



РОЛЬ ТЕСТОСТЕРОНА В РЕПРОДУКТИВНОЙ СИСТЕМЕ ЖИВОТНЫХ (ОБЗОР)

Максимова Мария Андреевна

Корочкина Елена Александровна, д-р.ветеринар.наук, доц., orcid.org/0000-0002-7011-4594
Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Россия

РЕФЕРАТ

Тестостерон – это гормон, который, главным образом, образуется в клетках Лейдига, прилегающих к семенным канальцам семенника, а также в яичниках и коре надпочечников [1, 5, 6]. Выработка тестостерона регулируется гипоталамо-гипофизарной системой под руководством гонадотропин-рилизинг гормона (ГнРГ) и лютеинизирующего гормона (ЛГ), между которыми существует отрицательная обратная связь [5-6]. Кроме ГнРГ и ЛГ, тестостерон взаимосвязан и с мелатонином [14], окситоцином [15], а также тиреоидными гормонами [16]. Тестостерон оказывает значительное влияние на организм животных: способствует росту и созреванию костной ткани [17], предотвращает окислительное повреждение мозга [19-20], влияет на обмен веществ [21], а также на поведение животных [23]. Результаты многочисленных исследований свидетельствуют о важной роли данного гормона в сперматогенезе. Тестостерон, связываясь с рецептором андрогена, регулирует пролиферацию и созревание клеток Сертоли, поддерживает целостность гематоэнцефалического барьера, регулирует мейотические и постмейотические процессы половых клеток [27-30]. Противоречивым вопросом является влияние гормона на криорезистентность спермы: некоторые авторы выделяют отрицательное влияние тестостерона [32-33], а другие, напротив, указывают на его благоприятное воздействие [34]. У самок тестостерон, совместно с другими андрогенами изменяет активность их рецепторов, а также взаимодействует с факторами роста [36]. Исследования показывают, что тестостерон, совместно с ЛГ, способен стимулировать выработку прогестерона [37]. Известно, что многие факторы оказывают влияние на динамику тестостерона в крови. Например, с течением возраста у быков происходит снижение андрогенов в крови [41], однако у взрослых баранов содержание тестостерона выше в 1,8 раз, чем у более молодых особей [43]. Другим фактором является кормление животных: исследования показывают, что диета с более высоким содержанием белка способствует положительному влиянию на животных, а также повышает уровень тестостерона [44-45]. Кроме этого, тепловой стресс подавляет экспрессию ферментов, участвующих в синтезе тестостерона [47].

Ключевые слова: роль тестостерона, репродуктивная система, животные.

ВВЕДЕНИЕ

Тестостерон – это гормон, относящийся к стероидной группе, преимущественно образующийся в клетках Лейдига, которые расположены в соединительной ткани, прилегающей к семенным канальцам семенника [1]. Синтез тестостерона в организме осуществляется из холестерина, который затем превращается в прегненолон на внутренней мембране митохондрий и гладкого эндоплазматического ретикула. Дальнейшее преобразование прегненолона в тестостерон может протекать двумя путями: через образование дегидроэпиандростерона или через образование прогестерона [2-3]. Превращение холестерина в тестостерон активируется многими ферментами, однако может ингибироваться различными веществами, такими как, пестициды, растительные компоненты (госсипол) и промышленные материалы (фтальаты) [4]. В основе структуры стероидных гормонов лежит углеродный скелет 1,2 -циклопентанопергидрофенантрена, а по систематической номенклатуре тестостерон имеет название 17 бета-гидрокси-4-андростен-3-он [1]. Целью данной работы является проведение анализа научно-практических данных о значении тестостерона в репродуктивной системе животных.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалами служили научно-практические

исследования ученых из Америки и других стран, методами - структурный и системный анализ.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Тестостерон ежедневно вырабатывается в семенниках, яичниках и коре надпочечников, причем выработка его регулируется гипоталамо-гипофизарной системой под руководством гонадотропин-рилизинг гормона и лютеинизирующего гормона [5-6]. Существует отрицательная обратная связь между тестостероном и гипоталамо-гипофизарной системой [7]. Так, в ответ на высвобождение гонадотропин-рилизинг гормона гипофизом вырабатываются лютеинизирующий (ЛГ) и фолликулостимулирующий (ФСГ) гормоны, при этом ФСГ воздействует на клетки Сертоли, поддерживая рост и дифференцировку пре-мейотических половых клеток, тогда как ЛГ, действуя через клетки Лейдига, способствует выработке тестостерона [8-9]. Воздействие ЛГ заключается в повышении уровня мРНК белка р27, регулирующего экспрессию генов, участвующих в синтезе тестостерона [10]. В работе авторов Ма Т.Н., Xiong Q.Н. (2012) было отмечено, что в клетках Лейдига быка имеется рецептор лютеинизирующего гормона, играющий ключевую роль в выработке тестостерона благодаря взаимодействию с гонадотропинами, ЛГ и хорионическим гонадотропином. Таким образом, сек-

реция тестостерона увеличивается при повышении уровня ЛГ [11]. При этом, исследование авторов Griffin D.K., Ellis P.J. (2010) демонстрирует, что отключение рецептора ЛГ ведет к уменьшению размеров семенников, снижению уровня тестостерона и повышению в крови ЛГ у мышей [12], это указывает на тесную взаимосвязь между тестостероном и ЛГ.

