

© Коллектив авторов, 2014
УДК 612.017.2.014.426-073

СИНХРОНИЗИРУЮЩИЕ ЭФФЕКТЫ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА МЕХАНИЗМЫ РЕГУЛЯЦИИ РИТМА СЕРДЦА У ЗДОРОВЫХ ЛЮДЕЙ

Ю.И. Ухов¹, О.В. Крапивникова¹, Н.С. Косицын²

Рязанский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова,
г. Рязань (1),
Российская академия наук, г. Москва (2)

В статье рассматриваются механизмы синхронизирующего влияния магнитного поля (МП) на работу регуляторных механизмов. С помощью кардиоинтервалографии изучена адаптация целостного организма при различных комбинациях параметров поля. Выявлены комбинации параметров стимула, при которых наступает синхронизация и десинхронизация работы центров регуляции сердечного ритма, усиливается деятельность вазомоторного центра, прослежено влияние синхронности работы нервных центров на напряжение механизмов адаптации.

Ключевые слова: адаптация, кардиоинтервалография, биотропные параметры магнитного поля, индекс напряженности регуляторных систем, центры регуляции ритма сердца.

Эффекты магнитного поля (МП) на молекулярном, клеточном и органном уровнях – предмет исследования широкого круга специалистов [3, 4, 5, 6, 8, 9, 10, 11]. Синхронизирующее действие МП было описано ранее [7].

Цель работы – изучить синхронизирующее действие МП на регуляцию ритма сердца у здоровых людей.

Материалы и методы

Обследованы 340 здоровых испытуемых в возрасте 18-19 лет обоего пола. На проведение исследования получено одобрение локального этического комитета (протокол №4 от 02.11.2012) и информированное согласие каждого из участников. Магнитный стимул наносился с помощью прибора ПОЛИМАГ-01 Елатомского приборного завода на область надпочечников. На частотах 3, 10 и 27 Гц выбраны три интенсивности (5, 10 и 20 мТл) и 4 экспозиции (5, 10, 15 и 20 минут). В соответствии с этим обследованный контингент разделен на 36 микрогрупп. Съем кардиоинтервалограммы

(КИГ) проводился с помощью прибора ВАРИКАРД 1,41 в положении сидя при стандартном наложении электродов перед нанесением и тотчас после нанесения МП. В каждой КИГ изучались: а) индекс напряжения регуляторных систем (ИН) как показатель превалирования симпатических механизмов в процессе регуляции и напряжения адаптации; б) относительная величина LF/HF как показатель влияния вазомоторного центра на автономный контур регуляции ритма; в) относительная величина VLF/HF как показатель влияния высших центров на автономный контур регуляции. На каждой частоте изучалась динамика показателей а)-в) при изменении интенсивности МП (5-10-20 мТл) и та же динамика при постоянной интенсивности с изменением частоты (3-10-27 Гц). При этом получались кривые, отражающие паттерн изменения величин а) – в) при постоянной частоте с изменяющейся интенсивностью и при постоянной интенсивности с изменяемой частотой. Анализировались: форма кривой,

иллюстрирующей паттерн; сходство формы кривой для LF/HF и VLF/HF для оценки синхронности изменения величин; динамика ИН. Данные представлены в виде среднего арифметического и стандартной ошибки среднего ($M \pm m$). Достоверность различий средних величин ИН оценивалась с использованием критерия репрезентативности по Стьюденту с помощью Microsoft Excel 2003. Приводятся только достоверные данные ($p \leq 0.05$).

Результаты и их обсуждение

КИГ – надежный метод оценки адаптации целостного организма [2]. При этом уровень регуляции ритма – индикатор напряжения регуляторных систем организма. Так при спокойной работе регуляция ритма находится в ведении автономного уровня регуляции (диапазон HF), вмешательство же более высоких уровней регуляции, составляющих центральный контур (LF- и VLF-диапазоны), свидетельствует о напряжении, развитии стресс-реакции, дополнительных затратах организмом пластических материалов и энергии, что требует адекватного уровня обмена веществ и иного уровня функционирования сердечнососудистой системы [2]. Построение кривой изменения индексов LF/HF и VLF/HF при изменяемых параметрах МП выявило следующие паттерны влияния центрального контура регуляции на автономный контур (рис. 1): 1. монотонное возрастание влияния компонентов регуляторного контура (вазомоторного центра или церебральных эрготропных влияний) на автономный контур регуляции. Данная модель реакции означает, что усиление интенсивности или частоты стимула ведет к повышению тормозящих влияний, следовательно, к росту напряжения механизмов адаптации; 2. параболическая кривая с вершиной вверх с неполным правым концом, означающая, что при росте параметра стимула до средних значений влияния центрального контура на автономный увеличиваются, адаптационные механизмы напряжены. Однако при дальнейшем усилении стимула напряжение остается на прежнем

