

УДК 612:615.849.11

**СОВРЕМЕННЫЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О МЕХАНИЗМАХ
ФИЗИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ МИЛЛИМЕТРОВЫХ ВОЛН
(ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)**

Темурьянц Н.А., Туманянц К.Н., Туманянц Е.Н.

*Таврический национальный университет им. В.И. Вернадського, Симферополь, Украина
E-mail: timur328@gmail.com*

В механизмах физиологического действия низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты важную роль играет мелатонин как экрапинеального, так и пинеального происхождения.

Ключевые слова: электромагнитное излучение, крайне высокая частота, мелатонин.

В настоящее время низкоинтенсивное электромагнитное излучение (ЭМИ) крайне высокой частоты (КВЧ) широко применяется в терапевтических целях, благодаря его выраженному противовоспалительному, гипоаллергическому, антистрессорному, иммуностимулирующему и т.д. действиям.

Однако механизмы развития таких системных реакций остаются не изученными и недостаточно понятными. Особенно затрудняет их понимание то, что это излучение, поглощаясь в коже, вызывает изменения различных физиологических систем. В настоящее время накоплены сведения, позволяющие объяснить эти феномены. Целью данной работы явилось обобщение таких данных [1–4].

Развивающиеся при действии ЭМИ различных параметров, в том числе и КВЧ, многочисленные эффекты могут быть объяснены с позиций мелатониновой теории действия электромагнитных факторов. Согласно этой теории электромагнитные факторы изменяют секрецию мелатонин (МТ) из эпифиза, сдвигают акрофазу его секреции [5]. Так как этот гормон обладает разносторонним физиологическим действием, все эффекты, вызываемые действием ЭМИ, могут быть объяснены изменением его концентрации в крови.

Первые данные о чувствительности эпифиза к переменному магнитному полю (ПеМП) были получены Р. Semm et. al. (1990) [6], которые с помощью микроэлектродной техники обнаружили угнетение электрической активности пинеалцитов под влиянием ПеМП. В дальнейшем роль эпифиза в реакциях на ПеМП изучалась по изменению содержания основного гормона железы – МТ в сыворотке крови или моче [7–9]. Показано, в частности, что изменением содержания МТ в сыворотке и, соответственно, в моче определяются многие эффекты, обусловленные действием ПеМП сверхнизкой частоты (СНЧ) [10]. МТ,

так же как и опиоиды, относится к древнейшим регулирующим системам. Оказалось, что он присутствует даже у примитивных животных: у одноклеточных [11–14], у насекомых – тутового шелкопряда [15], дрозофилы [14, 16], а также моллюсков [17], планарий [18–19].

Причем уровень МТ у многих беспозвоночных, растений и одноклеточных организмов во много раз выше, чем у позвоночных и человека [12].

У человека 80% циркулирующего МТ синтезируется в эпифизе, 20% – в элементах APUD-системы (amine precursor uptake and decarboxylation). Элементы APUD-системы располагаются во всех жизненно важных органах, в том числе в коже, и синтезируют высокоактивные субстанции, включая МТ [20]. МТ синтезируют тучные и иммунокомпетентные клетки, лейкоциты, тромбоциты и др. [20, 21], т.е. именно те клетки, которые рассматриваются в качестве мишеней КВЧ-излучения. Недавно было показано, что желудочно-кишечный тракт птиц и млекопитающих содержит в 400 раз больше МТ, чем эпифиз [22]. Такое широкое распространение МТ отражает его важную роль как межклеточного нейроэндокринного регулятора и координатора многих сложных и взаимосвязанных биологических процессов.

Согласно современным данным, цепь событий, приводящих к ответу организма на воздействие ЭМИ КВЧ на кожу, состоит из четырех главных звеньев: I – инициация, II – передача сигнала в центральную нервную систему (ЦНС), III – модуляция функций ЦНС, IV – системный ответ.

Стадия инициации заключается в рецепции ЭМИ КВЧ.

Проблема первичной рецепции ЭМИ КВЧ на уровне целого организма до сих пор остается нерешенной. Практически все ЭМИ КВЧ поглощаются в кожных покровах на глубине до 1 мм, а максимум удельной поглощаемости в коже локализован на глубине 0,7 мм [23–25]. Поэтому именно элементы кожи рассматриваются в качестве основных мишеней для миллиметровых волн.

Известно, что кожа имеет обильную иннервацию [26, 27], поэтому одной из структур, ответственной за рецепцию ЭМИ КВЧ могут быть концевые ветвления подкожных нервов, т.е. в системный ответ на действие ЭМИ КВЧ вовлекается нервная система [28]. По мнению Н.Н. Лебедевой [29, 30] ЭМИ КВЧ могут воздействовать и на механо- и ноцицепторы.