Однако тестостерон связан не только с ГнРГ и ЛГ, но и с мелатонином. Так, мелатонин, вырабатываемый шишковидной железой, оказывает влияние на воспроизводство некоторых животных, регулируя секрецию и синтез ГнРГ, ЛГ и тестостерона [11]. В исследовании авторов Yang M, Guan S et al. (2021) отмечено, что мелатонин подавляет апоптоз клеток Лейдига и повышает экспрессию связанных с синтезом тестостерона генов, тем самым увеличивая выработку гормона [14]. Другим гормоном, связанным с тестостероном, является окситоцин. В работе авторов Yamamoto S., Arakaki R. et al. (2023) продемонстрировано, что тестостерон повышает количество окситоцина в крови и способствует секреции адипонектина, тем самым уменьшая жировые отложения у крыс [15]. Кроме того, отмечается связь между тестостероном и тиреоидными гормонами [16]. Таким образом, взаимодействие тестостерона с другими гормонами обуславливает его широкое влияние на организм и поведение животных.

Во-первых, тестостерон воздействует на рост и созревание костной ткани, что было продемонстрировано в исследовании Reis C.L.B., de Fátima Pereira Madureira M. et al. (2023), в котором кастрация крыс в препубертатном периоде влияла на дифференцировку прехондробластов и задержку минерализации костей черепа [17]. Похожие результаты были получены в работе Saki F., Kasaei S.R. et al. (2019), в которой авторы отметили, что кастрация крыс и, вследствие этого, снижение уровня тестостерона, приводит к понижению плотности костной ткани [18]. Во-вторых, некоторые исследования показывают, что тестостерон играет определенную роль в развитии мозга и предотвращении его окислительного повреждения [19-20]. В-третьих, тестостерон оказывает влияние на обмен веществ. Так, в исследовании Cai Z., Xi H. et al. (2015) авторы отметили, что дефицит тестостерона вызывает гиперхолестеринемия у свиней, находящихся на диете с высоким содержанием жиров и холестерина, при этом заместительная терапия тестостероном позволяет снижать некоторые негативные эффекты [21]. Кроме этого, тестостерон стимулирует разрушение жира, косвенно влияя через активацию ферментов [22]. В-четвертых, тестостерон имеет тесную связь с поведением животных. Так, в обзорном исследовании авторов Perkins A., Roselli S.E. (2007) отмечено, что тестостерон необходим для полового поведения баранов, при этом существует мнение о вероятном участии эстрадиола (после преобразования тестостерона) в изменении поведения животных [23]. В похожих исследованиях также отмечается роль тестостерона в поведении разных видов животных [24-25].

Кроме вышеперечисленных функций тесто-

стерон играет важную роль в репродуктивной системе самцов. Так, клетки Лейдига, секретируя тестостерон недолгими короткими импульсами (от 20 до 60 минут), способствуют высокой концентрации гормона в семенном извитом канальце [26]. Исследования показывают, что для завершения сперматогенеза необходимо воздействие тестостерона [27-28]. Внутри клеток Сертоли тестостерон избирательно связывается с рецептором андрогена, при этом активация рецептора приводит к инициации и поддержанию сперматогенного процесса и ингибированию апоптоза половых клеток, таким образом, происходит влияние на сперматогенез [29]. Многие научные работы отмечают важную роль рецептора андрогена в репродуктивной системе самцов. Например, в обзорном исследовании Wang J.M., Li Z.F. et al. (2022) авторами продемонстрирована следующая роль сигнального пути рецептора андрогена: регулирование пролиферации и созревание клеток Сертоли, поддержание целостности гематоэнцефалического барьера, регулирование мейотических и постмейотических процессов половых клеток до момента их высвобождения [30]. В исследовании Nasani N., Mohseni Meybodi A. et al. (2019), проведенном на мужчинах, авторы предполагают, что мутации в гене рецептора андрогена могут нарушать его активность и влиять на сперматогенез [31].

Кроме влияния на сперматогенез, тестостерон играет роль в изменении некоторых параметров спермы. Например, многие исследования отмечают связь между концентрацией тестостерона и криорезистентностью спермы. В работе авторов Bóveda P., Estes M.C. et al. (2021) установлено, что более высокие концентрации тестостерона в крови горных козлов негативно сказываются на криоустойчивости, что выражается в снижении жизнеспособности сперматозоидов после оттаивания [32]. Исследование Martínez-Fresneda L., O'Brien E. et al. (2020) также показало, что добавление тестостерона *in vitro* к сперме баранов и козлов снижает целостность акросомы после размораживания [33]. Вместе с тем, результаты научной работы Flores-Gil V.N., Millandela Blanca M.G. et al. (2020) указывают на противоположный эффект – благоприятное влияние увеличения концентрации тестостерона в крови на двигательную способность оттаянных сперматозоидов [34]. Что касается нативной спермы, то исследование Kishik W.H., Rafay J. (2008) показало, что более высокое содержание тестостерона в крови коррелирует с подвижностью сперматозоидов и временем восстановления метиленового синего [35].