уровне, организм входит в фазу стабильных показателей и стабильной адаптации; 3. отсутствие реакции регуляторных систем при увеличении параметра частоты и интенсивности МП. С одной стороны отсутствие реакции может свидетельствовать о состоянии рефрактерности организма в данной динамике стимула вследствие энергозатратности реакции; в этом случае наиболее оптимальной стратегией адаптации является ареактивность. С другой стороны отсутствие реакции говорит о неинформативности стимула, вследствие чего реакция не формируется; 4. парабола с вершиной вниз и неполным правым концом характеризуется тем, что максимальные влияния высших центров на автономный уровень наблюдается при самом низком значении частоты или интенсивности. Для организма наиболее напряженными являются стимулы низкой частоты (интенсивности). При увеличении силы стимуляции до средних значений напряжение достоверно снижается и остается на прежнем уровне, несмотря на дальнейшее повышение частоты или интенсивности до высоких значений; 5. параболическая форма кривой с центром вверх и неполным левым концом характерна для ситуации, когда для организма наибольшую напряженность вызывают низкие и средние стимулы, то есть частота в 3 и 10 Гц или интенсивность в 5 и 10 мТл. При увеличении же значения стимула до высоких значений вмешательство высших центров в работу автономного контура снижается, напряженность уменьшается: для организма сильный стимул более приемлем, что отражает парадоксальность реакции; 6. параболическая форма кривой характеризуется тем, что уровень коркового торможения испытывает резкие колебания, что требует от организма дополнительных и значительных затрат энергии. Параболические формы кривых представляются как показатель напряженности механизмов адаптации; 7. монотонное снижение влияния компонентов центрального контура на автономный контур регуляции. Данная модель реакции является обратной №1:

усиление интенсивности или частоты стимула ведет к снижению тормозящих влияний, следовательно, к снижению напряжения адаптации. Исследование сходства паттернов при различных характеристиках стимула (табл. 1) выявило три варианта работы вазомоторного центра и высших центров регуляции ритма сердца: 1. оба центра работают синхронно и имеют одинаковый паттерн: при постоянной частоте (или интенсивности) МП увеличение второго параметра стимула приводит к сходству работы обоих уровней регуляции, к их синхронизации; при этом ИН достоверно снижается; вмешательство и вазомоторного центра и высших центров регуляции ритма будет уменьшаться, симпатические влияния ослабевают. 2. центры регуляции работают с разнонаправленными паттернами, активность вазомоторного центра достоверно растет, а активность высших центров снижается (несинхронная работа центров); сопровождается достоверным ростом ИН более чем в 1,8 раза; 3. работает один уровень регуляции, а именно вазомоторный центр, в то время как высшие центры регуляции демонстрируют постоянство работы; такая работа отмечена значительно чаще, чем десинхронизация; ИН при этом растет, но не столь значительно, как при несинхронной работе центров – в 1.3-1.4 раза.

Изучение влияния МП на организм человека особенно актуально для лечебных воздействий при различных видах патологии [4, 5]. Исследование здоровых людей [8] не менее актуально и связано с возможностями коррекционных воздействий в норме, профилактике и коррекции эмоциональных и функциональных физиологических сдвигов, а также с коррекцией повышенной магниточувствительности. Кроме того, любой работе по созданию методов лечения и реабилитации больных должно предшествовать тщательнейшее исследование действия фактора на здоровых людей. Очевидно одно: подбирая адекватное магнитное воздействие, можно управлять работой регуляторных систем, варьировать состояние сердечнососудистой системы как ведуще-

