

УДК 577.175.82:591.16:599.323.4

ВОСПРОИЗВОДСТВО И ПОЛОВОЕ СОЗРЕВАНИЕ ЛАБОРАТОРНЫХ КРЫС В УСЛОВИЯХ ПОСТОЯННОЙ ТЕМНОТЫ

Е. А. Хижкин¹, В. Д. Юнаш², В. А. Илюха^{1,2}, И. А. Виноградова²,
А. В. Морозов¹, Н. Г. Тимейко²

¹Институт биологии Карельского научного центра РАН

²Петрозаводский государственный университет

Исследованы эффекты искусственного усиления секреторной функции эпифиза, вызванного воздействием световой депривации, на показатели воспроизводства крыс и темпы их развития в постнатальном онтогенезе. Специфический световой режим оказывал модулирующее влияние на изученные показатели, но степень влияния зависела от того, на каком этапе онтогенеза начиналось его воздействие. Содержание самок в период беременности при постоянной темноте приводило к повышению смертности потомства при рождении и в течение первого месяца жизни, задержке физического развития (более позднее по сравнению с крысятами, рожденными в условиях других световых режимов, открытие глаз) и полового созревания самцов и самок.

К л ю ч е в ы е с л о в а: фотопериод, постоянная темнота, мелатонин, воспроизводство, половое созревание.

**E. A. Khizhkin, V. D. Yunash, V. A. Ilyukha, I. A. Vinogradova,
A. V. Morozov, N. G. Timeyko. REPRODUCTION AND PUBERTY IN RATS
EXPOSED TO CONSTANT DARKNESS**

The effect of artificial enhancement of the pineal gland secretory function, caused by light deprivation on the reproduction indices of rats and their rate of development in postnatal ontogenesis was investigated. Specific light conditions modulated the studied indices, yet the extent of the impact depended on the stage of ontogenesis in which the impact began. Exposure to constant darkness during the gestation period resulted in an increase in pups mortality at birth and during the first month of life. In addition, a delay in physical development (later eye opening compared with pups born under other light modes) and sexual maturation of male and female pups was observed.

Key words: photoperiod, constant darkness, melatonin, reproduction, puberty.

Введение

Свет является важным экологическим фактором, исследованию влияния которого на различные физиологические функции животных уделяется все больше внимания [Ани-

симов и др., 2012]. В то же время в литературе имеются лишь незначительные упоминания о влиянии темноты на организм животных. Большинство из них описывают влияние укороченного фотопериода на суточные из-

менения поведения и репродуктивную функцию преимущественно диких и сельскохозяйственных животных [Beery et al., 2008; Walton et al., 2011]. Такое воздействие света на организм осуществляется посредством нейроэндокринного органа эпифиза и его гормона мелатонина, синтез которого подчинен суточной и сезонной периодичности. Сезонные изменения продолжительности дня являются одним из условий контроля пубертатного развития – сокращение длительности светового дня после летнего солнцестояния тормозит половое созревание как у самцов, так и у самок мелких грызунов [Butler et al., 2007a, b]. Исследования эффектов смены дня и ночи на мелких млекопитающих проводятся с использованием взрослых особей, хотя не менее важным является фотопериод на ранних стадиях онтогенеза и даже в пренатальный период, так как в это время определяется траектория индивидуального развития животных [Bronson, 1985]. У многих видов грызунов короткий день в период рождения тормозит репродуктивное развитие в первые несколько месяцев жизни (белоногая мышь [Johnston, Zucker, 1980], оленья мышь [Whitsett et al., 1984], сибирский хомяк [Hoffmann, 1978], луговая полевка [Dark et al., 1990], горная полевка [Horton, 1984], обыкновенная полевка [Craven, Clarke, 1982], кузнечиковая мышь [Frost, Zucker, 1983], рисовая болотная крыса [Edmonds, Stetson, 1995], турецкий хомяк [Hong, Stetson, 1986]). Однако у самок и самцов хомяков, родившихся в условиях короткого дня, быстро восстанавливается репродуктивное развитие при содержании их в длинном фотопериоде [Weil et al., 2006]. У самок хомяков, помещенных в короткий день, наблюдается замедление развития яичников, которое приводит к усилению фертильности в зрелом возрасте, преимущественно в связи с сохранением большего числа примордиальных фолликулов [Kabithe, Place, 2008]. Самцы сирийских хомячков, матери которых помещались в условия короткого дня, имели меньший размер семенников, чем те, матери которых находились в период беременности при длинном световом дне [Beery et al., 2008].

