

УДК 616.681-003.219

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВОЗДЕЙСТВИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ И СЕРОВОДОРОДСОДЕРЖАЩЕГО ГАЗА НА СОСТОЯНИЕ РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЫ

Логинов П.В., Николаев А.А.

ГБОУ ВПО «Астраханская государственная медицинская академия» Минздрава России, Астрахань, e-mail: agma@astranet.ru

Микроволновое излучение низкой интенсивности, а также сероводородсодержащий газ вызывают нарушения мужской репродуктивной функции. В результате этих стресс-факторов имеет место интенсификация процессов липопероксидации. Уровень малонового диальдегида (МДА) в гипоталамической ткани и ткани семенников возрастает в условиях экспериментальных воздействий. Между тем сероводородсодержащий газ проявил более выраженный гонадотоксический эффект, чем микроволновое излучение. После воздействия микроволнового излучения общее количество эпидидимальных сперматозоидов у крыс снизилось на 50 % (в 1,5 раза). Газ вызвал снижение эпидидимальных сперматозоидов на 70 %. Под действием сероводородсодержащего газа имел место некроз сперматогенного эпителия. Настоящее исследование позволяет заключить, что нарушения репродуктивной системы в условиях стресса связаны с угнетением регуляторных механизмов в системе гипоталамус-гипофиз, а также с нарушениями в самих гонадах.

Ключевые слова: сероводородсодержащий газ, микроволновое излучение, малоновый диальдегид (МДА), липопероксидация, семенники

COMPARATIVE ANALYSIS OF INFLUENCE OF MICROWAVE RADIATION AND THE GAS CONTAINING HYDROGEN SULPHIDE ON REPRODUCTIVE SYSTEM STATE

Loginov P.V., Nikolaev A.A.

Astrakhan State Medical Academy, Astrakhan, e-mail: agma@astranet.ru

It has been found that microwave radiation of low intensity as well as the gas containing hydrogen sulphide provoke male reproductive function disorders. As a result of these stress-factors, intensification of lipid peroxidation processes takes place. The level of malonic dialdehyde (MDA) in hypothalamic and testicular tissues increases under the experimental conditions. Meanwhile the gas containing hydrogen sulphide has shown more gonadotoxic effect than the microwave radiation. The total number of epididymal spermatozoa in rats after the influence of microwave radiation has been found to decrease by 50 % (1.5 times). The gas provoked epididymal spermatozoid decrease by 70 %. Under the influence of the gas containing hydrogen sulphide, the necrosis of spermatogenic epithelium cells took place. The present study allows to conclude that the reproductive function disorders under stress conditions are connected with suppressing the regulatory mechanisms in the system hypothalamus-pituitary as well as the disturbances in the testes themselves.

Keywords: gas containing hydrogen sulphide, microwave radiation, malonic dialdehyde (MDA), lipid peroxidation, testes

В 1966 году появилась первая публикация, посвящённая эффектам воздействия электромагнитного излучения миллиметрового диапазона низкой интенсивности (менее 10 мВ/см³) на биологические объекты. Микроволновое излучение используется в активно развиваемых в настоящее время телекоммуникационных системах: сотовых телефонах, устройствах Bluetooth, WiFi WiMAX, поэтому изучение его влияния на биосистемы различного уровня организации является актуальной задачей [11]. Производство, передача, распределение и использование электроэнергии сопровождаются воздействием на организм низкочастотных электромагнитных полей [15]. Изучению влияния электромагнитных полей, как высоких, так и низких частотных диапазонов на живые организмы посвящено достаточно большое количество работ. Однако не было проведено комплексных исследований воздействия микроволнового излучения на

структуры репродуктивной системы. Проводимые исследования в основном касались влияния электромагнитного излучения на сперматогенез и гормональный статус, в которых говорилось о снижении уровня тестостерона, повышении эстрадиола, ухудшении качества спермы [5].