го транспортного звена процесса обеспечения адаптации человека [2]. Необходимо учитывать также, что в повседневной жизни организм подвергается воздействию крайне изменчивого по своим параметрам МП, «вписываясь» [1] в сложившееся на Земле магнитное поле. К его воздействию добавляются еще дополнительные, появившиеся в связи с развитием новых технологий, источники излучения, к которым не выработаны эволюционные механизмы адаптации. Выявленная зависимость ИН от параметров стимула имеет практическую значимость, поскольку позволяет, давая низкие и высокие частоты МП, повышая интенсивность, снизить напряжение адаптации, а при средней частоте, повышая интенсивность – повысить тонус организма. Здесь мы также видим стратегию адаптации организма к МП: при высокой и низкой частоте и росте интенсивности короткая экспозиция воздействия вполне приемлема для организма, адаптация к стимулу не вызывает сильного напряжения, а напротив, работа регуляторных систем оптимизируется с ростом времени. Напряженными являются несколько моментов – если частота средняя или время стимуляции 10-15 минут, таким образом, регуляторные системы напряжены при непрекращающемся воздействии средней частоты. Если же рассмотреть влияние растущей частоты при постоянной интенсивности, то синхронизирующими являются средняя и высокая интенсивность при различном времени стимуляции. Это означает, что, не изменяя интенсивность, но наращивая частоту, при средних 10мТл можно наносить и длительные воздействия, но при высокой интенсивности с ростом частоты лучше не продлевать стимуляцию, делать ее короткой, не более 10 минут. Десинхронизирующее воздействие МП встречается нечасто, однако это необходимо учитывать при прогнозировании последствий магнитных воздействий. Так при низкой частоте и интенсивности рост второго параметра в купе со средней 10-15 минутной экспозицией вызовет десинхро-