Эффекты фотопериода в раннем онтогенезе не ограничиваются только репродуктивной системой. Самцы луговой полевки, помещенные в условия короткого дня, имели во взрослом состоянии массу мозга меньшую по сравнению с теми, кто был помещен в длинный световой день [Dark et al., 1987]. Раннее удаление пинеальной железы ослабляло антитело-зави-

симую клеточную цитотоксичность и задерживало развитие тимуса у грызунов [Csaba, Barath, 1975; Vermeulen et al., 1993], а введение мелатонина *in ovo* усиливало клеточный и гуморальный иммунный ответ у домашних кур [Moore, Siopes, 2005].

Цель настоящей работы – исследовать влияние усиления мелатонинсекретирующей функции пинеальной железы постоянной темнотой на показатели воспроизводства, темпы развития и скорость полового созревания крыс в зависимости от периода начала экспериментального воздействия.

Материалы и методы

Исследования выполнены с использованием приборно-аналитической базы Центра коллективного пользования научным оборудованием ИБ КарНЦ РАН.

В исследовании на крысах сток Вистар было проведено экспериментальное моделирование физиологической гиперфункции эпифиза, вызванной воздействием постоянной темноты в период беременности самок крыс и с момента рождения потомства. Самки в период беременности находились при стандартном освещении (12:12, LD) и постоянной темноте (DD). Потомство от самок первой группы после рождения было разделено на две подгруппы и оставлено в стандартном (LD) освещении или помещено в постоянную темноту (LD/DD). Потомство от самок группы DD содержали в том же световом режиме, что и их матерей во время беременности, – при постоянной темноте (DD/DD).

Регистрировали сроки наступления беременности самок крыс, физиологическое состояние самок после периода выкармливания, уровень рождаемости и смертности потомства, показатели развития крысят (динамику отлипания ушных раковин, появления первичного волосяного покрова, открытия глаз), массу тела беременных самок и их потомства, сроки полового созревания крыс (самцов – по опусканию семенников, самок – по раскрытию влагалища).

Полученные данные обрабатывали общепринятыми методами вариационной статистики, достоверность различий между группами оценивали на основании непараметрического критерия Вилкоксона–Манна–Уитни. Все манипуляции при проведении эксперимента выполнены с соблюдением принципов Хельсинкской декларации о гуманном отношении к животным [Этическая экспертиза..., 2005].

Результаты и обсуждение

Для размножения содержащихся в стандартных световых условиях крыс (LD) помещали группами (1 самец + 5 самок) в клетки, находящиеся в тех же световых условиях или в условиях постоянной темноты (DD). Несмотря на то что все экспериментальные животные были ссажены одновременно и роды у всех самок, содержащихся в условиях LD и DD режимов, начались в один день (19.11.2013), нами были выявлены некоторые особенности динамики этого процесса в зависимости от условий освещения, в которых находились крысы. Установлено, что в группе самок, содержащихся все время беременности в темноте, роды проходили менее интенсивно по сравнению с самками из стандартного освещения. К пятнадцатым суткам после первых родов в режиме DD количество крыс, принесших потомство, составляло 60 % от всех самок этой группы (рис. 1). В стандартном световом режиме к пятнадцатым суткам родили 80 % самок. Несмотря на это, в обеих экспериментальных группах роды завершились в один день (10.12.2013).

