

14

Влияние излучения крайне высоких частот на выработку серотонина в живом организме

© А.О. Вонти¹, А.В. Ильинский¹, Я.С. Кацнельсон²,
Е.Б. Шадрин^{1,¶}

¹ Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, Санкт-Петербург, Россия

² Premier Annecto Technologies, Doylestown, Pennsylvania, USA

¶ E-mail: shadr.solid@mail.ioffe.ru

Поступило в Редакцию 7 мая 2018 г.

Представлены результаты исследования влияния излучения крайне высоких частот (54 GHz) на выработку условного рефлекса у крыс, подвергнувшихся токовому стрессу в отсутствие и в присутствии электромагнитного излучения. Обсуждаются биофизические процессы механизма такого влияния.

DOI: 10.21883/PJTF.2018.17.46567.17374

В мировой литературе представлено немало экспериментального материала по проблеме влияния электрических и магнитных полей на биологические процессы, протекающие в живом организме [1,2]. Особое место в этой проблеме занимает транскраниальная электромагнитная стимуляция излучением крайне высокой частоты (КВЧ). Данный вид излучения как метод бесконтактной терапии все шире применяется в последние годы в медицинской практике и в связи с этим требует детального изучения способа его воздействия на живые организмы [3]. В настоящей работе кратко обсуждаются экспериментальные данные по влиянию КВЧ-излучения на выработку условного рефлекса (УР) у лабораторных животных (крыс), подвергнувшихся токовому стрессу в отсутствие и в присутствии КВЧ-излучения. Подробно обсуждается механизм такого влияния.

В экспериментах использовались четыре группы половозрелых крыс, в каждой группе было по 11 животных. Первая группа была контрольной: она не подвергалась стрессовому воздействию.

Животные второй группы подвергались токовому стрессорному воздействию в течение 10 min. Фиксировалось число сочетаний условного раздражителя (звук с частотой 50 Hz и громкостью 60 dB) и безусловного подкрепления (подаваемых на лапки животного импульсов тока амплитудой 100 mV и длительностью 8 ms), приводящего к выработке УР, т.е. в процессе экспериментов вырабатывался УР активного избегания болевого раздражения при подаче звукового сигнала. Для животных второй группы УР возникал после шести-семи сочетаний условного и безусловного раздражителей.

Было обнаружено явление химической блокировки процесса выработки УР. Блокировка выработки УР осуществлялась для животных третьей группы с помощью излучения КВЧ. Сначала проводилось КВЧ-облучение кожных покровов черепа животного в течение 10 min непосредственно перед выработкой УР при токовом воздействии на лапки животного. Параметры КВЧ были следующими: частота 54 GHz ($\lambda = 5.6$ mm), плотность мощности излучения 300 mW/cm², площадь облучаемой области головы животного около 2 cm². Поток КВЧ-излучения модулировался низкочастотной последовательностью прямоугольных импульсов частотой 78 Hz с крутизной фронтов не более 1 ms. Для животных третьей группы наблюдалось почти полное подавление процесса выработки УР после КВЧ-излучения в 50% случаев, частичное затормаживание процесса выработки УР после КВЧ-излучения в 25% случаев. Во всех случаях, когда имела место успешная выработка УР (75% животных), УР сохранялся через сутки после его выработки.

Хорошо известно [4], что блокированию выработки УР способствует появление в живом организме серотонина. Блокировать же действие серотонина можно с помощью китрила. Поэтому для животных четвертой группы китрил вводился за 30 min до начала КВЧ-облучения, а затем КВЧ-облучение осуществлялось в течение 10 min, так же как и для животных третьей группы. Результаты превзошли ожидания: действие КВЧ-излучения практически отсутствовало. Другими словами, в 91% случаев какого-либо торможения выработки УР избегания болевого раздражителя не было зафиксировано, причем сохранение УР избегания в течение суток было зафиксировано в 100% случаев. Итак, можно считать доказанным, что процесс блокировки выработки УР КВЧ-излучением обусловлен выработкой серотонина в структурах

мозга, поскольку введение китрила до начала КВЧ-излучения исключает такую блокаду.

Таким образом, воздействие КВЧ-излучения небольшой мощности (300 mW/cm^2 в течение 10 min) на здоровое животное погружает его в состояние обездвиженности, при этом снижаются реакции на внешние раздражители, частота дыхания и пульс. Кроме того, животное, подвергшееся облучению, теряет способность к выработке УР защиты от токового стрессорного воздействия. С другой стороны, с помощью наших специальных экспериментов показано, что излучение не проникает непосредственно сквозь кости черепа. Оно не способно непосредственно влиять на процессы, протекающие в мозге животного.

