

**ЗМІНА МЕМБРАННОГО ПОТЕНЦІАЛУ НЕРВОВИХ КЛІТИН
ІЗОЛЬОВАНИХ ГАНГЛІЇВ МОЛЮСКІВ *PLANORBIS CORNEUS*
ПІД ВПЛИВОМ НВЧ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ**

В. І. Мирутенко, П. Г. Богач

Кафедра біофізики Київського університету

Використання енергії надвисокочастотного (НВЧ) електромагнітного поля в багатьох галузях народного господарства, науки і техніки створює умови, коли людина все частіше може опромінюватися цією енергією. Все це ставить невідкладне завдання дослідження первинних механізмів взаємодії цього виду енергії з живим об'єктом на будь-якому рівні організації живої матерії.

В науковій літературі є велика кількість публікацій з цієї проблеми, які в певній мірі стосуються механізмів біологічної дії НВЧ поля на живі об'єкти [2, 7, 12 та ін.], проте механізми взаємодії з живими об'єктами не можна вважати з'ясованими. Беручи до уваги електричну (іонну) природу мембранного потенціалу (МП) і електромагнітну природу НВЧ випромінювань, слід припустити, що вони мають між собою взаємодіяти. В зв'язку з цим було поставлено завдання вивчити вплив енергії НВЧ електромагнітного поля міліметрового діапазону на МП нервових клітин, що дозволить певною мірою проникнути в механізм поглинання і взаємодії цього виду енергії з живою речовиною на клітинному і субклітинному рівнях. Така постановка дослідів науково важлива ще й тому, що квант енергії міліметрового діапазону становить значну величину (10^{-3} еВ) і може приводити до порушень зв'язків і зміни структури білкових молекул [3], енергія мікрохвиль може детектуватися мембранами клітин [15], що може спричинити зміни в структурах клітин і, в першу чергу, їх мембран.

З'ясування механізмів дії НВЧ поля на мембрану і клітину в цілому дозволить розкрити деякі механізми його дії на організм.

Методика досліджень

Об'єктом дослідження були нервові клітини ізольованих гангліїв моллюска *Planorbis corneus*. Нейрони моллюсків, дякуючи значним розмірам (100 мк і більше) і поверхневому розташуванню в гангліях, дають можливість успішно застосувати мікроелектродну техніку для вивчення електрофізіологічних властивостей мембран нервових клітин [1].

Відпрепарований кільцеподібний нервовий вузол моллюска вміщували в спеціальну камеру з проточним розчином для моллюсків [5]. Під час опромінення НВЧ полем ганглії виймали з камери і переносили на змочену цим же розчином ебонітову підставку.

Для відведення МП користувались скляними мікроелектродами з діаметром кінчика від 1,0 до 0,5 мк. Підбір мікроелектродів, заповнених 2,5 М розчином КСІ, проводили за опором, величина якого становила від 10 до 40 Мом. Виготовлення і підготовку мікроелектродів до роботи здійснювали за загальноприйнятою методикою [4].

Реєстрацію МП здійснювали з допомогою підсилювача типу УБП-01 на екрані осцилографа типу ВЕКС.

Джерелом мікрохвильової енергії був клістронний генератор типу ГЗ-30Б, який працював в області частот 37500 МГц, що відповідає довжині хвилі 8 мм. Генератор працював у режимі пилоподібної модуляції з постійною вихідною потужністю, що дорівнювала 1 мВт. До об'єкта енергія підводилась з допомогою хвильоводу, узгодження хвильового опору якого з опором навантаження (нервові клітини) здійснювалось шляхом вимірювання відбитої від об'єкта енергії. Тривалість опромінення в наших дослідках становила 5, 10, 15 і 20 хв. Результати дослідів обробляли статистичним методом.

Результати досліджень

Результати дослідів показали, що середня величина МП нервових клітин ізольованих гангліїв моллюсків перебувала в межах $34,6 \pm 2,5$ мВ. Крім того, на 24 ізольованих препаратах спостерігались зміни МП на протязі 50 год після препарування. Через 6 год

після препарування з імітацією умов опромінення МП зменшувався з $34,6 \pm 0,8$ до $30,8 \pm 1,4$ мВ. Далі він зменшувався ще більше, а через 18 год трохи збільшувався порівняно з його величиною після 6 год, а потім закономірно зменшувався і через 50 год становив 48–46% початкової величини. В зв'язку з цим у наших дослідах була прийнята шестигодина тривалість дослідження МП після препарування (рис. 1).