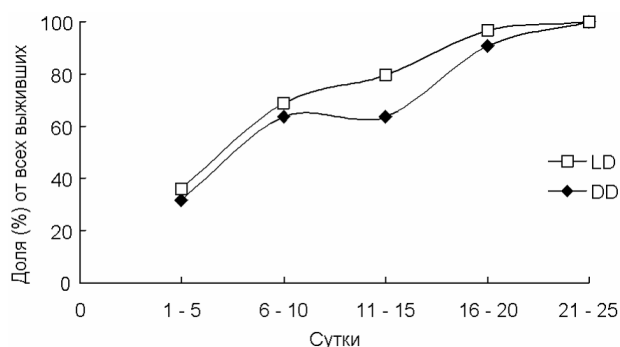


Рис. 1. Динамика родов самок в различных световых условиях. Здесь и далее: LD – стандартное освещение, DD – постоянная темнота

Очевидно, содержание в постоянной темноте повлияло на протекание беременности крыс. Примечательно, что в этих световых условиях самок, принесших в помете более 15 крысят, было в полтора раза больше, чем при регулярно чередующемся освещении (рис. 2). С другой стороны, в условиях постоянной темноты число самок, не принесших приплода, в 2,7 раза превышало количество таковых, находившихся в группе со стандартным освещением.

В ходе эксперимента было установлено, что число родившихся крысят на одну самку не различалось в стандартных световых условиях и в темноте (рис. 3, А). При этом в условиях постоянной темноты количество мертворожден-

ных крысят более чем в два раза превышало аналогичный показатель в стандартном освещении. На момент отсадки потомства от самок (25 дней после рождения) в группе DD/DD количество выживших животных было несколько ниже, чем в стандартном освещении (рис. 3, Б). Это свидетельствует о более низкой выживаемости животных, рожденных самками, находившимися в период беременности при световой депривации.

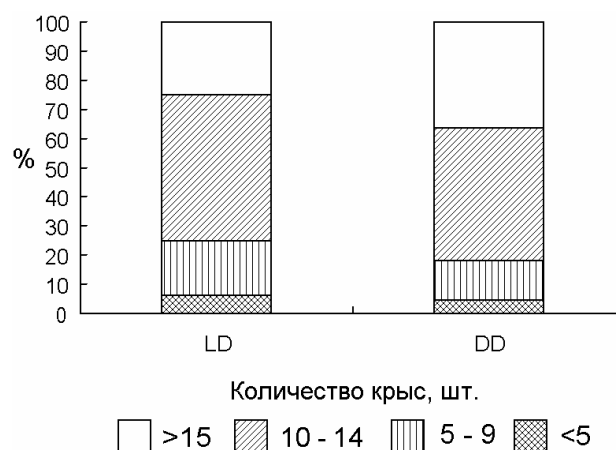


Рис. 2. Распределение самок по количеству крысят в помете при различных световых режимах

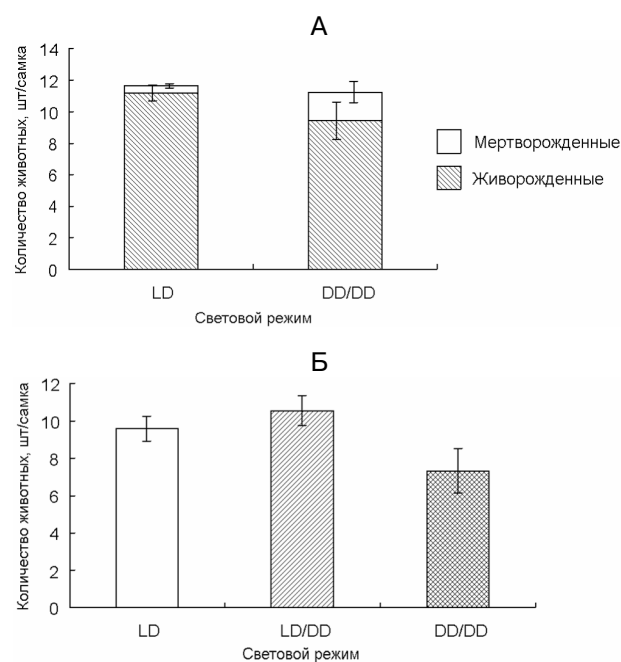


Рис. 3. Количество рожденных (А) и выживших к моменту отсадки от самки крысят (Б) при различных световых режимах ($M \pm m$)

