун-ту. Сер. біол. 2014. Т. 64. С. 82–89.
 16. Яремчук М. М., Мандзинець С. М., Дика М. В. та ін. Зміна ферментативної активності Na^+ , K^+ -АТФази зародків в'юна за впливу мікрохвильового випромінювання // Вісн. Харків. ун-ту. Сер. Біофіз. вісник. 2013. Т. 30. № 2. С. 95–101.
 17. Яремчук М. М., Семочко О. М., Санагурський Д. І. Активність ензимів антиоксидантного захисту зародків в'юна за впливу мікрохвильового випромінювання // Актуальні проблеми біохімії та біотехнології – 2014: наук. конф. мол. вчених. К., 2014. С. 14.

18. Agarwal A., Desai N. R., Makker K. et al. Effects of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an *in vitro* pilot study // Fertil. Steril. 2008. Vol. 92. № 4. P. 1318-1325.
19. Batellier F., Couty I., Picard D. et al. Effects of exposing chicken eggs to a cell phone in “call” position over the entire incubation period // Theriogenology. 2008. Vol. 69. N 6. P. 737–745.
20. Ingole I. V., Ghosh S. K. Exposure to radio frequency radiation emitted by cell phone and mortality in chick embryos (*Gallus Domesticus*) // Biomed. Res. 2006. Vol. 17. N 3. P. 205–210.
21. Mense M., Stark G., Apell H-J. Effects of free radicals on partial reactions of the Na, K-ATPase // J. Membr. Biol. 1997. Vol. 156. P. 63–71.
22. Panagopoulos D. J. Effect of microwave exposure on the ovarian development of *Drosophila melanogaster* // Cell Biochem. Biophys. 2012. Vol. 63. P. 121–132.
23. Valkoa M., Leibfritz D., Moncola J. et al. Free radicals and antioxidants in normal physiological functions and human disease // Int. J. Biochem. Cell Biol. 2007. Vol. 39. P. 44–84.
24. Xenos Th. D., Magras I. N. Low power density RF-radiation effects on experimental animal embryos and fetuses // Biological effects of electromagnetic radiation. 2003. P. 579–602.
25. Xie Z., Jack-Hays M., Periyasamy S. et al. Different oxidant sensitivities of the $\alpha 1$ and $\alpha 2$ isoforms of Na^+/K^+ -ATPase expressed in baculovirus-infected insect cells // Biochem. Biophys. Res. Commun. 1995. Vol. 207. P. 155–159.
26. Zareen N., Khan M. Y., Ali Minhas L. Derangement of chick embryo retinal differentiation caused by radiofrequency electromagnetic fields // Congenit. Anom. 2009. Vol. 49. N 1. P. 15–19.

Стаття: надійшла до редакції 03.06.14

доопрацьована 23.09.14

прийнята до друку 24.09.14

**RELATIONSHIP BETWEEN FREE RADICAL PROCESSES, ANTIOXIDANT SYSTEM
AND Na^+ , K^+ -PUMP ACTIVITY OF LOACH EMBRYOS UNDER THE ACTION OF
MICROWAVE RADIATION****M. Yaremchuk, M. Dyka, O. Semochko, D. Sanagurskyi***Ivan Franko National University of Lviv**4, Hrushevskiy St., Lviv 79005, Ukraine**e-mail: m.yaremchuk@i.ua*

In order to establish relationship between the intensity of lipid peroxidation processes, enzymatic antioxidant defense system activity, Na^+ , K^+ -ATPase activity in control and under the effect of microwave radiation, correlation analysis has been performed. It has been shown that electromagnetic radiation leads to disruption of correlation between the content of lipid peroxidation products, superoxide dismutase, catalase, glutathione peroxidase and Na^+ , K^+ -ATPase activity.

Keywords: microwave radiation, correlation, loach embryos.

**ВЗАИМОСВЯЗЬ СВОБОДНОРАДИКАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ,
АНТИОКСИДАНТНОЙ СИСТЕМЫ, АКТИВНОСТИ Na^+ , K^+ -ПОМПЫ ЗАРОДЫШЕЙ
ВЬЮНА ПОД ВЛИЯНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ****М. Яремчук, М. Дика, Е. Семочко, Д. Санагурский***Львовский национальный университет имени Ивана Франко**ул. Грушевского, 4, Львов 79005, Украина**e-mail: m.yaremchuk@i.ua*

Проведен корреляционный анализ для установления взаимосвязи между интенсивностью процессов липопероксидации, активностью ферментов антиоксидантной системы и Na^+ , K^+ -АТФазы в контроле и под влиянием микроволнового излучения. Показано, что электромагнитное излучение приводит к нарушению корреляционных связей между содержанием продуктов пероксидного окисления липидов, активностью супероксиддисмутазы, каталазы, глутатионпероксидазы и Na^+ , K^+ -помпы.

Ключевые слова: микроволновое излучение, корреляционные связи, зародыши вьюна.