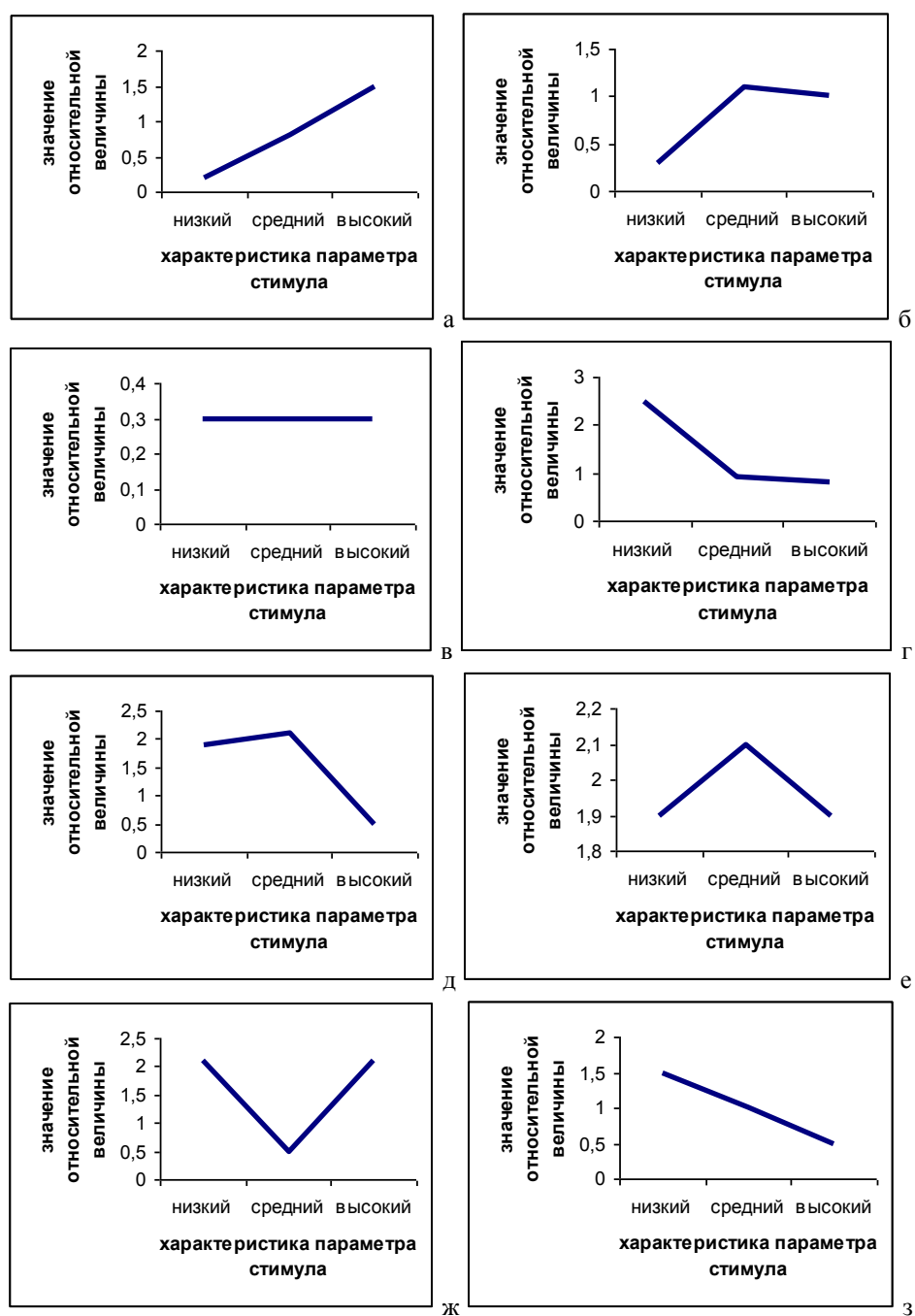


Рис. 1. Выявленные паттерны изменения индексов LF/HF или VLF/HF при изменении параметров магнитного поля: а – паттерн 1; б – паттерн 2; в – паттерн 3; г – паттерн 4; д – паттерн 5; е-ж – паттерн 6; з – паттерн 7

Таблица 1

**Зависимость ИН и паттернов динамики LF/HF В VLF/HF
от частоты и интенсивности МП***

Параметр стимула	LF/HF	VLF/HF	ИН исх.	ИН кон.	Параметр стимула	LF/HF	VLF/HF	ИН исх.	ИН кон.
3 Гц – 5 минут	2	2	116,85±11,02	23,0±2,3	5 мТл – 5 минут	1	1	43,34±2,36	34,71±3,11
3 Гц – 10 минут	6	2	26,62±2,41	48,34±5,32	5 мТл – 10 минут	7	3	67,49±6,11	94,87±5,23
3 Гц – 15 минут	2	7	33,87±4,11	61,29±6,37	5 мТл – 15 минут	1	4	35,77±5,69	64,64±4,73
3 Гц – 20 минут	6	6	69,3±2,89	43,12±4,60	5 мТл – 20 минут	1	3	53,72±6,33	75,2±4,33
10 Гц – 5 минут	2	2	71,67±2,34	70,32±4,44	10 мТл – 5 минут	2	3	68,37±2,45	66,59±2,46
10 Гц – 10 минут	4	3	116,04±10,56	162,69±12,6	10 мТл – 10 минут	6	6	49,43±3,69	34,47±2,88
10 Гц – 15 минут	7	3	81,65±7,11	114,97±6,15	10 мТл – 15 минут	7	7	58,27±2,33	38,85±4,12
10 Гц – 20 минут	6	3	56,28±3,59	84,48±5,66	10 мТл – 20 минут	7	7	60,1±5,38	45,08±2,39
27 Гц – 5 минут	4	4	47,19±4,33	27,78±2,78	20 мТл – 5 минут	3	3	72,27±5,66	43,67±3,59
27 Гц – 10 минут	6	6	43,76±2,13	32,58±3,89	20 мТл – 10 минут	4	4	57,19±5,69	33,37±4,69
27 Гц – 15 минут	3	7	57,26±1,11	52,12±2,56	20 мТл – 15 минут	7	3	40,66±2,33	57,47±4,99
27 Гц – 20 минут	4	4	39,4±3,68	24,24±2,89	20 мТл – 20 минут	7	3	74,47±6,99	104,25±7,98

* – все попарные различия величины ИН в таблице до стимуляции и после достоверны ($p \leq 0.05$).