Здесь и на рисунках 4, 5: LD/DD – беременные самки содержались при стандартном освещении, а рожденные ими крысята – при постоянной темноте, DD/DD – беременные самки и рожденные ими крысята содержались при постоянной темноте

Исследование физиологического состояния самок после лактации (помет каждой самки состоял в среднем из 15 крысят) позволило выявить у них по сравнению с нерожавшими тенденцию к снижению уровня общего белка плазмы во всех световых режимах и уровня лейкоцитов крови в группе DD/DD. Кроме того, отмечено достоверное снижение массы тела самок, рожавших в стандартном освещении и выкармливавших потомство в темноте, по сравнению с рожавшими самками в группе LD (рис. 4).

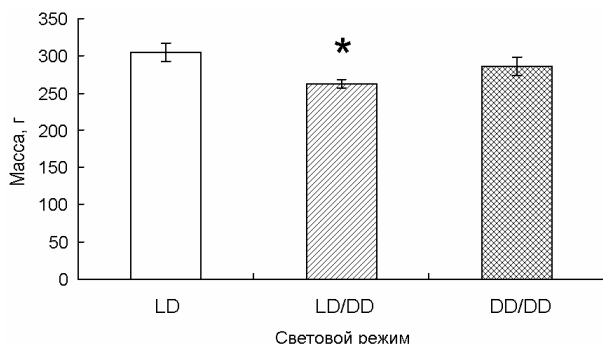


Рис. 4. Масса самок крыс к моменту отсадки от них потомства при различных световых режимах ($M \pm m$)

* – изменения достоверны по сравнению с самками, содержавшимися в стандартном режиме освещения

Содержание новорожденных крысят в специфических световых условиях сказывалось на их развитии. Открытие глаз проходило интенсивнее у крысят, помещенных в темноту сразу после рождения (LD/DD), тогда как животные, матери которых в период беременности и они сами с момента рождения содержались в условиях световой депривации (DD/DD), демонстрировали снижение темпов открытия глаз (рис. 5, А). Появление первичного волосяного покрова проходило более ускоренно в группах LD/DD и DD/DD. Значительных различий в динамике отлипания ушных раковин не выявлено.

Половое созревание у самцов, содержащихся в стандартных световых условиях (LD) и при постоянной темноте с рождения (LD/DD), отмечалось уже на 21-й, а заканчивалось на 31-й день жизни, что соответствует физиологическим нормам (рис. 5, Б). В режиме DD/DD опускание семенников у самцов начиналось на два дня позже, но заканчивалось к 31-м суткам, как и в двух других группах. Половое созревание самок в группах с постоянной темнотой, независимо от момента начала ее воздействия, задерживалось на два дня по сравнению с аналогичным процессом при стандартном световом режиме. Примечательно, что в группе LD и LD/DD раскрытие влагалища у самок завершалось к 59-му, а в DD/DD световых ус-

ловиях – к 61-му дню жизни крыс (рис. 5, В). Следует отметить, что во всех режимах освещения сроки полового развития и самцов и самок существенно не отличались от физиологической нормы, характерной для этого вида.