Сероводородсодержащий газ (СВСГ) Астраханского газоконденсатного месторождения (АГКМ) относится к группе экзогенных химических патогенных факторов [1]. Химические канцерогены пагубно влияют уже на этапе эмбрионального развития организма, когда происходит дифференцировка мозга и половых органов будущего индивида [2]. Сероводород, входящий в состав Астраханского природного газа, является чрезвычайно агрессивным агентом, вызывающим развитие окислительного стресса. Последнее обстоятельство является причиной возникновения функциональных нарушений многих систем организма

[3, 8]. В последнее время все больше внимания уделяется исследованию влияния СВЧ АГКМ на репродуктивную систему мужчин [7, 14], поскольку большая часть рабочего контингента на Астраханском газоконденсатном комплексе – мужчины.

Цель исследования – изучить в сравнительном аспекте эффекты воздействия микроволнового излучения низкой интенсивности и сероводородсодержащего газа АГКМ на репродуктивную систему самцов крыс.

Материалы и методы исследования

Исследованию подвергались половозрелые самцы крыс линии Wistar массой $200 \pm 10,0$ г. Животных подвергали различным стресс-воздействиям:

1) электромагнитным излучением миллиметрового диапазона;

2) сероводородсодержащим газом (СВСГ) Астраханского газового месторождения.

Воздействие электромагнитным излучением осуществлялось в течение 30 дней по 30 мин ежедневно. Для создания электромагнитного поля использовали генератор монохроматических электромагнитных волн («Явь-1-7,1»; $\lambda = 7,1$ мм; частота $f = 42,194$ ГГц). Воздействие газом осуществлялось в течение 30 дней по 4 часа ежедневно в концентрации 10 мг/м^3 по сероводороду. Таким образом, были сформированы три группы: контрольная (К) и две

опытные (О-1 и О-2) по 10 животных в каждой. По окончании экспериментальных воздействий в гомогенатах семенников и медиобазального гипоталамуса определяли уровень малонового диальдегида (МДА) [12]. Уровень биосинтеза тестостерона оценивали посредством определения ферментативной активности биосинтеза тестостерона – Δ^5 -3 β -гидроксистероиддегидрогеназы (ГСД) в гомогенатах семенников, используя 3 β -гидрокси-5-андростен-17-он в качестве субстрата [9]. Общую активность ГСД выражали у.е. (1 у.е. = 1 мкг образовавшегося за 90 мин продукта/1 г ткани семенника). Состояние тестикулярного сперматогенеза оценивали с помощью метода В.П. Маминой и Д.И. Семёнова [6]. Кроме того, отдельно оценивали состояние сперматогенеза по морфологическим и кинетическим показателям эпидидимальных сперматозоидов [10]. Статистическую обработку полученных результатов выполняли с использованием критерия Стьюдента [4].

Результаты исследования и их обсуждение

Под действием, как микроволнового излучения, так и сероводородсодержащего газа наблюдалось повышение уровня МДА в тканях семенников и медиобазального гипоталамуса, что свидетельствует об интенсификации процессов свободнорадикального окисления (табл. 1, рис. 1).

Таблица 1

Изменение уровня МДА в ткани гипоталамуса и семенников под действием микроволнового излучения (МВИ) и сероводородсодержащего газа АГКМ

Группы животных	n	МДА, нмоль/0,5 г	
		гипоталамус	семенники
Контроль	10	$3,03 \pm 0,391$	$2,72 \pm 0,137$
МВИ	10	$4,41 \pm 0,281$	$3,76 \pm 0,151$
СВСГ АГКМ	10	$5,80 \pm 0,221$	$4,12 \pm 0,254$

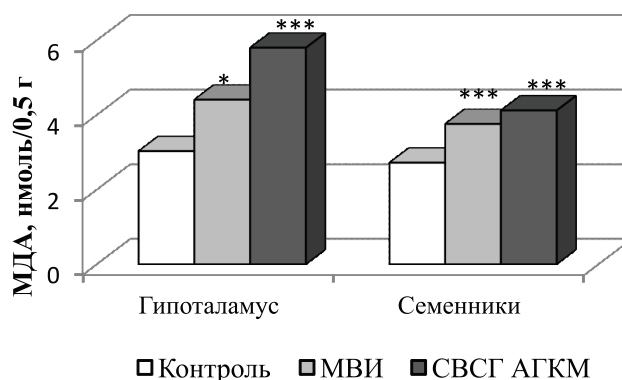
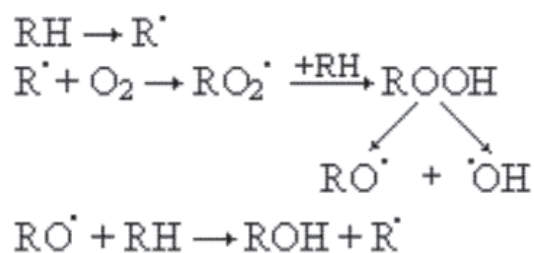