Что касается влияния гормона на самок, то в их организме тестостерон может преобразовываться в эстрадиол, который непосредственно оказывает влияние на организм животных. Кроме этого, тестостерон, совместно с другими андрогенами, связывается с андрогенными рецепторами, изменяет активность других рецепторов и взаимодействует с факторами роста [36]. Так, исследование авторов Rangel P.L., Lassala A. et al. (2005) показывает, что тестостерон способен стимулировать выработку прогестерона, а также взаимодействовать совместно с ЛГ в условиях *in*

in vitro [37]. Кроме этого, работа авторов Li M., Ai J.-S. et al. (2008) показала, что тестостерон потенциально может оказывать влияние на возобновление мейоза в яйцеклетках свиней [38]. В то же время, избыток тестостерона во время внутриутробного развития может приводить к деформации половых органов и бесплодию самок [39-40].

Известно, что многие факторы оказывают влияние на концентрацию тестостерона в крови у животных. Одним из таковых является возраст животных, так как популяции зрелых клеток Лейдига у быка формируется к 30-недельному возрасту, а концентрация тестостерона повышается в фазу быстрого роста семенников [40]. При этом с течением возраста происходит снижение андрогенов в крови, что продемонстрировано в исследовании Baharun A., Said S. et al. (2021): концентрация тестостерона у быков в возрасте 8-10 лет составляет около 21,8 нг/мл, в то время как у быков возраста 4-5 лет – 36,1 нг/мл, 6-7 лет – 35,1 нг/мл [41]. Однако в другом исследовании Nedia M., El-Shalofy A. (2022), проведенном на баранах, отмечалось, что наибольшая концентрация тестостерона была у животных в группе старше 7 лет, по сравнению с более молодыми группами баранов [42]. Работа авторов Тарасенко Е.И., Коновалова Т.В. и др. (2022) также показывает, что у взрослых баранов содержание тестостерона выше в 1,8 раз, чем у молодых животных [43]. Другим фактором является рацион и уровень кормления животных. Так, исследование Ghorbankhani F., Sourji M. et al. (2015), проведенное на ягнятах, показало, что диета с более высоким содержанием белка способствовала положительному влиянию на животных, в том числе повышала уровень тестостерона в крови [44]. В работе авторов Named S.H., Arf M.K. (2022) также было зарегистрировано наличие связи между высокобелковой диетой и концентрацией тестостерона в крови у баранов [45]. Результаты исследований Brito L.F., Barth A.D et al. (2007) указывают на отрицательное влияние недокорма на половое созревание быков. Кроме того, ограничение потребления кормов быками в возрасте от 10 до 70 недель снижает реакцию гипофиза на ГнРГ, вследствие чего снижается уровень ЛГ и тестостерона [46].

Еще одним фактором, влияющим на динамику тестостерона, является тепловой стресс. Так, исследования показывают, что воздействие высокой температуры подавляет экспрессию ферментов, участвующих в синтезе тестостерона [47], а также способствует ингибированию белка теплового шока (Hsp70) на рецепторе андрогена, что отрицательно сказывается на сперматогенезе [48].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, тестостерон – это гормон стероидной группы, выработка которого происходит под руководством гипоталамо-гипофизарной системы. Он оказывает большое влияние на организм животных, участвуя в росте и созревании костной ткани, обмене веществ, а также в изменении поведения животных. Одной из важных функций тестостерона является его участие в сперматогенезе: связываясь с рецептором андро-

