

И. Л. Якименко, Д. Хеншель, Е. П. Сидорик, А. С. Цыбулин,
В. Т. Розумнюк

Влияние электромагнитного излучения мобильного телефона на сомитогенез птицы

(Представлено академиком НАН Украины В. Ф. Чехуном)

Досліджено вплив випромінювання стандартної моделі мобільного телефону на ранній ембріональний розвиток перепелів. Свіже запліднене перепелине яйце опромінювали періодично протягом двох діб до інкубації та на першу добу інкубації мобільним телефоном у режимі отримання дзвінка (Motorola W320, GSM 850 МГц, SAR 0,75 Вт/кг, інтенсивність радіовипромінювання на поверхні яйця 5–15 мкВт/см², загальний час опромінення 20 год). Мікроскопічний аналіз 40-годинних ембріонів показав, що ембріони опромінених груп не відрізнялися істотно від контролю за кількістю пар диференційованих сомітів. У той же час ембріони опромінених груп мали більше аномалій розвитку. Узагальнені дані двох експериментів виявили статистично достовірне ($p < 0,05$) зростання аномалій розвитку серед опромінених ембріонів (33,33%) порівняно з контролем (9,68%). Більшість аномалій розвитку опромінених ембріонів проявлялися в деформації перших пар сомітів. Таких аномалій не спостерігалось в ембріонів контрольних груп.

В течение последних десятилетий уровень антропогенного неионизирующего электромагнитного излучения (ЭМИ) чрезвычайно увеличился. Интенсивное развитие новых технологий привело к тому, что антропогенное ЭМИ становится экологически значимым фактором, потенциальные риски которого для здоровья человека и состояния биосферы должны анализироваться самым тщательным образом. Именно поэтому с 1996 г. Всемирная Организация Здравоохранения признала неионизирующее ЭМИ одним из факторов риска для здоровья человека и начала реализацию широкомасштабного международного «Электромагнитного проекта».

Одним из мощных источников ЭМИ в последние два десятилетия стали системы мобильной связи. Очевидно, ни одно электротехническое устройство не входило в повседневную жизнь человека так быстро и широко, как системы мобильной связи. От первой коммерческой сети мобильной связи в Японии (1979 г.) до сегодняшнего повсеместного развития систем мобильной связи, общее число пользователей которых оценивается в 4 млрд человек, прошло всего три десятилетия. Количество пользователей мобильной связью в развитых странах близко к насыщению, при этом дети начинают пользоваться мобильным телефоном с трехлетнего возраста [1]. Парадокс заключается в том, что при непосредственной близости источника излучения (трубки мобильного телефона) к мозгу пользователя, возможные биологические последствия электромагнитного воздействия, в частности долгосрочные эффекты облучения, практически не изучены. Достаточно сказать, что современные стандарты безопасности ЭМИ систем мобильной связи базируются исключительно на представлениях о тепловом действии ЭМИ на биологические системы. Вместе с тем огромный массив экспериментальных данных о биологических эффектах ЭМИ нетепловых интенсивностей не принимается во внимание. Это значит, что при всей широте внедрения технологии мобильной связи вопросы экологической безопасности данных систем все еще остаются

открытыми. К сожалению, эпидемиологические исследования последних лет подтверждают серьезность подобного рода опасений. Так, исследования шведских онкологов показывают значительное возрастание риска развития некоторых форм рака мозга при длительном, более 10 лет, пользовании мобильным телефоном (в 2–5 раз по сравнению с контрольной группой) [1]. Кроме того, ускоренное развитие других форм рака было установлено израильскими исследователями у людей, живущих в непосредственной близости возле базовых станций мобильной связи [2]. Ухудшение ряда субъективных показателей состояния здоровья (головная боль, головокружение, упадок сил) было отмечено у людей, живущих в непосредственной близости (до 300–400 м) от базовых станций мобильной связи [3].