Рис. 1. Изменение уровня МДА в тканях гипоталамуса и семенников под действием микроволнового излучения (МВИ) и сероводородсодержащего газа АГКМ:
* $P < 0,05$; *** $P < 0,001$ – в сравнении с контролем

Как видно из табл. 1 и рис. 1, сероводородсодержащий газ оказал более выраженную интенсификацию окислительных процессов, как в гипоталамусе, так и семенниках, причём на уровне гипоталамуса

выраженность свободнорадикальных процессов заметно выше, чем в тестикулярной ткани, что, вполне естественно, поскольку гипоталамус очень богат основным субстратом липопероксидации – липидами.

Развитие окислительного стресса, сопряжённого с радикальным окислением ненасыщенного фосфолипида RH, можно выразить следующей схемой:



Под влиянием как микроволнового излучения, так и сероводородсодержащего газа АГКМ отмечалось снижение общей активности ГСД более чем в 2 раза в сравнении с контролем ($P < 0,001$) (табл. 2).

Таблица 2

Активность
 Δ^5 -3 β -гидроксистероиддегидрогеназы
 в семенниках крыс при воздействии
 микроволновым излучением
 и сероводородсодержащим
 природным газом

Экспериментальные группы	n	Активность ГСД, у.е.
Контроль	10	236,2 ± 29,3
МВИ	10	114,1 ± 15,8
СВСГ АГКМ	10	102,0 ± 22,5

В результате воздействия излучения было зафиксировано снижение общего количества сперматогенных клеток, в сравнении с контролем (3140 ± 655 и 5236 ± 470 млн соответственно). Кроме того, отмечался дисбаланс между разными типами сперматогенных клеток. Наиболее уязвимыми к воздействию микроволн оказались сперматогонии-А, относительный уровень которых был заметно снижен по сравнению с контрольной группой. Общее количество эпидидимальных сперматозоидов снизилось в 1,5 раз (табл. 2), в сравнении с контролем ($P < 0,001$). В популяции сперматозоидов отмечалось двукратное увеличение процентного содержания дефективных форм (45,2%), в сравнении с контролем (20,2%). Количество мёртвых сперматозоидов возросло в 8 раз.

Под действием СВСГ АГКМ отмечалось резкое уменьшение общего количества сперматогенных клеток в семеннике более чем в 7 раз по сравнению с контрольной группой. Наблюдалось выраженное нарушение соотношения между сперматогенными клетками (сперматогонии, сперматоциты, сперматиды, сперматозоиды). Содержание сперматогоний и сперматозоидов было сниженным, преобладали сперматоциты и сперматиды. Общее количество эпидидимальных сперматозоидов было снижено более чем в 1,7 раз, в сравнении с контролем ($P < 0,001$) (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика эпидидимальных сперматозоидов у крыс в условиях воздействия микроволновым излучением и сероводородсодержащим газом АГКМ

Показатели эпидидимальных сперматозоидов	Контроль (n = 10)	МВИ (n = 10)	СВСГ АГКМ (n = 10)
Общее количество, млн	50,0 ± 6,51	*** 34,1 ± 1,38	*** 28,4 ± 2,44
Дефективные, %	20,2 ± 2,22	45,2 ± 2,45	44,4 ± 3,83
Подвижные, %	81,0 ± 6,2	38,5 ± 3,25	0,4 ± 0,12
Мёртвые, %	4,8 ± 0,82	39,1 ± 1,91	55,2 ± 4,11

Примечание. *** $P < 0,001$ – в сравнении с контролем.