гена, он регулирует пролиферацию и созревание клеток Сертоли, регулирует мейотические и постмейотические процессы половых клеток. При этом у самок тестостерон стимулирует выработку прогестерона. Концентрация тестостерона в крови может колебаться в зависимости от возраста животных, уровня кормления и других факторов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Джафаров М. Х. Стероиды. Строение, получение, свойства и биологическое значение, применение в медицине и ветеринарии: учебное пособие / М. Х. Джафаров, С. Ю. Зайцев, В. И. Максимов // Санкт-Петербург: Лань, 2022. — 288 с.
2. Zirkin B.R. Leydig cells: formation, function, and regulation / B.R. Zirkin, V. Papadopoulos // *Biology of Reproduction* – 2018. – Vol. 99(1). – P. 101-111
3. Ye L. Inhibitors of testosterone biosynthetic and metabolic activation enzymes / L. Ye, Z.J. Su, R.S. Ge // *Molecules*. – 2011. – 16: 9983-10001
4. Gerald T. Testosterone and the Androgen Receptor / T. Gerald, G. Raj // *Urologic Clinics of North America*. – 2022. – Vol. 4(4). – P. 603-614
5. Дюльгер Г. П. Физиология размножения и репродуктивная патология собак : учебное пособие для вузов / Г. П. Дюльгер, П. Г. Дюльгер // 5-е изд., стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2024. — 236 с.
6. Tilbrook A.J. Negative feedback regulation of the secretion and actions of GnRH in male ruminants / A.J. Tilbrook, I.J. Clarke // *Journal of reproduction and fertility*. – 1995. – 49. – P. 297-306
7. Kazmi S.R.H. Luteinizing Hormone Deficiency / S. R. H. Kazmi, A. S. Can // *StatPearls*. – 2024.
8. Bhattacharya I. Revisiting the gonadotropic regulation of mammalian spermatogenesis: evolving lessons during the past decade / I. Bhattacharya, S. Dey, A. Banerjee // *Frontiers in Endocrinology*. – 2023. – Vol. 14:1110572
9. Guo H. Cyclin-dependent kinase inhibitor 1B acts as a novel molecule to mediate testosterone synthesis and secretion in mouse Leydig cells by luteinizing hormone (LH) signaling pathway / H. Guo., X. Luo, L. Sun et al. // *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Animal*. – 2021. – Vol. 57. – P. 742-752
10. Ma T.H. Luteinizing hormone receptor splicing variants in bovine Leydig cells / T. H. Ma, Q. H. Xiong, B. Yuan et al. // *Genetics and Molecular Research*. – 2012. – Vol. 11(2). – P. 1721-1730
11. Griffin D.K. Transcriptional profiling of luteinizing hormone receptor-deficient mice before and after testosterone treatment provides insight into the hormonal control of postnatal testicular development and Leydig cell differentiation / D.K. Griffin, P.J. Ellis, B. Dunmore et al. // *Biology of Reproduction*. – 2010. – Vol. 6. – P. 1139-1150
12. Li C. Melatonin and male reproduction / C. Li, X. Zhou // *Clinica Chimica Acta*. – 2015. – Vol 446. – P. 175-180
13. Yang M. Melatonin promotes male reproductive performance and increases testosterone synthesis in mammalian Leydig cells / M. Yang, S. Guan, J. Tao et al. // *Biology of Reproduction*. – 2021. – Vol. 104(6). – P. 1322-1336
14. Yamamoto S. New discoveries on the interaction between testosterone and oxytocin in male rats - Testosterone-mediated effects of oxytocin in the prevention of obesity / S. Yamamoto, R. Arakaki, H. Noguchial. // *Physiology and Behavior*. – 2023. – Vol. 266: 114199
15. Chiao Y.C. Regulation of thyroid hormones on the production of testosterone in rats / Y. C. Chiao, H. Y. Lee, S.W. Wang et al. // *Journal of Cellular Biochemistry*. – 1999. – Vol. 73(4). – P. 554-562
16. Reis C.L.B. Testosterone suppression impacts craniofacial growth structures during puberty : An animal study / C. L. B. Reis, de Fátima Pereira Madureira M., C. L. R. Cunha et al. // *Journal of Orofacial Orthopedics*. – 2023. –

Vol. 84(5). – P. 287-297

17. Saki F. The effect of testosterone itself and in combination with letrozole on bone mineral density in male rats / F. Saki, S. R. Kasaei, F. Sadeghian et al. // *Journal of Bone and Mineral Metabolism*. – 2019. – Vol. 37(4). – P. 688-675
18. Filová B. The effect of testosterone on the formation of brain structures. *Cells Tissues Organs* / B. Filová, D. Ostatníková, P. Celec et al. // *Cells Tissues Organs*. – 2013. – Vol. 197(3). – P. 169-177
19. Son S.W. Testosterone depletion increases the susceptibility of brain tissue to oxidative damage in a restraint stress mouse model / S.W. Son, J.S. Lee, H. G. Kim et al. // *Journal of Neurochemistry*. – 2016. – Vol. 136(1). – P. 106-117
20. Cai Z. Effect of testosterone deficiency on cholesterol metabolism in pigs fed a high-fat and high-cholesterol diet / Z. Cai, H. Xi, Y. Pan et al. // *Lipids in Health and Disease*. – 2015. – Vol. 14: 18
21. Васильев Ю.Г. Патологическая физиология / Ю. Г. Васильев, Е. И. Трошин, Д. С. Берестов, Р. О. Васильев. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 528 с.
22. Perkins A. The ram as a model for behavioral neuroendocrinology / A. Perkins, C.E. Roselli // *Hormones and Behavior*. – 2007. – Vol. 52(1). – P. 70-77
23. Ren Z. Effects of testosterone dose on depression-like behavior among castrated adult male rats / Z. Ren, L. Xiao, Y. Xie et al. // *Psychoneuroendocrinology*. – 2024. – Vol. 165: 107046
24. Lynn S.E. Behavioral insensitivity to testosterone: Why and how does testosterone alter paternal and aggressive behavior in some avian species but not others? / S.E. Lynn // *General and Comparative Endocrinology*. – 2008. – Vol. 157 (3). – P. 233-240
25. Senger P.L. Pathways to pregnancy and parturition / P.L. Senger // published by Current Conceptions, Inc., 1610, NE, Eastgate Blvd., Pullman. – 2003. – 373 p.
26. Zhang F.P. The low gonadotropin-independent constitutive production of testicular testosterone is sufficient to maintain spermatogenesis / F.P. Zhang, T. Pakarainen, M. Poutanen // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2003. – Vol. 100(23). – P. 13692-13697
27. Pakarainen T. Testosterone Replacement Therapy Induces Spermatogenesis and Partially Restores Fertility in Luteinizing Hormone Receptor Knockout Mice / T. Pakarainen, F.P. Zhang, S. Mäkelä et al. // *Endocrinology*. – 2005. – Vol. 146 (2). – P. 596-606
28. Dohle G.R. Androgens and male fertility / G.R. Dohle, M. Smit, R.F. Weber // *World Journal of Urology*. – 2003. – Vol. 21(5). – P. 341-345
29. Wang J. M. What Does Androgen Receptor Signaling Pathway in Sertoli Cells During Normal Spermatogenesis Tell Us? / J. M. Wang, Z.F. Li, W.X. Yang // *Frontiers of Endocrinology*. – 2022. – Vol. 13: 838858
30. Hasani N. Spermatogenesis disorder is associated with mutations in the ligand-binding domain of an androgen receptor / N. Hasani, A. Mohseni Meybodi, A. Rafee et al. // *Andrologia*. – 2019. – Vol. 51(10): 13376
31. Bóveda P. Influence of circulating testosterone concentration on sperm cryoresistance: The ibex as an experimental mode / P. Bóveda, M.C. Estesó, R. Velázquez et al. // *Andrologia*. – 2021. – Vol. 9(4). – P. 1242-1253
32. Martínez-Fresneda L. In vitro supplementation of testosterone or prolactin affects spermatozoa freezability in small ruminants / L. Martínez-Fresneda, E. O'Brien, A. López Sebastián // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2022. – Vol. 72: 106372
33. Flores-Gil V.N. Influence of testosterone administra-