Показано, что электрорецепторы ската также чувствительны к низкоинтенсивному ЭМИ частотой 37-55 ГГц [31].

Доказательством участия нервной системы в рецепции ЭМИ КВЧ являются результаты экспериментов, в которых максимально выраженное действие ЭМИ КВЧ наблюдалось при его воздействии на обильно иннервируемые области у мышей – нос и лапу, а также данные о меньшей выраженности эффекта у старых животных в связи с уменьшением плотности нервных окончаний, наблюдаемых с возрастом [32].

Л.Д. Енин с соавтор. (1991) [33] обнаружили, что ЭМИ частотой 55,61 и 73 ГГц уменьшают чувствительность кожи крыс к механической стимуляции. S. Alekseev et al. (2010) [34] показали, что ЭМИ частотой 42,25 ГГц изменяет электрическую активность икроножного нерва мыши. Порог интенсивности, при котором

возникает увеличение спонтанной импульсной активности икроножной мышцы – 160 мВт/см².

Были изучены изменения не только электрических характеристик нервных волокон при действии на них ЭМИ КВЧ, но и их способность к регенерации. Так, описано стимулирующее действие ЭМИ КВЧ на рост дендритов сенсорных нейронов и пролиферацию глиальных элементов [35, 36].

Вероятно, что ЭМИ КВЧ воспринимаются тучными клетками. Дегрануляция тучных клеток при действии ЭМИ КВЧ описана во многих исследованиях [23, 24, 37]. По мнению S. Alekseev et. al. (2010) [34], обнаруженные ими изменения электрических характеристик нерва, развивающиеся при действии ЭМИ КВЧ, могут быть следствием действия медиаторов, выделяющихся при дегрануляции тучных клеток, которых всегда много вокруг нервных терминалей [38].

Освобождающиеся при дегрануляции медиаторы, в том числе МТ достигают нервных терминалей и возбуждают их [34, 37, 39]. Роль тучных клеток в механизмах активации нервных окончаний ЭМИ КВЧ у человека показано Gangi, Johansson (2000) [40]. Выделение при дегрануляции гистамина может быть причиной изменения миогенного компонента сосудов микроциркуляции, обнаруженных Н.С. Трибрат (2010, 2011) [41, 42]. Таким образом, выделяющиеся из тучных клеток субстанции могут оказать локальное действие. Кроме того, они могут поступать в кровь, следствием чего может быть и увеличение концентрации МТ в сыворотке крови. Так, Е.Н. Чуян (2004) [43] обнаружено увеличение содержания МТ в крови интактных животных на 36%, а у животных с ограниченной подвижностью на 145%, при воздействии на них ЭМИ КВЧ.

Таким образом, действие МТ, освобождающегося из тучных и других клеток при воздействии ЭМИ КВЧ, может реализоваться двумя путями – через активацию нервных окончаний или через его поступление в кровь. Второй этап передачи сигналов ЦНС также осуществляется двумя путями через циркулирующий МТ, а также по проводящим путям.

Циркулирующий МТ реализует свое действие через рецепторы, которые обнаружены на мембранах клеток практически всех органов и тканей [44], в том числе, и на мембранах нейтрофилов и лимфоцитов крови у человека [45] и различных лабораторных животных [46, 47]. Кроме того, обнаружены ядерные рецепторы к МТ [48, 49].

В последние годы изучено МТ рецепторов распределение в нейронах гипоталамуса и гипофиза человека [50]. Они обнаружены в вазопрессинэргических нейронах супрахиазматического ядра (СХЯ), в окситоцинэргических клетках паравентрикулярного (ПВЯ) и супраоптического ядер (СОЯ), а также в нейронах, синтезирующих кортикотропинрелизинг гормон (КТРФ) в ПВЯ. Кроме того, такие рецепторы М1 были найдены в передней и задней долях гипофиза. Эти данные являются основой для понимания роли МТ в модуляции разнообразных функций гипоталамуса и гипофиза.

Показано, что ЭМИ КВЧ активировать именно те ядра, нейроны которых имеют мелатониновые рецепторы [51].

Авторами проанализирована степень активации нейронов гипоталамуса по экспрессии с-Fos подобных белков, которые являются маркерами активации нейронов различными факторами, в том числе и ЭМИ КВЧ. Если у интактных крыс в структурах гипоталамуса он обнаруживается лишь в единичных нейронах, то после двукратного воздействия ЭМИ КВЧ он стимулирует активность 52% нейронов переднего ядра гипоталамуса (АНН), 56% нейронов ПВЯ, 45,5% нейронов вентромедиального (VMH) и 70,2% дорсомедиального ядер, 97,5% нейронов перифокальной, 60,1% базальной и 4 латеральной (ЛНА) областей и 67,6% клеток в заднего гипоталамуса (РН). Степень активации нейронов зависела от продолжительности воздействия и количества мест облучения.