нинизацию работы регуляторных систем, напряжение и активацию симпатического звена регуляции. Отмечен и еще один достаточно частый случай, когда работает только вазомоторный центр при постоянстве высших влияний. Обращает на себя внимание тот факт, что это наблюдается при средних и высоких частотах при непрекращающейся стимуляции, а также при низких и высоких интенсивностях при длительном и непрекращающемся воздействии. Виден также факт реакции адаптационной системы на непрекращающийся (продолжающийся более 5 минут) стимул (табл. 2): при средней экспозиции МП (10-15 минут) при увеличении интенсивности или частоты наблюдается десинхронизирующее влияние на регуляторные системы, либо проявляется напряжение вазомоторного центра. При постоянной низкой частоте в 3 Гц, как и при низкой интенсивности в 5 мТл, рост второго параметра МП обязательно вызовет «стресс непрекраща-

ющегося воздействия». При средней продолжительности стимуляции в 10-15 минут наступает десинхронизация работы нервных центров, которая продолжается и при 15-20-минутной стимуляции. При средних значениях частоты и интенсивности в 10 Гц и 10 мТл при росте второго параметра стимула наблюдается «стресс начала стимуляции» (с ростом частоты при 10мТл). При продолжающемся воздействии в 10 минут наступает «стресс непрекращающегося стимула», который пусть и не проявляется в десинхронизации, но сохраняется и при 15- и при 20-минутном воздействии. Таким образом, к средним частотам, как и к средним интенсивностям организм с трудом приспосабливается, они энергозатратны. Высокие значения частоты (27 Гц) и интенсивности (20 мТл) реакция на непрекращающийся стимул наступает поздно – при экспозиции в 15 минут, а при 20-минутной стимуляции уже наблюдается синхронизация работы цен-

тров и снижение напряжения адаптации. Таким образом, низкие и средние показатели стимула должны вызывать особое внимание при их применении в практике воздействия МП. Именно при 3 и 10 Гц; 5 и 10 мТл имеет место сильная реакция на 10-15 минутное воздействие, причем эти реакции продолжительны и сохраняются

при дальнейшей стимуляции, исход воздействия – стабильная адаптация, синхронизация в работе центров и снижение напряжения не наступает. Адаптация к таким изменяющимся стимулам имеет высокую для организма цену, организм постоянно выбирает путь дальнейшей эволюции [3].

Таблица 2

**Особенности реакции на непрекращающийся стимул
в зависимости от частоты и интенсивности МП**

Частота, Гц	Время, мин.	Степень синхронизации	Интенсивность, мТл	Время, мин.	Степень синхронизации
3	5	Синхронизация	5	5	Синхронизация
	10	Десинхронизация		10	Синхронизация
	15	Десинхронизация		15	Десинхронизация
	20	Синхронизация		20	Вазомоторный
10	5	Синхронизация	10	5	Вазомоторный
	10	Вазомоторный		10	Синхронизация
	15	Вазомоторный		15	Синхронизация
	20	Вазомоторный		20	Синхронизация
27	5	Синхронизация	20	5	Синхронизация
	10	Синхронизация		10	Синхронизация
	15	Вазомоторный		15	Вазомоторный
	20	Синхронизация		20	Вазомоторный

Выводы

1. У здоровых людей в возрасте 18-19 лет магнитное поле может являться синхронизатором и десинхронизатором в работе центральных звеньев регуляции сердечного ритма; кроме того, наступает эффект изолированной работы вазомоторного центра без вмешательства высших центров регуляции.

2. Несинхронная работа центров регуляции сердечной деятельности приводит к росту индекса напряжения в 1,8 раза, что наблюдается при низких частотах и интенсивности магнитного поля при его экспозиции в 10-15 минут.

3. Эффект тормозящего влияния вазомоторного центра без вмешательства высших центров регуляции характеризуется ростом индекса напряжения в 1,3 – 1,4 раза, что наблюдается при средних и высоких значениях биотропных параметров магнитного поля при средней и высокой экспозиции стимула.

4. Синхронизирующий эффект магнитного поля наиболее благоприятен, характеризуется достоверным снижением индекса напряжения.

5. Магнитное поле с изменяющимися параметрами вызывает реакцию на «непрекращающееся воздействие» в 10-15 минут, которая наиболее оптимально протекает при высоких значениях параметров стимула. Слабые стимулы вызывают десинхронизацию, а средние – усиление вазомоторных влияний, при этом адаптация при продолжении воздействия не наступает.