Вплив енергії мікрохвиль міліметрового діапазону тривалістю 5 хв викликав зниження МП на 17–19% порівняно з вихідним рівнем. Проте величина МП після опромінення на протязі 2 год проявляла чітку тенденцію до відновлення, а потім знову зменшувалась (рис. 2, крива 2).

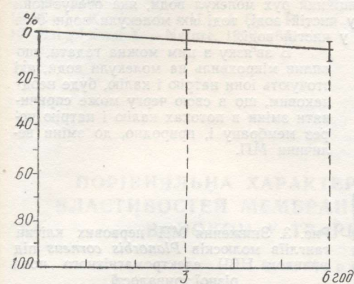


Рис. 1. Зниження МП нервових клітин гангліїв молюсків *Planorbis corneus* при перебуванні їх у нормальному розчині Кребса на протязі 6 год з імітацією умов опромінення.

По вертикалі — % зниження МП, по горизонталі — тривалість спостереження в год.

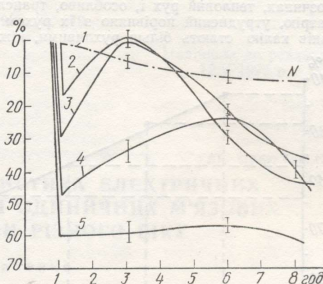


Рис. 2. Зниження МП нервових клітин гангліїв молюсків *Planorbis corneus* під впливом енергії НВЧ електромагнітного поля різної тривалості опромінення.

По вертикалі — % зниження МП, по горизонталі — тривалість спостереження в год після препарування. 1 — норма, 2, 3, 4, 5 — відповідно тривалість опромінення 5, 10, 15 і 20 хв.

10 хв опромінення нервових клітин ізолюваних гангліїв мікрохвилями знижує МП наприкінці опромінення на 29–30% порівняно з вихідною величиною. Через 2 год після опромінення величина МП відновлювалась до вихідного, потім знижувалась і на 5 год після опромінення досягала $27,9 \pm 0,5$ мВ (рис. 2, крива 3).

При 15 хв опроміненні мікрохвилями гангліїв молюсків МП зразу ж після опромінення НВЧ полем знижувався до $15,3 \pm 0,9$ мВ порівняно з $30,9 \pm 1,1$ мВ у нормі, тобто на 47–49% (рис. 2, крива 4). Через 2 год після опромінення МП хоч і підвищувався, проте не досягав ($19,8 \pm 0,8$ мВ) вихідної величини. Характерно, що МП зростає на протязі 5 год після опромінення, але і через 5 год не досягає вихідних показників на 23–24%. Через 7 год після опромінення МП становив $18,4 \pm 1,2$ мВ, або приблизно 65% вихідної величини.

20 хв опромінення нервових клітин ізолюваних гангліїв енергією НВЧ електромагнітного поля (рис. 2, крива 5) приводило до зниження МП зразу ж після опромінення на 59–60% порівняно з вихідною величиною. Потім МП трохи зростає, проте характерним для цієї серії дослідів було те, що ні на другій, ні на 5 год після опромінення істотного відновлення величини МП не спостерігалось. На протязі 6 год величина МП залишалась майже на постійному низькому рівні і лише на 7 год після опромінення МП починав знижуватися.

Обговорення результатів досліджень

Біологічні ефекти НВЧ електромагнітного поля залежать від тих первинних фізико-хімічних змін, які обумовлюються механізмами взаємодії квантів енергії НВЧ поля з живими об'єктами, що приводять до її поглинання.

Під впливом змінного електромагнітного поля надвисокої частоти в живих об'єктах можуть відбуватись, в основному, два таких процеси: 1) коливання вільних зарядів, 2) повороти дипольних молекул середовища у відповідності з частотою поля.

Чим коротша довжина хвилі, тим більша кількість енергії поглинається за рахунок діелектричних втрат [8, 16]. При взаємодії мікрохвиль з біологічними об'єктами необхідно враховувати те, що в цьому процесі велику роль відіграють мембрани клітин, на поверхні яких певним чином зорієнтовані шари гідратованих макромолекул. Бар-

бер [14] розглядає можливість поглинання енергії мікрохвиль живою тканиною, завдяки внутрімолекулярним процесам у білкових молекулах, шляхом повертання внутрімолекулярних структур відносно С—С зв'язків.