- tion at the end of the breeding season on sperm cryoresistance in rams (*Ovis aries*) and bucks (*Capra hircus*) / V.N. Flores-Gil, M.G. Millán de la Blanca, R. Velázquez // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2022. – Vol. 72: 106425
34. Kishik W.H. Interrelationship between ram plasma testosterone level and some semen characteristics / W.H. Kishik // *Slovak Journal of Animal Science*. – 2008. – Vol. 41 (2)
35. Pope W.F. Androgens in female pig reproduction: actions mediated by the androgen receptor / W.F. Pope, H. Cardenas // *Bioscientifica Proceedings*. – 2005. – Vol. 17
36. Rangel P.L. Testosterone directly induces progesterone production and interacts with physiological concentrations of LH to increase granulosa cell progesterone production in laying hens (*Gallus domesticus*) / P.L. Rangel, A. Rodríguez, C.G. Gutierrez // *Animal Reproduction Science*. – 2007. – Vol. 102 (1-2). – P. 56-65
37. Li M. Testosterone potentially triggers meiotic resumption by activation of intra-oocyte SRC and MAPK in porcine oocytes / M. Li, J. S. Ai, B. Z. Xu et al. // *Biologu of Reproduction*. – 2008. – Vol. 79(5). – P. 897-905
38. Lamm C.G. Masculinization of the distal tubular and external genitalia in female sheep with prenatal androgen exposure / C. G. Lamm, P. M. Hastie, N. P. Evans et al. // *Veterinary Pathology*. – 2011. – Vol. 49(3). – P. 546-551
39. Wolf C. J. Effects of Prenatal Testosterone Propionate on the Sexual Development of Male and Female Rats: A Dose-Response Study / C. J. Wolf, A. Hotchkiss, J. S. Ostby et al. // *Toxicological Sciences*. – 2002. – Vol. 65 (1). – P. 71-86
40. Rawlings N. Sexual maturation in the bull / N. Rawlings, A. C. O. Evans, R. K. Chandolia // *Reproduction in Domestic Animals*. – 2008. – 43(2). – 295-301
41. Baharun A. Correlation between age, testosterone and adiponectin concentrations, and sperm abnormalities in Simmental bulls / A. Baharun, S. Said, R. I. Arifiantini et al. // *Veterinary World*. – 2021. – Vol. 14(8). – P. 2124-2130
42. Hedia M. Ageing affects plasma steroid concentrations and testicular volume, echotexture and haemodynamics in rams / M. Hedia, A. El-Shalofy // *Andrologia*. – 2022. – Vol. 54(1): 14309
43. Тарасенко Е.И. Содержание и изменчивость тестостерона у взрослых и молодых баранов романовской породы/ Е.И. Тарасенко, Т.В. Коновалова, О.С. Короткевич и др. // *Вестник НГАУ*. – 2022. – 4. – С. 213-224.
44. Ghorbankhani F. Effect of nutritional state on semen characteristics, testicular size and serum testosterone concentration in Sanjabi ram lambs during the natural breeding season/ F. Ghorbankhani, M. Souri, M. M. Moeini et al. // *Animal Reproduction Science*. – 2015. – Vol. 153. –P. 22-28
45. Hamed C. H. Effect of dietary protein on lipid profile and testosterone of Karadi male lambs / C. H. Hamed, M. K. Arf // *International Journal of Health Sciences*. – 2022. – Vol. 6(S6). – P. 7230-7238
46. Brito L.F. Effect of feed restriction during calthood on serum concentrations of metabolic hormones, gonadotropins, testosterone, and on sexual development in bulls / L. F. Brito, A. D. Barth, N. C. Rawlings et al. // *Reproduction*. – 2007. – Vol. 134(1). – P. 171-181
47. Wang K. Impacts of elevated temperature on morphology, oxidative stress levels, and testosterone synthesis in ex vivo cultured porcine testicular tissue / K. Wang, Z. Li, Y. Li // *Theriogenology*. – 2023. – Vol. 212. – P. 181-188
48. Shen H. Effects of elevated ambient temperature and local testicular heating on the expressions of heat shock protein 70 and androgen receptor in boar testes / H. Shen, X. Fan, Z. Zhang et al. // *Acta Histochemica*. – 2019. – Vol. 121(3). – P. 297-302