С-Fos-белок является трансфактором, необходимым для активации индуцибельных генов, в том числе эндорфина [52–54], т.е. активации опиоидной системы. Известно также, что латеральное, вентральное, заднее ядра участвуют в контроле болевой чувствительности [55]. Таким образом, ЭМИ КВЧ активирует структуры мозга, контролирующую болевую чувствительность, стимулирует опиоидную систему, что, по-видимому, является одной из причин обнаруженного многими исследователями [4, 32, 56] гипоалгетического эффекта ЭМИ КВЧ.

Кроме того, с-Fos-белок является трансфактором, необходимым для синтеза интерлейкина-2, КТРФ, ростового фактора нервов [54]. Поэтому возрастание его экспрессии свидетельствует о стимуляции секреции перечисленных субстанций и изменении регулируемых им процессов. В частности, интерлейкин-2 участвует в противовоспалительном действии ЭМИ КВЧ, КТРФ активирует гипоталамо-гипофизарную систему, ответственную за развитие адаптационных процессов и за антистрессорное действие ЭМИ КВЧ, подробно описанное Е.Н. Чужан (2004) [43].

Учитывая данные о способности активированных ЭМИ КВЧ нейронов латерального гипоталамического ядра регулировать активность натуральных киллерных клеток [57], следует говорить о системном иммуномодулирующем действии этого фактора.

Обнаружена также способность ЭМИ КВЧ изменять ритмические процессы, что объяснялось влиянием этого фактора на периферические осцилляторы, которые локализованы, в частности, в коже [4, 58, 59]. В свете данных о способности ЭМИ КВЧ стимулировать ядра гипоталамуса [60] возможно и другое объяснение этого феномена. Действительно, ЭМИ КВЧ увеличивает активность с-Fos-белка в нейронах, что ведет к усилению синтеза в нем ПВЯ передней области гипоталамуса, КТРФ, соматостатина, вазопрессина и др. [61]. Вазопрессин взаимодействует с V_1 вазопрессинным рецептором нейронов СХЯ [62] – одного из центральных пейсмекеров. Известно, что СХЯ, состоящее из тысяч осциллирующих нейронов, имеет обширные связи с эпифизом и другими структурами ЦНС, а также внутренними органами [63].

СХЯ задает циркадный ритм синтеза эпифизарного МТ, посредством регуляции активности норадреналинергических нейронов верхних шейных симпатических ганглиев, отростки которых достигают пинеалоцитов. Синтез МТ инициируется при постсинаптической активации β -адренергических рецепторов [20]. Известно, что до 70% суточной продукции МТ у человека приходится на ночные часы, в то время как

днем накапливается его предшественник – серотонин (СТ) [64, 65]. Подавление дневной секреции МТ эпифизом связано с активностью СХЯ, которая поддерживается светом, воспринимаемым сетчаткой глаза и достигающим ядра через ретиногипоталамический тракт [66]. В настоящее время обнаружена роль эпифиза в организации не только циркадианного, но и инфрадианного ритма [10], а также микроритмов [67]. Доказано, что МТ обеспечивает как согласование собственных биологических ритмов организма между собой, так и коррекции эндогенных ритмов относительно экзогенных [68–70]. Таким образом, изменения временной организации физиологических систем под влиянием ЭМИ КВЧ, вероятно связано с изменением функционального состояния эпифиза.

Структуры гипоталамуса, которые активируются ЭМИ КВЧ, связаны многоканальными афферентными и эфферентными путями с различными структурами ЦНС, при этом следует ожидать и их вовлечение в ответ организма на действие ЭМИ КВЧ.

Следствием этого является изменение функционального состояния различных отделов ЦНС при воздействии ЭМИ КВЧ. Об этом свидетельствуют электроэнцефалографические изменения у здоровых волонтеров после воздействия ЭМИ КВЧ [30], изменение содержания допамина и норадреналина в мозге крыс [71], снижение возбудимости ЦНС у крыс, изменения коэффициентов функциональной асимметрии, прооксидантно/антиоксидантного равновесия в коре головного мозга крыс [43].

Однако показано, что воздействие ЭМИ КВЧ приводит к активации систем правого полушария мозга в большей степени, чем левого [72, 73]. Обращает на себя внимание и доминирование правого полушария в реакции организма на воздействие ЭМИ других диапазонов: ПеМП частотой 8 Гц [59], ультрафиолетового света [74], геомагнитных возмущений [75]. Эти данные могут отражать существование единого механизма в реализации биологических эффектов ЭМИ разных характеристик.