Эпидемиологические исследования указывают на значимость долгосрочных влияний ЭМИ систем мобильной связи для проявления негативных воздействий на состояние здоровья человека. Вместе с тем некоторые модельные исследования демонстрируют выраженное негативное действие ЭМИ мобильных телефонов на биологические системы даже при краткосрочном воздействии. Так, исследования в Национальном центре репродуктивной медицины (Кливленд, США) выявили, что одночасовое воздействие излучения стандартной модели мобильного телефона на образцы спермы человека приводило к достоверному снижению подвижности спермиев и возрастанию уровня активных форм кислорода в них [4]. Вышеприведенные данные свидетельствуют об острой необходимости тщательной всесторонней оценки возможных биологических эффектов излучения систем современной мобильной связи, в том числе и его вероятных негативных воздействий на здоровье человека.

По многим причинам развивающийся эмбрион птицы является чрезвычайно удобной моделью для оценки потенциальных рисков ЭМИ нетепловых интенсивностей. Ранее мы успешно использовали эту экспериментальную модель для изучения биологической эффективности низкоинтенсивного излучения лазеров [5].

В исследовании биологических эффектов ЭМИ мобильного телефона нами были использованы свежие оплодотворенные перепелиные яйца (*Coturnix Coturnix*). Проведено два аналогичных эксперимента. Для каждого эксперимента формировали группы-аналоги инкубационных яиц, сбалансированные по всем основным параметрам. Одну группу яиц облучали при помощи стандартной модели мобильного телефона в позиции дозвона, в то время как вторая, необлученная группа яиц, служила контролем. Облученные и контрольные группы яиц находились в аналогичных условиях на протяжении всего эксперимента, за исключением процедуры облучения.

В качестве источника ЭМИ использовали стандартную модель мобильного телефона (Motorola W320, GSM 850 МГц). Удельная мощность поглощения (specific absorption rate, SAR) для данной модели согласно паспорту составляет 0,75 Вт/кг, что примерно в два раза меньше допустимой нормы для мобильных телефонов согласно современным международным стандартам [6]. Облучение инкубационных яиц проводили в непосредственной близости телефона от поверхности инкубационных яиц. Мобильный телефон был расположен на пластиковой подставке над поверхностью инкубационных яиц, расстояние от антенны телефона до поверхности яиц составляло примерно от 1 до 3 см. В течение облучения телефон активизировался звонком на него при помощи компьютерной системы. Время каждого звонка (дозвона) составляло примерно 10 с, интервал между звонками составлял 3–5 с. Яйца опытных групп облучали 10-кратно по 2 ч в течение двух суток перед инкубацией (при комнатной температуре) и в течение первых суток инкубации (6 раз до инкубации и 4 раза во время инкубации). Интенсивность ЭМИ мобильного телефона измеряли с помощью измерителя радиочастотного излучения “RF Field Strength Meter” (Альфалаб, США).

Интенсивность излучения использованной модели телефона в режиме дозвона составляла 15 мкВт/см² в непосредственной близости от антенны телефона. На поверхности облучаемых яиц интенсивность излучения в зависимости от расстояния до антенны телефона составляла от 5 до 15 мкВт/см². Количество инкубационных яиц в облученных группах лимитировалось получением данного уровня интенсивности. Уровень фонового радиоизлучения в лаборатории составлял 0,003 мкВт/см².

Инкубацию яиц проводили в лабораторном инкубаторе RX₂ (Чула Виста, США) при соблюдении стандартных условий инкубации перепелиных яиц. Облученную и контрольную группы яиц инкубировали одновременно в одном инкубаторе на расстоянии 20 см одна от другой, экранировав их по периметру алюминиевой фольгой.

После 40 ч инкубации процесс развития эмбрионов прерывали и проводили анализ. Каждое инкубационное яйцо вскрывали и эмбрион с желтком переносили в чашку Петри. Эмбрион на желточной мембране извлекали с помощью колец фильтровальной бумаги как описано ранее [5]. Эмбрионы отмывали в стандартном фосфатном буфере и фиксировали в 10% растворе формалина. Микроскопический анализ выполняли с помощью стереомикроскопа Wild M8 с Cool SNAP CCD камерой. Анализ изображения эмбрионов проводили с помощью программы Image-Pro Plus 5.1 (Media Cybernetics). В качестве основного показателя интенсивности развития эмбрионов мы использовали количество пар дифференцированных сомитов, так как этот индекс объективно отражает интенсивность раннего эмбрионального развития птицы [7]. Все эмбрионы были оценены на наличие аномалий. К аномально слабо развитым относили эмбрионы, на 30% и более отстающие от средних контрольных показателей по количеству пар дифференцированных сомитов. Достоверность разницы между группами оценивали по критерию Стьюдента (для количества пар дифференцированных сомитов) и критерию Фишера (для процента аномалий).