Отсутствие подвижности сперматозоидов под действием СВСГ АГКМ, очевидно, связано с таким дефектом, как облом хвоста сперматозоидов, что можно объяснить как результат усиления процесса липопероксидации в условиях развития окислительного стресса.

В условиях хронического воздействия СВСГ наблюдалось заметное уменьшение диаметров семенных канальцев на фоне резкого разрастания интерстициальной ткани за счёт прироста главным образом ма-

лых инволюционирующих функционально малоактивных клеток Лейдига отросчатой формы, что можно рассматривать как компенсаторную реакцию эндокриноцитов на фоне деструктивных изменений сперматогенного эпителия. Также имел место отёк интерстициальной ткани, полнокровие сосудов семенников и гибель половых клеток. Наблюдалось хаотичное расположение клеток сперматогенного эпителия (а в ряде случаев и вообще запустевание семенных канальцев) (рис. 2).

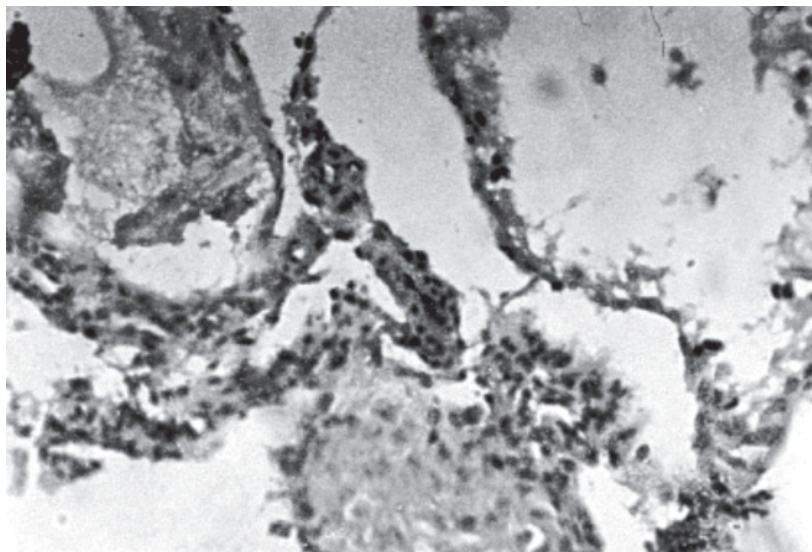


Рис. 2. Структура извитых канальцев семенников животных, подвергнутых воздействию сероводородсодержащим газом. Окраска гематоксилин-эозином. Увеличение 200х

Заключение

Таким образом, и микроволновое излучение миллиметрового диапазона, и хроническая интоксикация сероводородсодержащим газом вызывают угнетение сперматогенеза за счёт снижения количества самих половых клеток, а также за счёт нарушения их морфологии и кинетики. Возникающие нарушения коррелируют с усилением процессов липопероксидации в тканях, как самих гонад, так и на уровне центра регуляции вегетативных функций – гипоталамуса. Следует подчеркнуть более выраженный гонадотоксический эффект сероводородсодержащего газа АГКМ, что, очевидно, обусловлено непосредственным участием сероводорода в запуске радикалообразования. Принимая во внимание концепцию стресса К.В. Судакowa (1997) [13], а также тот факт, что нейросекреторные клетки, в частности, супрахиазматического (СХЯ) и аркуатного ядер (АЯ) гипоталамуса участвуют в регуляции репродуктивных процессов, можно прийти к выводу, что угнетение функционального состояния семенников в условиях развития оксидативного стресса обусловлено нарушением регуляторных механизмов со стороны гипоталамо-гипофизарного комплекса, однако факт интенсификации процессов липопероксидации в самой тестикулярной ткани свидетельствует о том, что вызываемые функциональные изменения связаны также с нарушениями на уровне самих гонад.

Список литературы

1. Агаджанян Н.А., Марачев А.Т., Бобков Г.А. Экологическая физиология человека. – М.: Крук, 1998. – 412 с.

2. Аношкина Е.В. Воздействие природного газа АГКМ на биологические объекты: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Астрахань, 2001. – 23 с.