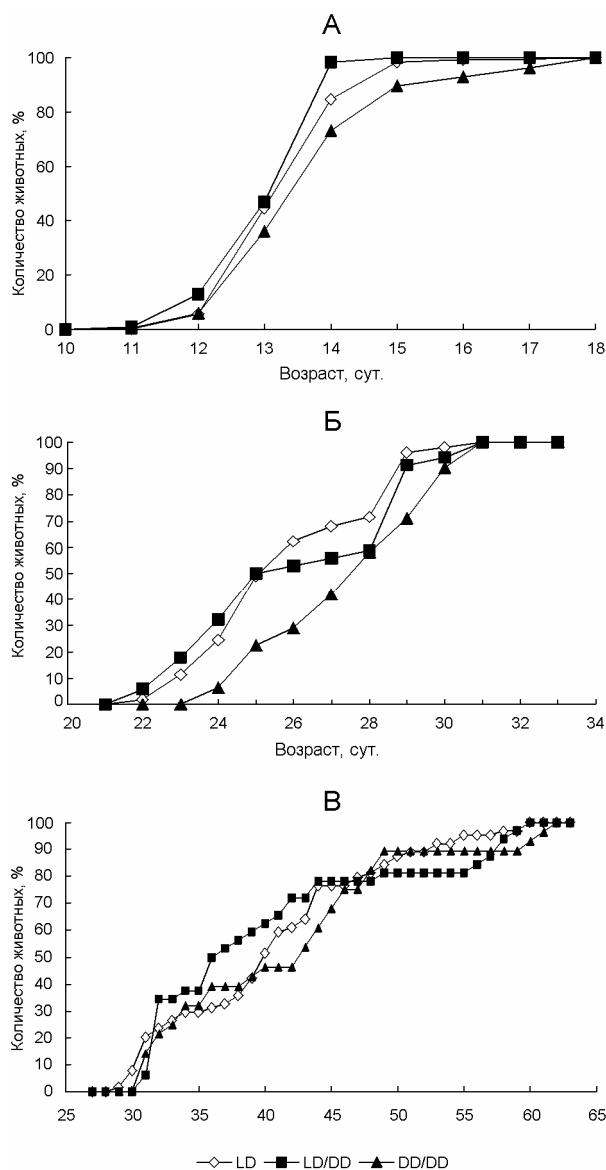


Рис. 5. Динамика развития крыс в раннем постнатальном онтогенезе при различных световых режимах:

А – открытие глаз у крысят, Б – половое созревание самцов, В – половое созревание самок

По нашему мнению, выявленные эффекты постоянной темноты на показатели воспроизводства и темпы физического и пубертатного развития связаны прежде всего с повышением функциональной активности эпифиза и индукцией синтеза мелатонина железой. Этот гормон играет существенную роль в регуляции полового созревания, репродуктивных циклов, стрессорной реакции и многих других физиологиче-

ских процессов [Anisimov, 2006]. В литературе имеются сведения, что информация о фотопериоде, в котором содержатся самки во время беременности и лактации, передается плоду через плаценту и в дальнейшем с молоком матери [Stetson et al., 1986]. Не исключается, что материнская пинеальная железа может посредством гормона мелатонина оказывать влияние на развитие плода и половое созревание потомства. Было выявлено [Bishnupuri, Haldar, 2000], что изменение световых режимов (постоянное освещение, постоянная темнота, длинный и короткий фотопериод) у индийских пальмовых белок на ранних этапах беременности (до 30-го дня) приводило к резорбции или гибели эмбрионов. Однако изменение светового режима на более поздних стадиях (от 30 дней) не влияло на протекание беременности, и рождалось здоровое потомство.

В нашем исследовании выраженность развивающихся изменений у потомства при постоянной темноте зависела от того, в какой период онтогенеза начиналось воздействие. Несмотря на то что крыс относят к сумеречным и даже ночным животным, отсутствие суточного чередования дня и ночи при постоянной темноте в период эмбрионального развития (искусственное физиологическое усиление секреторной функции эпифиза) вызывало повышение смертности крысят при рождении и в течение первого месяца жизни. При этом динамика родов у самок в условиях световой депривации была изменена по сравнению с крысами в стандартном световом режиме. Следует отдельно отметить, что из 25 крыс в группе DD не принесли помет четыре самки, при том что в группе LD из 68 таких была только одна.

Имеющиеся в литературе данные свидетельствуют о негативном эффекте нарушения фотопериода на физиологическое состояние животных. Отмечается, что постоянная темнота, вызывающая наибольший по сравнению с другими режимами фотопериодический стресс, приводит к снижению накопления абдоминального жира и массы тела у самок индийских пальмовых белок в период лактации [Bishnupuri, Haldar, 2000]. В нашем эксперименте также было отмечено достоверное снижение массы тела самок, находившихся весь период беременности в стандартном освещении, но выкармливавших потомство в темноте, по сравнению с самками группы LD. Считается, что жир, накопленный самками в течение беременности, метаболизируется в период лактации в качестве энергетического субстрата для секреции молока [Innes, Millar, 1981]. С учетом этого выявленное снижение массы самок по-

сле выкармливания потомства в условиях световой депривации может являться причиной более интенсивной утилизации жира в процессе секреции молока.