Эти результаты подтверждают гипотезу о том, что действие ЭМИ КВЧ протекает в основном по неспецифическим путям, поскольку это полушарие имеет тесную связь с процессами адаптации, соматовегетативными и иммунными реакциями.

Обнаружено, что ЭМИ КВЧ вызывает более значительные изменения при действии на животных с измененным функциональным состоянием, например крыс с ограниченной подвижностью [72, 76].

Эти данные могут быть объяснены способностью ЭМИ КВЧ нормализовать функциональное состояние регулирующих систем, нарушенного в результате какого-либо воздействия. Так, показано, что электроболевое, а также механическое раздражение [60, 77], гипокинетический стресс [51], увеличивают количество c-Fos положительных клеток в гипоталамусе. Комбинированное действие ЭМИ КВЧ и электроболевого раздражения приводит к значительному снижению числа таких клеток, т.е. КВЧ-облучение кожи нормализует активность нейронов гипоталамуса. Такое же влияние ЭМИ КВЧ обнаружено при гипокинетическом стрессе [51].

О способности ЭМИ КВЧ модифицировать состояние регулирующих систем свидетельствуют и другие данные. Так, обнаружены изменения активности

симпатоадреналовой системы при изолированном и комбинированном с различными стресс-факторами его действию, нормализация проксидантно/антиопиоидантные равновесия в головном мозге крыс при таких воздействиях [43].

Эти результаты также согласуются с представлениями о том, что МТ играет важную роль в развитии адаптационных процессов.

ВЫВОД

Таким образом, ЭМИ КВЧ, также как и ЭМИ, обладающие проникающим действием и непосредственно изменяющие функциональное состояние эпифиза, обладает способностью изменять секрецию МТ, что может лежать в основе его высокой биологической активностью.

Список литературы

1. Девятков Н.Д. Миллиметровые волны и их роль в процессах жизнедеятельности / Девятков Н.Д., Голант М.Б., Бецкий О.В. // М.: Радио и связь, 1991. – 168 с.
2. Применение низкоинтенсивных электромагнитных миллиметровых волн в медицине / Н.Д. Девятков, Ю.Л. Арзуманов, О.В. Бецкий [и др.] // Сб. докл. 10-го Российского симпозиума с международным участием «Миллиметровые волны в биологии и медицине». – М.: ИРЭ РАН. – 1995. – С. 6–8.
3. Физиологические механизмы биологических эффектов низкоинтенсивного ЭМИ КВЧ / [Чуян Е.Н., Темуриянц Н.А., Московчук О.Б. и др.] – Симферополь: ЧП «Эльиньо», 2003. – 448 с.
4. Чуян Е.Н. Механизмы антиноцицептивного действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения / Е.Н. Чуян, Э.Р. Джелдубаева // Монография, Симферополь: «ДИАЙПИ», 2006. – 508 с.
5. Aschoff J. Circadian systems / J. Aschoff // Pflugers Arch. – 1985. – Vol. 403. – P. 1.
6. Semm P. Responses to small magnetic variations by the trigeminal system of the bobolink / P. Semm, R.C. Beason // Brain Res. Bull. – 1990. – Vol. 25. – P. 735–740.
7. Selmaoui B. Sinusoidal 50 Hz magnetic fields depress rat pineal NAT activity and serum melatonin: role of duration and intensity of exposure / B. Selmaoui, Y. Touitou // Life Sci. – 1995. – Vol. 57. – P. 1351–1358.
8. Chronic exposure to 2,9 mT, 40 Hz magnetic field reduces melatonin concentrations in humans / M. Karasek, M. Woldanska-Okonska, J. Czernicki [et al.] // J. Pineal Res. – 1998. – Vol. 25, № 4. – P. 240–244.
9. Reiter R.J. The melatonin rhythm: both a clock and a calendar / R.J. Reiter // Experientia. – 1993. – Vol. 49, № 8. – P. 654–664.
10. Темуриянц Н.А. Современные представления о механизмах электромагнитных воздействий / Н.А. Темуриянц, А.В. Шехоткин // Вестник физиотерапии и курортологии. – 1999. – № 1. – С. 8–13.
11. Hardeland R. Melatonin and 5-methoxytryptamine in non-metazoans / R. Hardeland // Reprod. Nutr. Dev. – 1999. – Vol. 39. – P. 399–408.
12. Hardeland R. The circadian rhythm of aryl acylamidase in *Gonyaulax polyedra*: Persistence in constant darkness / R. Hardeland, E. Cuvillier, D. Göttingen // Bio. Rhythms and Antioxidative Protection. – 1997. – P. 103–106.
13. Reddien P.W. Fundamentals of planarian regeneration / P.W. Reddien, A.S. Alvarado // Annu Rev Cell Dev Biol. – 2004. – Vol. 20. – P. 725–757.
14. Serotonin modulates circadian entrainment in *Drosophila* / Q. Yuan, F. Lin, X. Zheng [et al.] // Neuron. – 2005. – Vol. 47. – P. 115–127.
15. Melatonin and arylalkylamine N-acetyltransferase activity in the silkworm, *Bombyx mori* / M.T. Itoh, Atsuhiko Hattori, Tsuyoshi Nomura [et al.] // Molecular and Cellular Endocrinology. – 1995. – Vol. 115, Is. 1. – P. 59–64.
16. Vivien-Roels. Melatonin: presence and formation in invertebrates / Vivien-Roels, P. Pever // Birkhauser Verlag Bales. – 1993. – P. 642.