THE ROLE OF TESTOSTERONE IN MALE REPRODUCTIVE SYSTEM (REVIEW)

Maria An. Maksimova

Elena Al. Korochkina, Dr.Habil. of Veterinary Sciences, Docent, orcid.org/0000-0002-7011-4594
Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Russia

Testosterone is a hormone that is predominantly formed in Leydig cells adjacent to the seminal tubules of the testis, in the ovaries and adrenal cortex [1, 5, 6]. Testosterone production is regulated by the hypothalamic-pituitary system under the guidance of gonadotropin-releasing hormone (GnRH) and luteinizing hormone (LH), between which there is negative feedback [5-6]. In addition to GnRH and LH, testosterone is also interconnected with other hormones: melatonin [14], oxytocin [15], thyroid hormones [16]. Testosterone has a great effect on the body of animals. Thus, it promotes the growth and maturation of bone tissue [17], prevents oxidative damage to the brain [19-20], affects metabolism [21], as well as animal behavior [23]. In addition, studies have noted the important role of the hormone in spermatogenesis. Testosterone, binding to the androgen receptor, regulates the proliferation and maturation of Sertoli cells, maintains the integrity of the blood-brain barrier, regulates the meiotic and post-meiotic processes of germ cells [27-30]. The effect of the hormone on sperm cryoresistance is noted, however, some authors emphasize the negative effect of testosterone on cryoresistance [32-33], while others point to a beneficial effect [34]. In females, testosterone, together with other androgens, binds to androgen receptors, changes the activity of other receptors, and also interacts with growth factors [36]. Studies show that the hormone, together with LH, is able to stimulate the production of progesterone [37]. It is known that many factors influence the dynamics of testosterone in the blood. For example, with the passage of age, androgens in the blood decrease in bulls [41], however, in adult rams, the testosterone content is 1.8 times higher than in younger individuals [43]. Another factor worth noting is animal feeding: studies show that a diet with a higher protein content contributes to a positive effect on animals, as well as increases hormone levels [44-45]. In addition, heat stress suppresses the expression of enzymes involved in testosterone synthesis [47].

Key words: the role of testosterone, reproductive system, animals.