В первом эксперименте 40-часовые эмбрионы контрольной группы имели 12–14 пар дифференцированных сомитов (табл. 1). У эмбрионов наблюдали четко выраженные три первичных мозговых пузырька (везикулы), нейромеры заднего мозга, сердце (рис. 1, а). У эмбрионов облученной группы среднее количество пар дифференцированных сомитов было незначительно меньше, чем в контроле (на 9,7%). Группа была значительно более вариабельна по этому показателю по сравнению с контролем (см. табл. 1). При этом у 38,39% облученных ЭМИ эмбрионов наблюдались аномалии, которые заключались в отставании в развитии (стадии 6–10 пар дифференцированных сомитов) и сопровождалась деформацией первых пар сомитов. Деформации выражались в изменении нормальной ориентации

Таблица 1. Влияние излучения мобильного телефона на развитие 40-часовых перепелиных эмбрионов

Показатель	Контрольные группы		Облученные группы	
	1	2	1	2
Количество оплодотворенных яиц, шт.	14	17	8	13
Количество пар сомитов (пределы), шт.	12–14	10–14	6–15	9–15
Количество пар сомитов ($M \pm m$), шт.	13,15 ± 0,19	13,0 ± 0,27	11,88 ± 1,06	12,77 ± 0,48
Количество аномалий, шт.	1	2	3	4
Процент аномалий	7,14	11,76	38,39	30,77
Количество пар сомитов ($M \pm m$), шт. [†]	13,07 ± 0,17		12,43 ± 0,49	
Процент аномалий [†]	9,68		33,33*	

[†] Общие показатели по двум контрольным или облученным группам.

* $p < 0,05$ по сравнению с контролем.