Возникшее противоречие исключает множество механизмов прямого (непосредственного) воздействия КВЧ-излучения на структуры мозга. Тем не менее опыт показывает, что микроволновое излучение оказывает сильное воздействие на поведение животного. Другими словами, информация о воздействии КВЧ-излучения на кожные покровы головы животного эффективно переносится в мозг, что надежно фиксируется по изменению поведения животного.

Стрессорные воздействия на организм животных в обычных условиях приводит к установлению новых связей в нейронной сети коры головного мозга. Эти связи ответственны за выработку УР и дальнейшее поведение животного. Механизм воздействия КВЧ-излучения на поведение животного, по нашему мнению, заключается, как указывалось, в выработке серотонина при КВЧ-облучении наружных кожных покровов головы животного. В случае блокады серотонинергических рецепторов с помощью китрила КВЧ-излучение уже не оказывает никакого действия, поэтому вопрос о выработке серотонина с помощью КВЧ-излучения экспериментально обоснован. Проблема, однако, заключается в том, что само электромагнитное излучение в мозг животного не проникает ввиду того, что оно полностью поглощается костями черепа. Кроме того, энергия кванта излучения КВЧ весьма мала (0.2 meV) по сравнению с энергией тепловых флуктуаций ($kT = 30 \text{ meV}$) и, казалось бы, не в состоянии оказать заметное действие на выработку серотонина в мозге. Тем не менее такое сильное влияние обнаружено. Для разрешения этого парадокса мы предлагаем принять во внимание возможность опосредованного воздействия КВЧ-излучения на мозг животного. Для этого могут быть привлечены

резонансные методы воздействия электромагнитного излучения на цереброспинальную жидкость—ликвор — в кожных покровах головы животного с последующим переносом продуктов воздействия в мозг животного.

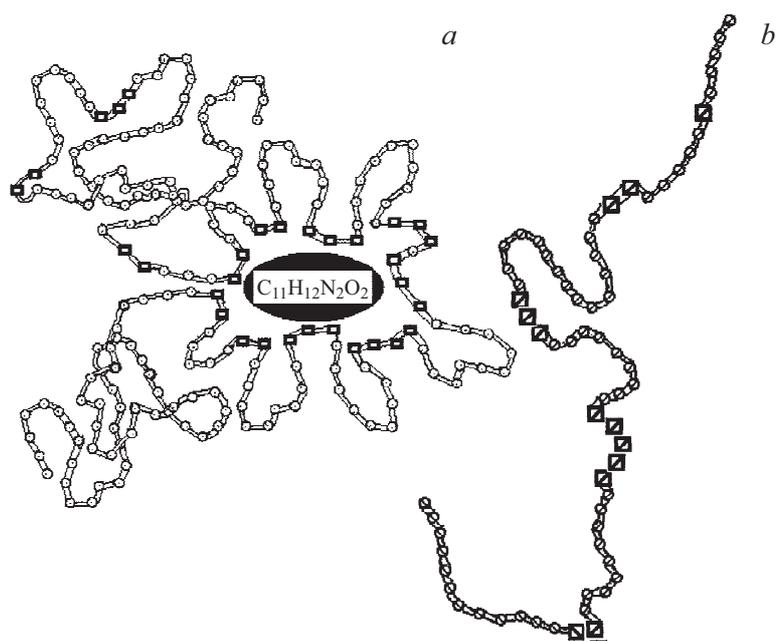
Хорошо известно [5], что серотонин ($C_{10}H_{12}N_2O$) вырабатывается нервными клетками и надпочечниками из аминокислоты — триптофана ($C_{11}H_{12}N_2O_2$). В природе триптофан синтезируют микроорганизмы, растения и грибы. Животные не способны синтезировать триптофан. Для животных триптофан является незаменимой аминокислотой и должен поступать в организм в достаточном количестве с белками пищи. В живом организме триптофан образует ван-дер-ваальсовы связи с альбумином, который циркулирует, в частности, в пространстве Вирхова—Робина вокруг кровеносных сосудов кожных покровов [5]. Триптофан вместе с молекулами альбумина проникает в нервную ткань и надпочечники, проходя по пространству Вирхова вдоль кровяного русла [5], в том числе и в головной мозг животного, где и вырабатывается серотонин. Таким образом, в области кожного покрова черепа серотонин отсутствует, а триптофан присутствует, будучи адгезированным к альбуминовой глобуле.

Триптофан присоединен к альбуминовой глобуле нехимическими ван-дер-ваальсовыми связями (см. рисунок) с энергией от 0.5 до 100 meV [6], притом что тепловая энергия имеет величину $kT = 30 \text{ meV}$. Следует подчеркнуть, что, несмотря на малость энергии связи, разрыва ван-дер-ваальсовых связей тепловыми флуктуациями не происходит [6]. В то же время энергия КВЧ-кванта, несмотря на то что она равна 0.2 meV, достаточна для того, чтобы КВЧ-облучение было способно привести к резонансному (!) разрыву ван-дер-ваальсовых связей и переводу триптофана в свободную форму.