17. Abran D. Melatonin activity rhythms in eyes and cerebral ganglia of *Aplysia californica* / D. Abran, M.M. Anctil, M.A. Ali // *General and comparative endocrinology*. – 1994. – Vol. 96, Is.2. – P. 215–222.
18. Itoh M. Circadian rhythms of melatonin-synthesizing enzyme activities and melatonin levels in planarians / M. Itoh, T. Shinozawa, Y. Sumi // *Brain Research*. – 1999. – Vol. 830, Is. 1. – P. 165–173.
19. Photoperiodic modulation of cephalic melatonin in planarians / M. Morita, F. Hall, J.B. Best [et. al.] // *J. Exp Zool*. 1987. – Vol. 241. – P. 383–388.
20. Экстрапинеальный мелатонин: место и роль в нейроэндокринной регуляции гомеостаза / И.М. Кветной, Н.Т. Райхлин, В.В. Южаков [и др.] // *Бюлл. эксперимент. биологии и медицины*. – 1999. – Т. 127, № 4. – С. 364–370.
21. Арушанян Э.Б. Участие эпифиза в антистрессовой защите мозга / Э.Б. Арушанян // *Успехи физиол. наук*. – 1996. – Т. 27, № 3. – С. 26–35.
22. Huether G. The contribution of extrapineal sites of melatonin synthesis to circulating melatonin levels in higher vertebrates / G. Huether // *Experientia*. – 1993. – Vol. 49. – P. 665–670.
23. Воронков В.Н. Морфологические изменения в коже при действии КВЧ ЭМИ / В.Н. Воронков, Е.П. Хижняк // *Сб. докл. между. симпоз. «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине»*. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 635–638.
24. О роли пространственного распределения поглощения ЭМИ в формировании биоэффектов при КВЧ-облучении / Е.П. Хижняк, О.В. Бецкий, В.Н. Воронков [и др.] // *Сб. докл. Междунар. симпозиума «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине»*. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – Т. 3. – С.630–635.
25. Бецкий О.В. Кожа и электромагнитные волны / О.В. Бецкий, Ю.Г. Яременко // *Миллиметровые волны в биологии и медицине* – 1998. – №1 (11). – С. 3–14.
26. Hilliges M. Ultrastructural evidence for nerve fibers within all vital layers of the human epidermis / M. Hilliges, L. Wang, O. Johansson // *J. Invest Dermatol*. – 1995. – Vol. 104. – P. 134–137.
27. Johansson O. Histaminergic nerves demonstrated in the skin. A new direct mode of neurogenic inflammation / O. Johansson, M. Virtanen, M. Hilliges // *Exp Dermatol*. – 1995. – Vol. 4(2). – P. 93–96.
28. Rojavin M.A. Medical application of millimetre waves / M.A. Rojavin, M.C. Ziskin // *Q. J. Med.* – 1998. – Vol. 91. – P. 57–66.
29. Лебедева Н.Н. Сенсорные и субсенсорные реакции здорового человека на периферическое воздействие низкоинтенсивных ММ-волн / Н.Н. Лебедева // *Миллиметровые волны в биологии и медицине*. – 1993. – №2. – С.5–24.
30. Lebedeva N.N. Neurophysiological mechanisms of low intensity electromagnetic fields biological effects / N.N. Lebedeva // *Radiotekhnika*. – 1997. – Vol. 4. – P. 62–66.
31. Акоев Г.Н. Восприятие электромагнитного излучения миллиметрового диапазона электрорецепторов скатов / Г.Н. Акоев, В.Д. Авелев, П.Г. Семенов // *Тез. докл. Всесоюзного совещания по эволюционной физиологии*. – Л.: Наука. – 1990. – С. 45.
32. Hypoalgesic effect of millimeter waves in mice: Dependence on the site of exposure / A.A. Radzievsky, M.A. Rojavin, A. Cowan [et al.] // *Life Sci*. – 2000. – Vol. 66(21). – P. 2101–2111.
33. Енин Л.Д. Особенности функционирования кожных афферентов белой крысы в условиях воздействия электромагнитного излучения миллиметрового диапазона малой интенсивности / Л.Д. Енин, Г.Н. Акоев, И.Л. Потехина // *Международный симпозиум «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине»*. Сборник докладов. М. – 1991. – Ч. 2. – С. 425–428.
34. Millimeter wave effects on electrical responses of the sural nerve in vivo / S.I. Alekseev, O.V. Gordiienko, A.A. Radzievsky [et al.] // *Bioelectromagnetics*. – 2010. – Vol. 31. – P. 180–190.
35. Влияние электромагнитного поля миллиметрового диапазона малой мощности на регенерацию периферических нервов / Л.И. Колосова, В.Д. Авелев, Г.Н. Акоев [и др.] // *Сб. докл. Междунар. симпозиума «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине»*. – Т. 2. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 398–402.
36. Стимулирующее влияние электромагнитных волн миллиметрового диапазона нетепловой мощности на органотипические культуры спинальных ганглиев куриных эмбрионов / В.Д. Авелев, Г.Н. Акоев, Н.И. Чалисова [и др.] // *Сб. докл. Между. симпоз. «Миллиметровые волны нетепловой интенсивности в медицине»*. – М.: ИРЭ АН СССР. – 1991. – С. 381–386.