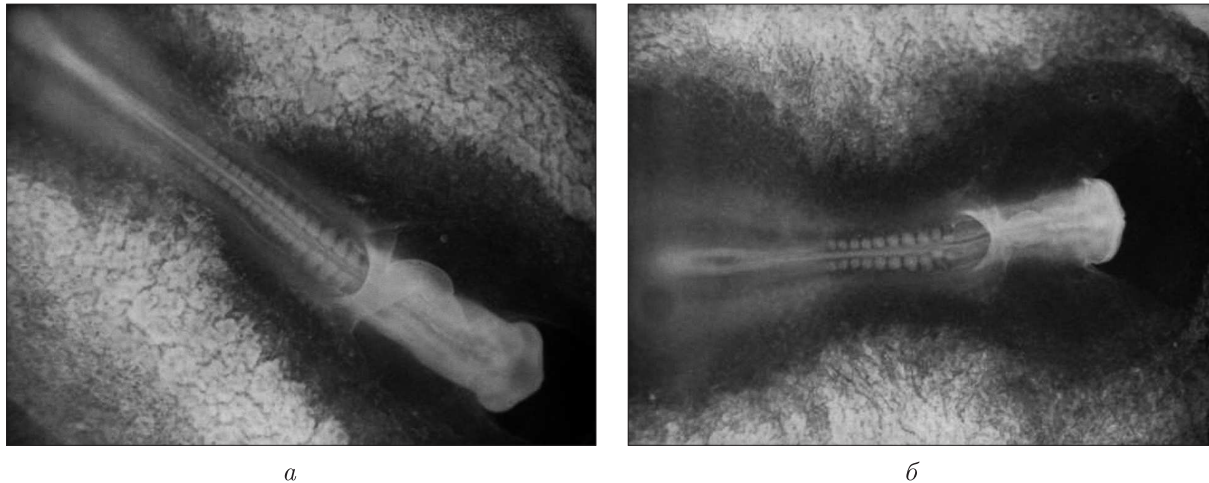


Рис. 1. Микрофото 40-часовых перепелиных эмбрионов ($\times 25$, вид снизу): *a* — эмбрион контрольной группы, видны 14 пар дифференцированных сомитов, три первичных мозговых пузырька, задний мозг, хорошо развитые сердце и сосуды; *б* — эмбрион, облученный ЭМИ мобильного телефона, первая и вторая пары сомитов деформированы, нервная трубка искривлена, первичные мозговые пузырьки, задний мозг и сердце развиты слабо

и размеров первых пар сомитов и искривлении нервной трубки (см. рис. 1, *б*). В контрольной группе отмечен один случай аномалии развития (7,14%), выразившийся в значительном отставании роста эмбриона (стадия краниальной складки).

Во втором эксперименте количество дифференцированных пар сомитов у 40-часовых эмбрионов контрольной и облученной групп было близко к этому показателю у эмбрионов контрольной группы первого эксперимента. Вместе с тем в группе облученных эмбрионов, как и в первом эксперименте, наблюдалась значительно большая вариабельность стадий развития эмбрионов, чем в контроле (см. табл. 1). Также как и в первом эксперименте, группа облученных эмбрионов имела больший процент аномалий развития, чем контрольная группа. Так, в облученной группе зафиксировано четыре случая аномалии развития (30,77%). Два из них были связаны с отставанием роста эмбрионов (стадия 9 и 10 сомитов), два других — с деформацией первых пар дифференцированных сомитов, как и в первом эксперименте. При этом в последнем случае не наблюдалось отставания в развитии эмбрионов (13 и 14 пар дифференцированных сомитов).

Анализ обобщенных данных обоих экспериментов обнаружил статистически достоверное превышение количества аномалий развития среди 40-часовых эмбрионов, подвергшихся периодическому облучению ЭМИ мобильного телефона (см. табл. 1). Наши данные коррелируют с результатами других исследований, выявивших, что облучение инкубационных яиц птицы излучением мобильных телефонов во время инкубации резко увеличивает смертность эмбрионов. Так, отмечено [8], что при постоянном облучении инкубационных куриных яиц в течение всего периода инкубации стандартной моделью мобильного телефона (GSM) эмбриональная смертность повышалась до 77% при смертности в контроле 16%. В другом исследовании [9] постоянное облучение инкубационных куриных яиц во время инкубации мобильным телефоном (SAGEM 900 MHz type) привело к возрастанию эмбриональной смертности до 31,3% по сравнению с 15,3% в плацебо группе и с 0,0–1,8% в контроле. Даже облучение инкубационных куриных яиц дважды в день по полчаса в течение первых

дней инкубации стандартным мобильным телефоном (900 МГц, SAR 0,37 Вт/кг) увеличивало смертность эмбрионов с 0% в контроле до 77,78% в облученной группе [10]. Подобный угнетающий эффект радиоизлучения на эмбриональное развитие кур ранее был установлен [11] при использовании генератора радиоизлучения (частота излучения 428 МГц, SAR 3,1–47 мВт/кг) для постоянного облучения эмбрионов во время инкубации. При этом смертность эмбрионов в облученной группе составила 60% при смертности в контроле 15,8%. Кроме того, функциональные аномалии наблюдались у 89% выведенного молодняка из облученных яиц и не отмечались в контроле.

Показано [10], что смертность куриных эмбрионов зависит от плотности энергии радиоизлучения и времени воздействия. В наших экспериментах изменение плотности мощности ЭМИ, падающего на поверхность инкубационных яиц, составляло от 5 до 15 мкВт/см² в зависимости от расположения яйца. Мы предполагаем, что более высокая вариабельность стадий развития у эмбрионов из облученных ЭМИ яиц может быть связана с изменением уровня облучения отдельных яиц. В экспериментах мы использовали сравнительно длительные сеансы воздействия ЭМИ мобильного телефона на эмбрионы (по 2 ч), но небольшое общее время воздействия (20 ч) по сравнению с практическим использованием мобильного телефона человеком. В ходе экспериментов мы не проверяли изменение температуры инкубационных яиц во время электромагнитного воздействия, так как SAR использованной модели телефона был значительно ниже предельно допустимого и согласно международным стандартам безопасности уровня ЭМИ данный уровень энергии радиоизлучения не оказывает теплового воздействия на биологические ткани [6].