КВЧ-излучение действует на ликвор, находящийся в пространстве Вирхова—Робина. Для доставки продуктов воздействия в мозг необходимо сохранение информации о КВЧ-воздействии на время доставки триптофана в нейронную сеть мозга для последующей генерации в ней серотонина. Роль „блока памяти“ играет при этом, по нашему мнению, сам ликвор.

Рассмотрим подробнее детали протекающих при этом биофизических процессов.

Действие КВЧ-излучения приводит к трехступенчатому конформационному переходу альбуминовой глобулы в новое клубковое состоя-



Необратимое разворачивание в клубок аминокислотной глобулярной цепи белка при фазовом переходе глобула–клубок. *a* — фрагмент альбуминовой глобулы с активным центром, удерживающим молекулу триптофана посредством ван-дер-ваальсовых связей, *b* — фрагмент белковой нити альбуминового клубка после фазового превращения глобулы в клубок с потерей активным центром способности удерживать триптофан.

ние. При этом альбуминовый клубок теряет способность удерживать триптофан. Такой переход экспериментально подтвержден литературными данными по двухэтапному тушению триптофановой флуоресценции сыворотки альбумина при добавлении в белковый раствор додецилсульфата натрия [7]. Результаты эксперимента указывают на трехстадийный характер денатурации: первая стадия состоит в разрушении белковых глобул, вторая — в полном необратимом разворачивании в клубок аминокислотной цепи белка при фазовом переходе глобула–клубок, третья — в необратимом перколяционном

переходе и образовании бесконечного клубкового кластера [8] с потерей способности удержания молекулы триптофана [7,9] (см. рисунок). Итак, согласно предлагаемой модели, последняя третья стадия представляет собой перколяционный фазовый переход с образованием бесконечного кластера из клубков альбумина, заключенного в гидратные оболочки [8]. Такой фазовый переход необратим [9]. Ликвор в такой стадии играет роль „элемента памяти“ и переносит теперь уже „свободный“ триптофан под кости черепа, насыщает нейронную сеть мозга, где и вырабатывается большая дополнительная доза серотонина. В конечном счете это происходит благодаря КВЧ-облучению [10,11].

Резюмируя, следует отметить, что, согласно предлагаемой модели, КВЧ-облучение кожных покровов головы животного вызывает фазовый переход глобула–клубок в альбуминовых глобулах, находящихся в пространстве Вирхова–Робина, с последующим образованием бесконечного перколяционного кластера. При этом молекула триптофана становится свободной и с потоком альбумина проникает под кость черепа в нейронную сеть мозга животного. В нейронной сети мозга существенно усиливается выработка серотонина, и животное благодаря его воздействию теряет способность к выработке УР.

Список литературы

- [1] *Илларионов В.Е.* Магнитотерапия. М: ЛИ-БРОКОМ, 2009. 136 с.
- [2] *Гудков А.Б., Карпин В.А., Кострюкова Н.К., Ловкина Е.С.* Биологические эффекты сверхслабого магнитного поля. М: Экология человека, 2004. 592 с.
- [3] *Самойлов В.О., Шадрин Е.Б., Филиппова Е.Б., Кацнельсон Я.С., Бэкхов Х., Эвентов М.* // Биофизика. 2015. Т. 60. В. 2. С. 377–384.
- [4] *Физиология человека* / Под ред. В.М. Покровского, Г.Ф. Коротько. М.: Медицина, 1997. Т. 2. 368 с.
- [5] *Brinker T., Stopa E., Morrison J., Klinge P.* // Fluids Barriers CNS 2014. V. 11. P. 10. DOI: 10.1186/2045-8118-11-10
- [6] *Давыдов А.С.* Биология и квантовая механика. Киев: Наук. думка, 1979. 296 с.
- [7] *Bito R., Shikano T., Kawabata H.* // Biochim. Biophys. Acta. 2003. V. 1646. P. 100–111.
- [8] *Вонти А.О., Ильинский А.В., Капралова В.М., Шадрин Е.Б.* // ЖТФ. 2018. Т. 88. В. 6. С. 934–942.

- [9] *Dobretsov G.E., Kurek N.K., Syrejshchikova T.I., Yakimenko M.N., Clarke D.T., Jones G.R., Munro I.H.* // Nucl. Instrum. Phys. Res. A. 2000. V. 448. P. 471–477.
- [10] *Young S.N.* // J. Psychiatry Neurosci. 2007. V. 32. N 6. P. 394-9.
- [11] *Isbister G.K., Bowe S.J., Dawson A., Whyte I.M.* // J. Toxicol. Clin. Toxicol. V. 42. N 3. P. 277–285. DOI: 10.1081/CLT-120037428