REFERENCES

1. Dzhafarov M.Kh. Steroids. Structure, production, properties and biological significance, application in medicine and veterinary science: a tutorial / M.Kh. Dzhafarov, S.Yu. Zaitsev, V.I. Maksimov // St. Petersburg: Lan, 2022. - 288 p.
2. Zirkin B.R. Leydig cells: formation, function, and regulation / B.R. Zirkin, V. Papadopoulos // *Biology of Reproduction* – 2018. – Vol. 99(1). – P. 101-111
3. Ye L. Inhibitors of testosterone biosynthetic and metabolic activation enzymes / L. Ye, Z.J. Su, R.S. Ge // *Molecules*. – 2011. – 16: 9983-10001
4. Gerald T. Testosterone and the Androgen Receptor / T. Gerald, G. Raj // *Urologic Clinics of North America*. – 2022. – Vol. 4(4). – P. 603-614
5. Dylulger G. P. Physiology of reproduction and reproductive pathology of dogs: a textbook for universities / G. P. Dylulger, P. G. Dylulger // 5th ed., reprinted. - St. Petersburg: Lan, 2024. - 236 p.
6. Tilbrook A.J. Negative feedback regulation of the secretion and actions of GnRH in male ruminants / A.J. Tilbrook, I.J. Clarke // *Journal of reproduction and fertility*. – 1995. – 49. – P. 297-306
7. Kazmi S.R.H. Luteinizing Hormone Deficiency / S. R. H. Kazmi, A. S. Can // *StatPearls*. – 2024.
8. Bhattacharya I. Revisiting the gonadotropic regulation of mammalian spermatogenesis: evolving lessons during the past decade / I. Bhattacharya, S. Dey, A. Banerjee // *Frontiers in Endocrinology*. – 2023. – Vol. 14:1110572
9. Guo H. Cyclin-dependent kinase inhibitor 1B acts as a novel molecule to mediate testosterone synthesis and secretion in mouse Leydig cells by luteinizing hormone (LH) signaling pathway / H. Guo., X. Luo, L. Sun et al. // *In Vitro Cellular and Developmental Biology – Animal*. – 2021. – Vol. 57. – P. 742-752
10. Ma T.H. Luteinizing hormone receptor splicing variants in bovine Leydig cells / T. H. Ma, Q. H. Xiong, B. Yuan et al. // *Genetics and Molecular Research*. – 2012. – Vol. 11(2). – P. 1721-1730
11. Griffin D.K. Transcriptional profiling of luteinizing hormone receptor-deficient mice before and after testosterone treatment provides insight into the hormonal control of postnatal testicular development and Leydig cell differentiation / D.K. Griffin, P.J. Ellis, B. Dunmore et al. // *Biology of Reproduction*. – 2010. – Vol. 6. – P. 1139-1150
12. Li C. Melatonin and male reproduction / C. Li, X. Zhou // *Clinica Chimica Acta*. – 2015. – Vol 446. – P. 175-180
13. Yang M. Melatonin promotes male reproductive performance and increases testosterone synthesis in mammalian Leydig cells / M. Yang, S. Guan, J. Tao et al. // *Biology of Reproduction*. – 2021. – Vol. 104(6). – P. 1322-1336
14. Yamamoto S. New discoveries on the interaction between testosterone and oxytocin in male rats - Testosterone-mediated effects of oxytocin in the prevention of obesity / S. Yamamoto, R. Arakaki, H. Noguchial. // *Physiology and Behavior*. – 2023. – Vol. 266: 114199
15. Chiao Y.C. Regulation of thyroid hormones on the production of testosterone in rats / Y. C. Chiao, H. Y. Lee, S.W. Wang et al. // *Journal of Cellular Biochemistry*. – 1999. – Vol. 73(4). – P. 554-562
16. Reis C.L.B. Testosterone suppression impacts craniofacial growth structures during puberty : An animal study / C. L. B. Reis, de Fátima Pereira Madureira M., C. L. R. Cunha et al. // *Journal of Orofacial Orthopedics*. – 2023. – Vol. 84(5). – P. 287-297
17. Saki F. The effect of testosterone itself and in combination with letrozole on bone mineral density in male rats / F. Saki, S. R. Kasae, F. Sadeghian et al. // *Journal of Bone and Mineral Metabolism*. – 2019. – Vol. 37(4). – P. 688-675
18. Filová B. The effect of testosterone on the formation of brain structures. *Cells Tissues Organs* / B. Filová, D. Ostatníková, P. Celec et al. // *Cells Tissues Organs*. – 2013. – Vol. 197(3). – P. 169-177
19. Son S.W. Testosterone depletion increases the susceptibility of brain tissue to oxidative damage in a restraint stress mouse model / S.W. Son, J.S. Lee, H. G. Kim et al. // *Journal of Neurochemistry*. – 2016. – Vol. 136(1). – P. 106-117
20. Cai Z. Effect of testosterone deficiency on cholesterol metabolism in pigs fed a high-fat and high-cholesterol diet / Z. Cai, H. Xi, Y. Pan et al. // *Lipids in Health and Disease*. – 2015.- Vol. 14: 18
21. Vasiliev Yu.G. Pathological physiology / Yu. . Vasiliev, E. I. Troshin, D. S. Berestov, R. O. Vasiliev. — 2nd ed., revised. - St. Petersburg: Lan, 2024. - 528 p.
22. Perkins A. The ram as a model for behavioral neuroendocrinology / A. Perkins, C.E. Roselli // *Hormones and Behavior*. – 2007. – Vol. 52(1). – P. 70-77
23. Ren Z. Effects of testosterone dose on depression-like behavior among castrated adult male rats / Z. Ren, L. Xiao, Y. Xie et al. // *Psychoneuroendocrinology*. – 2024. – Vol. 165: 107046
24. Lynn S.E. Behavioral insensitivity to testosterone: Why and how does testosterone alter paternal and aggressive behavior in some avian species but not others? / S.E. Lynn // *General and Comparative Endocrinology*. – 2008. – Vol. 157 (3). – P. 233-240
25. Senger P.L. Pathways to pregnancy and parturition / P.L. Senger // published by Current Conceptions, Inc., 1610, NE, Eastgate Blvd., Pullman. – 2003. – 373 p.
26. Zhang F.P. The low gonadotropin-independent constitutive production of testicular testosterone is sufficient to maintain spermatogenesis / F.P. Zhang, T. Pakarainen, M. Poutanen // *Proceedings of the National Academy of Sciences*. – 2003. – Vol. 100(23). – P. 13692-13697
27. Pakarainen T. Testosterone Replacement Therapy