Обнаруженное нами статистически достоверное повышение уровня аномалий раннего эмбрионального развития птицы под воздействием малых (нетепловых) интенсивностей радиоизлучения стандартной модели мобильного телефона, очевидно, относится к ряду экспериментальных данных, которые ставят вопрос о необходимости более тщательной оценки возможных биологических эффектов низкоинтенсивного (нетеплового) ЭМИ. Насколько нам известно, нами зафиксировано наиболее раннее проявление аномалий эмбрионального развития после воздействия ЭМИ. Характерно, что в большинстве случаев у облученных 40-часовых эмбрионов наблюдались аномалии формирования первых пар дифференцированных сомитов. Известно, что первые пять пар сомитов в последующем принимают участие в формировании костей черепа [12], кроме того, эти сомиты вносят свой вклад в формирование мышц головы и шеи. Поэтому представляет интерес проследить возможное влияние использованных режимов электромагнитного воздействия на более поздние этапы эмбрионального развития.

Следует отметить, что исследования последних лет в области электромагнитной биологии значительно расширили современные представления о возможных механизмах биологического действия неионизирующего низкоинтенсивного ЭМИ, в том числе радиоизлучения систем мобильной связи. Так, выявлено достоверное повышение уровня маркеров окислительного стресса в биологических тканях после воздействия радиоизлучения мобильного телефона (например, [13]). Установлена возможность значительного изменения экспрессии белков теплового шока в биологических моделях при воздействии радиоизлучения нетепловых интенсивностей [14]. Более того, идентифицирован ЭМИ-чувствительный сегмент ДНК, который сохранял свои свойства при трансфекции [15]. Эти данные убедительно свидетельствуют о наличии тонких, специфических механизмов восприятия клеткой низкоинтенсивного ЭМИ радиодиапазона, что, в свою очередь, ставит вопрос о необходимости концептуальных изменений в подходах к стандартам безопасности неионизирующего ЭМИ,

которые сейчас базируются исключительно на концепции теплового действия ЭМИ на биологические ткани.

Полученные нами данные согласуются с результатами многочисленных исследований последних лет, ставящих вопрос о возможности выраженного биологического воздействия (в том числе и негативного) ЭМИ радиодиапазона, генерируемых современными системами мобильной связи. Масштабы внедрения мобильной связи в повседневную жизнь человека обязывают нас строго придерживаться принципа предосторожности при разработке стандартов безопасности для пользователей системами подобного рода. В данном случае как нельзя лучше применим подход “лучше предостеречься, чем сожалеть”, лежащий в основе этого принципа. Поэтому крайне важно продолжение всесторонних исследований (экспериментальных и эпидемиологических) в данном направлении. Это может и должно привести к существенному пересмотру наших позиций в вопросах электромагнитной безопасности, а как следствие, пересмотру технологических решений в системах мобильной связи. Очевидно, речь должна идти о существенном снижении уровня ЭМИ устройств мобильной связи (значительно ниже теплового воздействия), удалении источника излучения от мозга человека путем обязательного использования фурнитуры, разработке строгих рекомендаций, резко ограничивающих избыточное использование мобильной связи, особенно детьми. Такой подход позволит человечеству в полной мере использовать мощные возможности систем мобильной связи без существенного риска для здоровья людей.

Работа выполнена при поддержке Программы академических обменов имени Фулбрайта (исследовательский грант И. Л. Якименко, № 68431821).