6. Наиболее имманентными организму являются стимулы с высокой или низкой частотой и интенсивностью.

Литература

1. Анохин П.К. Теория отражения и современная наука о мозге / П.К. Анохин. – М.: Знание, 1970. – 46 с.
2. Баевский Р.М. Математический анализ изменения сердечного ритма при стрессе / Р.М. Баевский, С.З. Клецкин, О.И. Кириллов. – М.: Наука, 1984. – 225 с.
3. Бецкий О.В. Синергетика и электромагнитные поля / О.В. Бецкий, Н.И. Лебедева // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2004. – №4. – С. 5-16.
4. Жукова Г.В. Развитие состояния антистрессорной адекватности у животных-опухоленосителей под влиянием

- ЭМИ КВЧ в комбинации со СКЕНАР-терапией / Г.В. Жукова, Л.Х. Гаркави, Л.П. Барсукова // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2006. – №2. – С. 20-35.
5. Мосенко С.В. Оценка эффективности ритмической транскраниальной стимуляции в остром периоде ишемического инсульта / С.В. Мосенко, Н.А. Арсенова // Нейрофизиологические исследования в клинике. – М.: ФГБУ «Научно-исследовательский институт нейрохирургии имени академика Н.Н. Бурденко» РАМН, лаборатория клинической нейрофизиологии, 2013. – С. 19-20.
6. Федоров В.И. Нижний терагерцевый диапазон электромагнитных волн и реакция на него биологических объектов разных уровней организации / В.И. Федоров, С.С. Попова // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2006. – №2. – С. 3-19.
7. Чуян Е.Н. Влияние низкоинтенсивного электромагнитного излучения миллиметрового диапазона на связь инфранизкой ритмики физиологических процессов организма с вариациями гелиофизических факторов / Е.Н. Чуян, П.Е. Григорьев // Миллиметровые волны в биологии и медицине. – 2008. – №2. – С. 45-61.
8. Церебральные реакции здорового человека на ритмическую транскраниальную магнитную стимуляцию разной интенсивности / Е.В. Шарова [и др.] // Физиология человека. – 2010. – Т. 36, № 5. – С. 1-9.
9. Anderson L.E. Electric and magnetic fields at extremely low frequencies / L.E. Anderson, W.T. Kaune // Non-ionizing Radiation protection / ed. M.J. Suess. – 2 ed. – Copenhagen: WHO, regional office for Europe, 1989. – (WHO regional publ. European, ser. № 25).
10. Barker A. An introduction to the basic principles of magnetic stimulation / A. Barker // Journal Neurophysiology. – 1991. – Vol. 8, №1. – P. 26-29.
11. Bernhardt J.H. Electromagnetic fields: Biophysical Interactions Mechanisms / J.H. Bernhardt, E. Vogel // Non-ionizing Radiation: Proceeding Third International Non-ionizing Radiation workshop. – Baden, Austria, 1996. – P. 230-244.

SYNCHRONIZATION EFFECTS OF MAGNETIC WAVE TO THE MECHANISM OF CARDIC RHYTHM REGULATION IN NORMAL PEOPLE

U.I. UKHOV, O.V. Krapivnikova, N.S. Kositsin

Mechanisms of synchronization effect of magnetic waves to the regulation mechanisms are discussed in the article. By means of cardiointervalomethric method, an adaptation of a whole organism to the different combinations of wave parameters is described. Synchronization- and desynchronization-realising combinations of stimulus parameters are released, which increase vasomotor regulation activities; correlation between synchronization of neural centers activities and stress-index are described.

Keywords: *adaptation, cardiointervalomethric method, biotropic parameters of magnetic wave, stress-index, centers of cardiac rhythm regulation.*

Крапивникова Ольга Владимировна – канд. биол. наук, ст. преп. кафедры гистологии и биологии ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России.

Тел.: (4912) 460897.

E-mail: krapivnikova2012@yandex.ru.

Ухов Юрий Иванович – д-р мед. наук, проф., зав. кафедрой гистологии и биологии ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России, Засл. деятель науки РФ.

Косицын Николай Степанович – д-р биол. наук, проф., гл. науч. сотрудник лаборатории цитоархитектоники ФГБУН «Институт Высшей нервной деятельности и нейрофизиологии» Российской Академии Наук.