Изменение фотопериода на поздних этапах беременности самок нарушает рост и половое развитие потомства [Johnston, Zucker, 1980; Whitsett et al., 1984; Bishnupuri, Haldar, 2000]. Нами показано, что у крысят, выращенных самками в темноте, наблюдалась задержка физического развития (более позднее по сравнению с крысятами в других световых режимах открытие глаз) и полового созревания самцов и самок. Этот феномен может быть рассмотрен как результат переноса фотопериодической информации от матери к плоду, так как в период внутриутробного развития при изменении светового режима нарушается эндогенный ритм синтеза мелатонина именно у самок [Horton et al., 1990; Davis, 1997].

Настоящее исследование, а также выявленные в предыдущих работах особенности полового созревания у крыс при воздействии различных световых условий, начиная с пренатального периода, с момента рождения и с 25-дневного возраста [Хижкин и др., 2013], подтверждают значительную роль эпифиза (его функциональной активности) и мелатонина в становлении репродуктивной функции. Отсутствие фотопериодичности при двух контрастных световых режимах (постоянное освещение и постоянная темнота), противоположно влияющих на синтез мелатонина эпифизом, оказывают разнонаправленные эффекты на постнатальное развитие крыс. При этом различные сроки воздействия световой депривации и постоянного освещения модулируют половое созревание как самцов, так и самок крыс. Нахождение животных с момента рождения и в период внутриутробного развития в темноте способствует несколько замедленному, а при постоянном освещении ускоренному становлению половой функции, нежели у крыс в группе со стандартным освещением. Вместе с этим световая депривация, воздействие которой начиналось с 25-дневного возраста, значительно замедляет половое созревание самцов крыс, а постоянное освещение, напротив, ускоряет его.

Заключение

Таким образом, показаны эффекты воздействия постоянной темноты, вызывающей индукцию синтеза мелатонина эпифизом, на воспроизводство лабораторных крыс и развитие их потомства в постнатальном онтогенезе в зависимости от сроков световой депривации

(с момента эмбрионального развития и с момента рождения детенышей). Гипо- и гиперфункция эпифиза при воздействии света и темноты соответственно приводят к разнонаправленным изменениям показателей развития в раннем постнатальном онтогенезе и темпов полового созревания животных. Выраженность развивающихся изменений в этих световых условиях зависит от того, в какой период онтогенеза начиналось воздействие. При этом более чувствительными к специфическим световым режимам оказались крысы, воздействие на которых начиналось еще в период их внутриутробного развития. Очевидно, основной причиной этого является нарушение суточного ритма синтеза мелатонина эпифизом у беременных и лактирующих самок.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (№ 12-04-31368), программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса 2013», гранта Президента РФ НШ-1410.2014.4 и Программы стратегического развития ПетрГУ на 2013–2014 год.