1. *Hardell L., Carlberg M.* Mobile phones, cordless phones and the risk for brain tumours // *Int J. Oncol.* – 2009. – **35**, No 1. – P. 5–17.
2. *Wolf R., Wolf D.* Increased incidence of cancer near a cell-phone transmitted station // *Trends in cancer prevention* / Ed. F. Columbus. – Nova Science Publishers, Inc, 2007. – P. 1–8.
3. *Santini R., Santini P., Danze J. M. et al.* Study of the health of people living in the vicinity of mobile phone base stations: 1. Influences of distance and sex // *Pathol. Biol.* – 2002. – No 50. – P. 369–373.
4. *Agarwal A., Desai N., Makker K. et al.* Effects of radiofrequency electromagnetic waves (RF-EMW) from cellular phones on human ejaculated semen: an in vitro pilot study // *Fertil. and Steril.* – 2009. – **92**, No 4. – P. 1318–1325.
5. *Якименко І. Л.* Вплив червоного лазерного світла на ембріональний розвиток та стан молодняка перепела японського // *Доп. НАН України.* – 2001. – № 5. – С. 168–172.
6. *ICNIRP.* Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic and electromagnetic fields (up to 300 GHz) // *Health Phys.* – 1998. – **74**, No 4. – P. 494–522.
7. *Hamburger V., Hamilton H. L.* A series of normal stages in the development of the chick embryo. 1951 // *Dev. Dyn.* – 1992. – **195**, No 4. – P. 231–272.
8. *Григорьев Ю. Т.* Влияние электромагнитного поля сотового телефона на куриные эмбрионы // *Радиационная биология. Радиоэкология.* – 2003. – **43**, № 5. – P. 541–543.
9. *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. – **69**, No 6. – P. 737–745.
10. *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. – **17**, No 3. – P. 205–210.
11. *Saito K., Suzuki K., Motoyoshi S.* Lethal and teratogenic effects of long-term low-intensity radio frequency radiation at 428 MHz on developing chick embryo // *Teratology.* – 1991. – **43**, No 6. – P. 609–614.
12. *Huang R., Zhi Q., Patel K. et al.* Contribution of single somites to the skeleton and muscles of the occipital and cervical regions in avian embryos // *Anat. and Embryol.* – 2000. – **202**, No 5. – P. 375–383.
13. *Ozguner F., Altinbas A., Ozaydin M. et al.* Mobile phone-induced myocardial oxidative stress: protection by a novel antioxidant agent caffeic acid phenethyl ester // *Toxicol. Ind. Health.* – 2005. – **21**, No 9. – P. 223–230.

14. De Pomerai D., Daniells C., David H. et al. Non-thermal heat-shock response to microwaves // Nature. – 2000. – **405**, No 6785. – P. 417–418.
15. Blank M., Goodman R. Electromagnetic fields stress living cells // Pathophysiology. – 2009. – **16**, No 2–3. – P. 71–78.

Белоцерковский национальный аграрный университет
Институт экспериментальной патологии,
онкологии и радиобиологии им. Р. Е. Кавецкого
НАН Украины, Киев
Индианский университет, Блумингтон, США

Поступило в редакцию 18.03.2010

I. L. Yakymenko, D. Henshel, E. P. Sidorik, A. S. Tsybulin, V. T. Rozumnjuk

Effect of mobile phone electromagnetic radiation on somitogenesis of birds

We have assessed the early embryo development of quails after the irradiation of incubation eggs by a standard mobile phone handset. Fresh fertilized quail eggs of exposed groups were irradiated periodically during 2 days before the incubation and in the first day of incubation by commercial mobile phone in the “receiving a call” position (Motorola W230, GSM 850 MHz, SAR 0.75 W/kg, intensity of RF radiation in the zone of exposure 5–15 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$, total duration of exposure 20 h). Microscopic analysis of 40-hour embryos revealed that embryos of the exposed groups did not differ significantly from the control in the stage of development according to the quantity of pairs of differentiated somites. But embryos of the exposed groups had more abnormalities of their development as compared with the control. Consolidated data of two experiments revealed a statistically significant ($p < 0.05$) increase of abnormalities in exposed embryos (33.33%) as compared with the control (9.68%). Most malformations in the exposed embryos appeared as the deformations of the first few pairs of differentiated somites. Such a kind of malformations was not found in control embryos.