Шнолем [13] було показано, що при впливі мікрохвиль можуть також виникати зміни гідрофільно-гідрофобних властивостей поверхні білкових молекул, які можуть викликати відповідну перебудову молекул води. Крім того, при конформаційних коливаннях білкових молекул на їх поверхні може відбуватись зміщення електричних зарядів, які при певній частоті мікрохвиль можуть взаємодіяти з ними.

Згідно сучасним уявленням про гідратацію іонів натрію і калію у водних розчинах, тепловий рух і, особливо, трансляційний рух молекул води, яка оточує іони натрію, утруднений порівняно з їх рухом у чистій воді, тоді як молекули води біля іонів калію стають більш рухливими, ніж у чистій воді.

В зв'язку з цим можна гадати, що вплив мікрохвиль на молекули води, які оточують іони натрію і калію, буде неоднаковим, що в свою чергу може спричинити зміни в потоках калію і натрію через мембрану і, природно, до зміни величини МП.

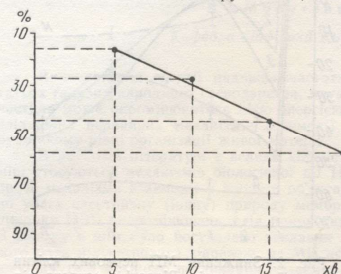


Рис. 3. Зниження МП нервових клітин гангліїв молюсків *Planorbis corneus* під впливом НВЧ електромагнітного поля різної тривалості.

По вертикалі — % зниження МП, по горизонталі — тривалість опромінення в хв.

Результати наших досліджень свідчать, що НВЧ поле призводить до зниження МП. Цілком можливо, що воно визначається дією НВЧ поля на іонну проникність мембрани і роботу натрій-калієвого насоса. Зміни проникності мембрани в першу чергу до іонів натрію і калію можуть зумовлюватись дією поля на зв'язані молекули води і конформаційні стани білкових молекул, що менш ймовірно.

Після 10—15 хв дії НВЧ поля міліметрового діапазону зниження МП поступово прогресує з часом. При дії поля протягом 20 хв тенденція до відновлення МП не проявляється і зниження МП прогресує ще в більшій мірі. Це свідчить про те, що дія НВЧ поля призводить до порушень проникності мембрани і механізмів активного транспорту [6]. Причиною цього можуть бути утворені під час дії НВЧ поля вільні радикали.

Зміни, які відзначаються в нервових гангліях при дії НВЧ поля, залежать від кількості поглиненої енергії мікрохвиль (рис. 3). При 20 хв опромінення гангліїв настають стійкі незворотні зміни на мембрані нервових клітин, і мембранний потенціал залишається низьким на протязі всього часу спостереження (рис. 2, крива 5).

Висновки

1. Вплив енергії НВЧ електромагнітного поля довжиною хвилі 8 мм на нервові клітини ізольованих гангліїв молюска знижує величину мембранного потенціалу.
2. Зниження величини МП залежить від кількості поглиненої енергії НВЧ поля.
3. Найбільш ймовірним механізмом впливу НВЧ поля на МП нервових клітин слід вважати вплив поля на іонні потоки і структуру мембрани клітин, що призводить до підвищення їх іонної проникності і пошкодження механізмів активного іонного транспорту, яке призводить до порушення стану іонної асиметрії.

Література

1. Герасимов В. Д., Костюк П. Г., Майський В. А. — Бюл. експер. біол. и мед., 1964, 9, 3.
2. Гордон З. В. — Вопросы гигиены труда и биол. действия электромагнит. полей сверхвысоких частот, М., 1966.
3. Клотц И. — В кн.: Горизонты биохимии, М., «Мир», 1964, 397.
4. Костюк П. Г. — Микроэлектродная техника, К., 1960.
5. Майський В. А., Герасимов В. Д. — Бюл. експер. біол. и мед., 1964, 7, 3.
6. Пирюзян А. А., Аристархов В. М. — Известия АН СССР, сер. биол., 1969, 1, 69.