Литература

- Анисимов В. Н., Виноградова И. А., Борисенков М. Ф., Букалев А. В., Забежинский М. А., Панченко А. В., Попович И. Г., Семенченко А. В., Тындык М. Л. Световой режим, старение и рак // Вестник Российского университета дружбы народов: Медицина. 2012. № S7. С. 29–30.
- Хижин Е. А., Юнаш В. Д., Узенбаева Л. Б., Виноградова И. А., Илюха В. А., Ильина Т. Н., Баранова Ю. П., Морозов А. В. Отсутствие фотопериодизма нарушает функционирование физиологических систем в постнатальном онтогенезе крыс // Труды КарНЦ РАН. 2013. № 3. С. 149–158.
- Этическая экспертиза биомедицинских исследований. Практические рекомендации // Ред. Ю. Б. Белоусова. М., 2005. 156 с.
- Anisimov V. N. Light pollution, reproductive function and cancer risk // Neuroendocrinol. Lett. 2006. Vol. 27, № 1–2. P. 35–52.
- Beery A. K., Paul M. J., Routman D. M., Zucker I. Maternal photoperiodic history affects offspring development in syrian hamsters // J. Biol. Rhythms. 2008. Vol. 23, N 5. P. 445–455.
- Bishnupuri K. S., Haldar C. Impact of photoperiodic exposures during late gestation and lactation periods on the pineal and reproductive physiology of the Indian palm squirrel, *Funambulus pennanti* // Journal of Reproduction and Fertility. 2000. Vol. 118. P. 295–301.
- Bronson F. H. Mammalian reproduction: an ecological perspective // Biol. Reprod. 1985. Vol. 32. P. 1–26.
- Butler M. P., Trumbull J. J., Turner K. W., Zucker I. Timing of puberty and synchronization of seasonal rhythms by simulated natural photoperiods in female Siberian hamsters // Am. J. Physiol. 2007a. Vol. 293. P. R413–R420.
- Butler M. P., Turner K. W., Park J. H., Butler J. P., Trumbull J. J., Dunn S. P., Villa P., Zucker I. Simulated natural day lengths synchronize seasonal rhythms of asynchronously born male Siberian hamsters // Am. J. Physiol. 2007b. Vol. 293. P. R402–R412.
- Craven R. P., Clarke J. R. Gonadotrophin levels in male voles (*Microtus agrestis*) reared in long and short photoperiods // J. Reprod. Fertil. 1982. Vol. 66. P. 709–714.
- Csaba G., Barath P. Morphological changes of thymus and the thyroid gland after postnatal extirpation of pineal body // Endocrinol. Exp. 1975. Vol. 9. P. 59–67.
- Dark J., Dark K. A., Zucker I. Long day lengths increase brain weight and DNA content in the meadow vole (*Microtus pennsylvanicus*) // Brain Res. 1987. Vol. 409. P. 302–307.
- Dark J., Spears N., Whaling C. S., Wade G. N., Meyer J. S., Zucker I. Long day lengths promote brain growth in meadow voles // Dev Brain Res. 1990. Vol. 53. P. 264–269.
- Davis F. C. Melatonin: role in development // Journal of Biological Rhythms. 1997. Vol. 12. P. 498–508.
- Edmonds K. E., Stetson M. H. Effects of prenatal and postnatal photoperiods and of the pineal gland on early testicular development in the marsh rice rat (*Oryzomys palustris*) // Biol. Reprod. 1995. Vol. 52. P. 989–996.
- Frost D., Zucker I. Photoperiod and melatonin influence seasonal gonadal cycles in the grasshopper mouse (*Onychomys leucogaster*) // J. Reprod. Fertil. 1983. Vol. 69. P. 237–244.
- Hoffmann K. Effects of short photoperiods on puberty, growth and moult in the djungarian hamster (*Phodopus sungorus*) // J. Reprod. Fertil. 1978. Vol. 54. P. 29–35.
- Hong S. M., Stetson M. H. Functional maturation of the gonads of Turkish hamsters under various photoperiods // Biol. Reprod. 1986. Vol. 35. P. 858–862.
- Horton T. H. Growth and reproductive development of male *Microtus montanus* is affected by the prenatal photoperiod // Biol. Reprod. 1984. Vol. 31. P. 499–504.
- Horton T. H., Stachecki S. A., Stetson M. H. Maternal transfer of photoperiodic information in Siberian hamsters: peripubertal reproductive development in the absence of maternal photoperiodic signals during gestation // Biol. Reprod. 1990. Vol. 42. P. 441–449.
- Innes D. G. L., Millar J. S. Body weights, litter size and energetic of reproduction in *Clethrionomys gapperi* and *Microtus pennsylvanicus* // Canadian Journal of Zoology. 1981. Vol. 59. P. 785–789.
- Johnston P. G., Zucker I. Photoperiodic regulation of reproductive development in white-footed mice (*Peromyscus leucopus*) // Biol. Reprod. 1980. Vol. 22. P. 983–989.
- Kabithé E. W., Place N. J. Photoperiod-dependent modulation of anti-Mullerian hormone in female Siberian hamsters (*Phodopus sungorus*) // Reproduction. 2008. Vol. 135. P. 335–342.
- Moore C. B., Siopes T. D. Enhancement of cellular and humoral immunity following embryonic exposure to melatonin in turkeys (*Meleagris gallopavo*) // Gen. Comp. Endocrinol. 2005. Vol. 143. P. 178–183.
- Stetson M. H., Elliott J. A., Goldman B. D. Maternal transfer of photoperiodic information influences the photoperiodic response of prepubertal Djungarian hamsters (*Phodopus sungorus*) // Biology of Reproduction. 1986. Vol. 34. P. 664–669.