3. Бучин В.Н., Слобин П.И., Петрова Г.И. и др. Некоторые результаты анализа зависимости заболеваемости от вредных и опасных факторов производственной среды // Медико-социальные и клиничко-социальные вопросы общественного здоровья и здравоохранения: Труды Астраханской государственной медицинской академии. Т. 36 (LX). – Астрахань: Изд-во АГМА, 2007. – С. 53–56.

4. Гланц С. Медико-биологическая статистика. – М.: Практика, 1999. – 459 с.

5. Иванова С.В. Влияние электромагнитного облучения низких частот на морфофункциональное состояние семенников крыс: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – М., 2002. – 16 с.

6. Мамина В.П., Семёнов Д.И. Метод определения количества сперматогенных клеток семенника в клеточной суспензии // Цитология. – 1976. – Т. 18. – № 7. – С. 913–914.

7. Николаев А.А., Луцкий Д.Л. Влияние экологических факторов на репродуктивную функцию мужчин // Мат. VIII междунар. симпозиума «Эколого-физиологические проблемы адаптации», Москва, 27–30 января 1998. – М.: Изд-во РУДН, 1998. – С. 79.

8. Резаев А.А., Балашов В.И., Бочановский В.А. Лабораторные показатели крови у рабочих АГК // Мат-лы Междунар. конф. «Структурные преобразования органов и тканей на этапах онтогенеза в норме и при воздействии антропогенных факторов», Астрахань, 20–22 сентября 2000 г. – Астрахань: Изд-во АГМА, 2000. – С. 132–133.

9. Резніков О.Г., Демченко В.М., Нишценко О.В. Половые гормоны человека // Фізіологічний журнал. – 1976. – № 5. – С. 616–621.

10. Санюцкий И.В., Фоменко В.Н. Отдалённые последствия влияния химических соединений на организм. – М.: Медицина, 1979. – 232 с.

11. Скамрова Г.Б., Евстигнеев М.П., Лантушенко А.О. и др. Влияние микроволнового излучения на частотах мобильной связи и сети WiMAX на проницаемость мембран клеток буккального эпителия человека // Учёные записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского. Серия «Биология, химия». – 2011. – Т. 24(63), № 4. – С. 282–291.

12. Стальная И.Д., Гаришвили Т.Г. Метод определения малонового диальдегида с помощью тиобарбитуровой кис-

лоты // Современные методы в биохимии / под ред. акад. В.Н. Ореховича. – М.: Медицина, 1977. – С. 66–68.

13. Судаков К.В. Новые акценты классической концепции стресса // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. – 1997. – Т. 123. – № 2. – С. 124–130.

14. Ушакова М.В. Функционирование репродуктивной системы самцов крыс при хроническом воздействии природных токсикантов: автореф. дис. ... канд. биол. наук. – Астрахань, 2002. – 22 с.

15. Kwee S., Raskmark P. Changes in cell proliferation due to environmental non-ionizing radiation: 2. Microwave radiation. *Bioelectrochemistry*, 1997. Vol. 44, no. 2, pp. 251–255.

References

1. Agadzhanian N.A., Marachev A.T., Bobkov G.A. *Ecological human physiology*. Moscow, Kruk, 1998. 412 p.

2. Anoshkina E.V. *Vozdeystvie prirodnogo gaza AGKM na biologicheskie obekty: avtoref. dis. ... kand. boil. nauk* [Exposure to natural gas of Astrakhanian gas condensate deposit on biological objects: thesis abstract ... cand. of biol. sciences]. Astrakhan, 2001. 23 p.

3. Buchin V.N., Slobin P.I., Petrova G.I. i dr., Nekotorye rezultaty analiza zavisimosti zabolevaemosti ot vrednykh i opasnykh faktorov proizvodstvennoy sredy. *Trudy Astrakhanskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii «Mediko-sotsialnye voprosy obshchestvennogo zdorov'ya i zdavookhraneniya»* (Proc. Astrakhan State Medical Academy «The medico-social, clinical and social issues of public health and health care»). Vol. 36 (LX). Astrakhan, ASMA Publ., 2007, pp. 53–56.