37. Дегрануляция тучных клеток кожи под действием низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты / Попов В.И., Рогачевский В.В., Гапеев А.Б. [и др.] // Биофизика. – 2001. – Т. 46, № 6. – С. 1096–1102.
38. A simple immunofluorescence technigue for simultaneous visualization of mast cells and nerve fibers reveals selectivity and hair cycle – dependent changes in mast cell-nerve fiber contacts in murine skin // V.A. Botchkarev, S. Eichmuller, E.M. Peters [et al.] // Arch dermatol res. – 1997. – Vol. 289. – P. 292–302.
39. Струсов В.В. Хирургические аспекты применения КВЧ-терапии / В.В. Струсов, Д.В. Уткин, В.А. Дремучев // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 1995. – № 6. – С. 48–49.
40. Gangi S. A theoretical model based upon mast cells and histamine to explain the recently proclaimed sensitivity to electric and/or magnetic fields in humans / S. Gangi, O. Johansson // Medical Hypothesis. – 2000. – Vol. 54. – P. 663–671.
41. Трибрат Н.С. Модуляция микроциркуляторных процессов с помощью низкоинтенсивного миллиметрового излучения : автореф. кан. биол. наук по специальности 03.00.13 – физиология человека и животных / Н.С. Трибрат – 2010. – 20 с.
42. Механизмы действия низкоинтенсивного миллиметрового излучения на тканевую микрогемодинамику : монография / [Чуян Е.Н., Трибрат Н.С., Ананченко М.Н., Раваева М.Ю.] – Симферополь: Информационно-издательский отдел Таврического национального университета имени В.И. Вернадского, 2011. – 325 с.
43. Чуян О.М. Нейроімуноендокринні механізми адаптації до дії низько інтенсивного електромагнітного випромінювання надто високої частоти : автореф. дис. на здобуття наук. ступеню докт. біол. наук: спец. 03.00.13. «Фізіологія людини та тварин» / О.М. Чуян – Київ, 2004. – 40 с.
44. Baler R. Orphan nuclear receptor R α -beta-cyclic-AMP regulates expression in the pineal gland / R. Baler, S. Coon, D.S. Klein // Biochem. biophys. Res. Commun. – 1996. – Vol. 220. – P. 975–978.
45. Characterization of melatonin binding sites in human peripheral blood neutrophils / M.A. Lopez-Gonzalez, J.R. Galvo, J.J. Segura [et al.] // Biotech. Tere. – 1993. – Vol. 4. – P. 253–262.
46. Binding of 2 – (125 J) melatonin by rat thymus membranes during postnatal development / A. Martin-Cacao, M.A. Lopez-Gonzalez, R.J. Reiter [et al.] // Immunol. Lett. – 1993. – Vol. 36. – P. 59–64.
47. Specific binding of 2-(125 J) iodmelatonin by rat splenocytes: characterization and its role on regulation of cyclic AMP production / M. Raffi-Et-Idrissi, D. Pozo, J.R. Calvo [et al.] // J. Neuroimmunol. – 1995. – Vol. 57. – P. 171–178.
48. Transcriptional activation of the nuclear receptor RZR α by the pineal gland hormone melatonin and identification of GGP 52608 as a synthetic ligand / I. Wiesenberg, M. Missbach, J.P. Kahlen [et al.] // Nucl. Acids Res. – 1995. – Vol. 23. – P. 327–333.
49. Signal transduction for melatonin in human lymphocytes: involvement of a pertussis toxin-sensitive G protein / A. Garcia-Pergañeda, D. Pozo, J.M. Guerrero [et al.] // J. Immunol. – 1997. – Vol. 159, Is. 8. – P. 3774–3781.
50. Distribution of MT1 melatonin receptor immunoreactivity in the human hypothalamus and pituitary gland: colocalization of MT1 with vasopressin, oxytocin, and corticotropin – releasing hormone / Y.H. Wu, J.N. Zhou, R. Balesar [et al.] // J Comp Neurol. – 2006. – Vol. 499(6). – P. 897–910.
51. Expression of the c – For gene in the rat hypothalamus in electrical pain stimulation and UHF stimulation of the skin / N.S. Novikova, T.B. Kazakova, V. Rogers [et al.] // Neuroscience and behavioral physiology. – 2008. – Vol. 38. – P. 415.
52. Herman J.P. Neurocircuitry of stress; central control of the hypothalamo-pituitary-adrenocortical axis / J.P. Herman, W.E. Cullman // Trends Neurosci. – 1997. – Vol. 20. – P. 78–84.
53. Imaki T. Regulation of gene expression in the central nervous system by stress: molecular pathways of stress responses / T. Imaki, T. Shibasaki, H. Demura // Endocrine J. – 1995. – Vol. 42(2). – P. 121–130.
54. Induction of c-fos and interleukin-2 genes expression in the central nervous system following stressor stimuli / T.B. Kazakova, S.V. Barabanova, N.S. Novikova [et al.] // Int. J. Pathol. – 2000. – Vol. 7. – P. 53–61.
55. Брагин Е.О. Нейрохимические механизмы регуляции болевой чувствительности / Брагин Е.О. – М.: Изд-во Ун-та дружбы народов, 1991. – 247 с.
56. Темуриянц Н.А. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения крайне высокой частоты на болевую чувствительность моллюсков *Helix albescens* / Н.А. Темуриянц, А.С. Костюк, К.Н. Туманянц // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2010. – Т. 23 (62), №1. – С. 39–45.