Vermeulen M., Palermo M., Giordano M. Neonatal pinealectomy impairs murine antibody-dependent cellular cytotoxicity // J. Neuroimmunol. 1993. Vol. 43. P. 97–101.

Walton J. C., Weil Z. M., Nelson R. J. Influence of photoperiod on hormones, behavior, and immune function // Front Neuroendocrinol. 2011. Vol. 32, N. 3. P. 303–319.

Weil Z. M., Martin L. B., Nelson R. J. Photoperiod differentially affects immune function and reproduction in collared lemmings (*Dicrostonyx groenlandicus*) // J. Biol. Rhythms. 2006. Vol. 21. P. 384–393.

Whitsett J. M., Lawton A. D., Miller L. L. Photosensitive stages in pubertal development of male deer mice (*Peromyscus maniculatus*) // J. Reprod. Fertil. 1984. Vol. 72. P. 269–276.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Хижкин Евгений Александрович

научный сотрудник, к. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: hizhkin84@mail.ru
тел.: (8142) 573107

Khizhkin, Evgeny

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: hizhkin84@mail.ru
tel.: (8142) 573107

Юнаш Виктория Дмитриевна

старший преподаватель кафедры фармакологии,
организации и экономики фармации с курсами
микробиологии и гигиены медицинского факультета,
к. м. н.
Петрозаводский государственный университет
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: yunashvd@yandex.ru
тел.: (8142) 769871

Yunash, Victoria

Petrozavodsk State University
33 Lenina St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: yunashvd@yandex.ru
tel.: (8142) 769871

Илюха Виктор Александрович

заведующий лабораторией экологической физиологии
животных, д. б. н.
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: ilyukha@bio.krc.karelia.ru
тел.: (8142) 573107

Ilyukha, Victor

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: ilyukha@bio.krc.karelia.ru
tel.: (8142) 573107

Виноградова Ирина Анатольевна

заведующая кафедрой фармакологии, организации
и экономики фармации с курсами микробиологии
и гигиены медицинского факультета, д. м. н.
Петрозаводский государственный университет
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: iri89569627@yandex.ru
тел.: (8142) 769871

Vinogradova, Irina

Petrozavodsk State University
33 Lenina St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: iri89569627@yandex.ru
tel.: (8142) 769871

Морозов Артем Владимирович

ведущий биолог
Институт биологии Карельского научного центра РАН
ул. Пушкинская, 11, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: artem.morozow@yandex.ru
тел.: (8142) 573107

Morozov, Artem

Institute of Biology, Karelian Research Centre,
Russian Academy of Sciences
11 Pushkinskaya St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: artem.morozow@yandex.ru
tel.: (8142) 573107

Тимейко Надежда Геннадьевна

студентка медицинского факультета
Петрозаводский государственный университет
пр. Ленина, 33, Петрозаводск, Республика Карелия,
Россия, 185910
эл. почта: limorgun@mail.ru
тел.: (8142) 769871

Timeyko, Nadezhda

Petrozavodsk State University
33 Lenina St., 185910 Petrozavodsk,
Karelia, Russia
e-mail: limorgun@mail.ru
tel.: (8142) 769871