4. Glants S. *Mediko-biologicheskaya statistika* [Biomedical Statistics]. Moscow, Praktika, 1999. 459 p.

5. Ivanova S.V. *Vliyaniye elektromagnitnogo oblucheniya nizkikh chastot na morfofunktsional'noe sostoyaniye semenikov krysov: avtoref. dis. ... kand. boil. nauk* [Influence of low frequency electromagnetic radiation on morphofunctional state of testes in rats: thesis abstract ... cand. of biol. sciences]. Moscow, 2002. 16 p.

6. Mamina V.P., Semenov D.I., *Tsitologiya* (Cytology), 1976, vol. 18, no. 7, pp. 913–914.

7. Nikolaev A.A., Lutskiy D.L. *Materialy VIII mezhdunarodnogo simpoziuma «Ekologo-fiziologicheskie problem adaptatsii»* (Mater. VIII Int. Symp. «Ecologo-physiological problem sofadaptation»). Moscow, RUDN Publ., 1998, p. 79.

8. Rezaev A.A., Balashov V.I., Bochanovsky V.A. *Materialy Mezhdunar. konf. «Strukturnye preobrazovaniya organov i tkaney na etapakh ontogeneza v norme I pri vozdeystvii antropogennykh faktorov»* (Mater. Int. Conf. «Structural changes

of organs and tissues at the stages of ontogenesis in norm and under influence of anthropogenic factors»). Astrakhan, ASMA Publ., 2000, pp. 132–133.

9. Reznikov O.G., Demchenko V.M., Nischimenko O.V., *Fiziologichny Zhurnal* (Physiological Journal), 1976, no. 5, pp. 616–621.

10. Sanotskiy I.V., Fomenko V.N. *Otdalennye posledstviya vliyaniya khimicheskikh soedineniy na organism* [The long-term effects of exposure to chemicals on the body]. Moscow, Meditsina, 1979. 232 p.

11. Skamrova G.B., Evstigneev M.P., Lantushenko i dr., Vliyaniye mikrovolnovogo izlucheniya na chastotakh mobil'noy svyazi I seti WiMAX na pronitsaemost membrany kletok bukhal'nogo epiteliya cheloveka. *Uchenye zapiski Tavricheskogo natsional'nogo universiteta im. V.I. Vernadskogo. Seriya «Biologiya, khimiya»* (Scientific papers of Tavricheskiy national university named after V.I. Vernadskiy. Series «Biology, Chemistry»), 2011, vol. 24(63), no. 4, pp. 282–291.

12. Stalnaya I.D., Garishvili T.G., Metod opredeleniya malonovogo dialdegida s pomoschyu tiobarbiturovoy kisloty. *Sovremennye metody v biokhimii* (Modern methods in biochemistry). Moscow, Meditsina, 1977, pp. 66–68.

13. Sudaakov K.V. Novye aktsenty klassicheskoy kontseptsii stressa. *Bulleten eksperimental'noy biologii i meditsiny* (Bulletin of Experimental Biology and Medicine), 1997, vol. 123, no. 2, pp. 124–130.

14. Ushakova M.V. *Funktsionirovaniye reproductivnoy sistemy samtsov krysov pri khronicheskom vozdeystvii prirodnokh toksikantov: avtoref. dis. ... kand. boil. nauk* [Functioning of reproductive system of male rats under chronic exposure of natural toxicants: thesis abstract ... cand. of biol. sciences]. Astrakhan, 2002. 22 p.

15. Kwee S., Raskmark P., Changes in cell proliferation due to environmental non-ionizing radiation: 2. Microwave radiation. *Bioelectrochemistry*, 1997, vol. 44, no. 2, pp. 251–255.

Рецензенты:

Терентьев А.А., д.м.н., профессор, член-корреспондент РАМН, зав. кафедрой биохимии Российского государственного медицинского университета, г. Москва;

Бойко О.В., д.м.н., профессор кафедры биохимии с курсом лабораторной диагностики ГБОУ ВПО «Астраханская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Астрахань.

Работа поступила в редакцию 05.12.2013.