57. Wenner M. Reward linker to increased natural killer cell activity in rats / M. Wenner, N. Kawamura, T. Ishikawa // *NeuroImmunoModulation*. – 2000. – Vol. 7. – P. 1–5.
58. Московчук О.Б. Вплив низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання надвичайно високої частоти на інфрадіанну ритміку фізіологічних процесів : автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. біол. наук : спец. 03.00.13 «Фізіологія людини і тварин» / О.Б. Московчук – Симферополь, 2003. – 20 с.
59. Мартынюк В.С. Корреляция биофизических параметров биологически активных точек и вариаций гелиогеофизических факторов / В.С. Мартынюк, Н.А. Темурьянц, О.Б. Московчук // *Биофизика*. – 2001. – Т. 46, № 5. – С. 905–909.
60. Сравнительный анализ локализации и интенсивности экспресс с-fos гена в клетках определенных структур гипоталамуса при механическом и электрическом болевом раздражении / К.С. Новикова, Т.Б. Казакова, В. Роджес [и др.] // *Патогенез*. – 2004. – Т. 2 (2). – С. 73–79.
61. Теппермен Д. Физиология обмена веществ и эндокринной системы / Д. Теппермен, Х. Теппермен – М.: Мир, 1989. – 656 с.
62. Pineal melatonin mediates photoperiodic control of pulsatile luteinizing hormone secretion in the ewe / E.L. Bittman, A.H. Kaynard, D.H. Olster [et al.] // *Neuroendocrinology* 1985. – Vol. 40. – P. 409–418.
63. Opposite actions of hypothalamic vasopressin on circadian corticosterone rhythm in nocturnal versus diurnal species / A. Kalsbeek, L.A. Verhagen, I. Schaliij [et al.] // *Eur J. Neurosci*. – 2008. – Vol.27. – P. 818–827.
64. Reduction of the nocturnal rise in pineal melatonin levels in rats exposed to 60-Hz electric fields in utero and for 23 days after birth / R.J. Reiter, L.E. Anderson, R.L. Buschbom [et al.] // *Life Sci*. – 1988. – Vol. 42, №22. – P. 2203–2206
65. Арушанян Э.Б. Эпифиз и организация поведения / Э.Б. Арушанян // *Успехи физиол. наук*. – 1991. – Т. 22, № 4. – С. 122–141.
66. Kalsbeek A. Melatonin sees the light: blocking GABA-ergic transmission in the paraventricular nucleus induces daytime secretion of melatonin / A. Kalsbeek, M.L. Garidou, I.F. Palm // *Europ. J. Neuroscience*. – 2000. – Vol. 12. – P. 3146–3154.
67. Глыбин Л.Я. Внутрисуточная цикличность проявления некоторых заболеваний / Глыбин Л.Я. – Владивосток Изд-во Дальневосточного университета, 1987. – 188 с.
68. Sack R.L. Circadian rhythm abnormalities in totally blind people: Incidence and clinical significance / R.L. Sack, M.L. Blood, L.D. Keith, H. Nakagawa // *J. Clin Endocrinol*. – 1992. – Vol. 75. – P. 127–134.
69. Эмоциональный стресс и уровень мелатонина в крови / Н.К. Малиновская, С.С. Перцов, А.С. Сосновский [и др.] // *Вестник РАМН*. – 1997, № 7. – С. 51–55.
70. Арушанян Э.Б. Иммунотропные свойства эпифизарного мелатонина / Э.Б. Арушанян, Э.В. Бейер // *Эксперимент. и клиническая фармакология*. – 2002. – Т.65, № 5. – С. 73–80.
71. Bazian A.S. Dynamics of catecholamines content in homogenats of brain structures of rat and human blood under influence of MM wave radiation / A.S. Bazian, Kh. Shol'ts, A.A. Tsarev // 11-th Russian symposium with international participation «Millimeter waves in medicine and biology», Russian academy of sciences, Moscow, Russia. – 1997. – P. 116–117.
72. Функциональная асимметрия у человека и животных: влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона / [Чуян Е.Н., Темурьянц Н.А., Пономарева В.П. и др.] – Симферополь. – 2004. – 440 с.
73. Частотный состав ЭЭГ симметричных областей коры и гиппокампа кроликов при воздействии ЭМИ КВЧ на зону акупунктуры / В.В. Воробьев, А.Б. Гапеев, А. Нейман [и др.] // *Вестник новых медицинских технологий*. – 1999. – Т. VI, № 1. – С. 23–27.
74. Храмов Р.Н. «Триггерные» ЭЭГ эффекты ультрафиолетового света в условиях его хронического применения / Р.Н. Храмов, В.В. Воробьев, Л.Р. Браткова // *Докл. АН*. – 1997. – Т. 356, № 3. – С. 418–421.
75. Макарова И. Усиление напряжения магнитного поля Земли изменяет активность правого полушария мозга / И. Макарова // *Тезисы докладов II Международного Конгресса «Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине»*. – Спб.: «Тускарора». – 2000. – С. 42–43.
76. Темурьянц Н.А. Нервные и гуморальные механизмы адаптации к действию неионизирующих излучений: автореф. дис. на соискание уч. степени д-ра биол. наук : спец. 03.00.13 – «физиология человека и животных» / Н.А. Темурьянц – М., 1989. – 44с.

77. Влияние слабых и сверхслабых комбинированных постоянного и низкочастотного переменного магнитных полей и миллиметровых волн низкой интенсивности на регенерацию планарий *Dugesia tigrina* / В.В. Новиков, И.М. Шейман, А.В. Клубин [и др.] // Биофизика – 2007. – Т.52, Вып. 2. – С. 372–375.

Темур'янц Н.А. Сучасні уявлення про механізми фізіологічної дії міліметрових хвиль (огляд літератури) / Н.А. Темур'янц, К.М. Туманянц, О.М. Туманянц // Вчені записки Таврійського національного університету ім. В.І. Вернадського. Серія „Біологія, хімія”. – 2012. – Т. 25 (64), № 1. – С. 214-223.

У механізмах фізіологічної дії низькоінтенсивного електромагнітного випромінювання надвисокої частоти важливу роль відіграє мелатонін як екстрапінеального, так і пінеального походження.

Ключові слова: електромагнітне випромінювання, надвисока частота, мелатонін.

Temuryants N.A. Possible mechanisms by which millimeter wave effects physiological change / N.A. Temuryants, K.N. Tumanyants, E.N. Tumanyants // Scientific Notes OF Taurida V.Vernadsky National University. – Series: Biology, chemistry. – 2012. – Vol. 25 (64), No 1. – P. 214-223.

It is shown that in mechanisms by which millimeter wave effects physiological change pineal and extrapineal melatonin plays an important role.

Keywords: electromagnetic radiation, extremely high- frequency, melatonin.

Поступила в редакцію 12.02.2012 г.