- Induces Spermatogenesis and Partially Restores Fertility in Luteinizing Hormone Receptor Knockout Mice / T. Pakarainen, F.P. Zhang, S. Mäkelä et al. // *Endocrinology*. – 2005. – Vol. 146 (2). – P. 596-606
28. Dohle G.R. Androgens and male fertility / G.R. Dohle, M. Smit, R.F. Weber // *World Journal of Urology*. – 2003. – Vol. 21(5). – P. 341-345
29. Wang J. M. What Does Androgen Receptor Signaling Pathway in Sertoli Cells During Normal Spermatogenesis Tell Us? / J. M. Wang, Z.F. Li, W.X. Yang // *Frontiers of Endocrinology*. – 2022. – Vol. 13: 838858
30. Hasani N. Spermatogenesis disorder is associated with mutations in the ligand-binding domain of an androgen receptor / N. Hasani, A. Mohseni Meybodi, A. Rafee et al. // *Andrologia*. – 2019. – Vol. 51(10): 13376
31. Bóveda P. Influence of circulating testosterone concentration on sperm cryoresistance: The ibex as an experimental mode / P. Bóveda, M.C. Estesó, R. Velázquez et al. // *Andrologia*. – 2021. – Vol. 9(4). – P. 1242-1253
32. Martínez-Fresneda L. In vitro supplementation of testosterone or prolactin affects spermatozoa freezability in small ruminants / L. Martínez-Fresneda, E. O'Brien, A. López Sebastián // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2022. – Vol. 72: 106372
33. Flores-Gil V.N. Influence of testosterone administration at the end of the breeding season on sperm cryoresistance in rams (*Ovis aries*) and bucks (*Capra hircus*) / V.N. Flores-Gil, M.G. Millan de la Blanca, R. Velázquez // *Domestic Animal Endocrinology*. – 2022. – Vol. 72: 106425
34. Kishik W.H. Interrelationship between ram plasma testosterone level and some semen characteristics / W.H. Kishik // *Slovak Journal of Animal Science*. – 2008. – Vol. 41 (2)
35. Pope W.F. Androgens in female pig reproduction: actions mediated by the androgen receptor / W.F. Pope, H. Cardenas // *Bioscientifica Proceedings*. – 2005. – Vol. 17
36. Rangel P.L. Testosterone directly induces progesterone production and interacts with physiological concentrations of LH to increase granulosa cell progesterone production in laying hens (*Gallus domesticus*) / P.L. Rangel, A. Rodríguez, C.G. Gutierrez // *Animal Reproduction Science*. – 2007. – Vol. 102 (1-2). – P. 56-65
37. Li M. Testosterone potentially triggers meiotic resumption by activation of intra-oocyte SRC and MAPK in porcine oocytes / M. Li, J. S. Ai, B. Z. Xu et al. // *Biologu of Reproduction*. – 2008. – Vol. 79(5). – P. 897-905
38. Lamm C.G. Masculinization of the distal tubular and external genitalia in female sheep with prenatal androgen exposure / C. G. Lamm, P. M. Hastie, N. P. Evans et al. // *Veterinary Pathology*. – 2011. – Vol. 49(3). – P. 546-551
39. Wolf C. J. Effects of Prenatal Testosterone Propionate on the Sexual Development of Male and Female Rats: A Dose-Response Study / C. J. Wolf, A. Hotchkiss, J. S. Ostby et al. // *Toxicological Sciences*. – 2002. – Vol. 65 (1). – P. 71-86
40. Rawlings N. Sexual maturation in the bull / N. Rawlings, A. C. O. Evans, R. K. Chandolia // *Reproduction in Domestic Animals*. – 2008. – 43(2). – 295-301
41. Baharun A. Correlation between age, testosterone and adiponectin concentrations, and sperm abnormalities in Simmental bulls / A. Baharun, S. Said, R. I. Arifiantini et al. // *Veterinary World*. – 2021. – Vol. 14(8). – P. 2124-2130
42. Hedia M. Ageing affects plasma steroid concentrations and testicular volume, echotexture and haemodynamics in rams / M. Hedia, A. El-Shalofy // *Andrologia*. – 2022. – Vol. 54(1): 14309
43. Tarasenko E.I. Content and variability of testosterone in adult and young rams of the Romanov breed / E.I. Tarasenko, T.V. Konovalova, O.S. Korotkevich et al. // *Bulletin of NSAU*. – 2022. – 4. - P. 213-224.
44. Ghorbankhani F. Effect of nutritional state on semen characteristics, testicular size and serum testosterone concentration in Sanjabi ram lambs during the natural breeding season/ F. Ghorbankhani, M. Sourì, M. M. Moeini et al. // *Animal Reproduction Science*. – 2015. – Vol. 153. –P. 22-28
45. Hamed C. H. Effect of dietary protein on lipid profile and testosterone of Karadi male lambs / C. H. Hamed, M. K. Arf // *International Journal of Health Sciences*. – 2022. – Vol. 6(S6). – P. 7230-7238
46. Brito L.F. Effect of feed restriction during calthood on serum concentrations of metabolic hormones, gonadotropins, testosterone, and on sexual development in bulls / L. F. Brito, A. D. Barth, N. C. Rawlings et al. // *Reproduction*. – 2007. – Vol. 134(1). – P. 171-181
47. Wang K. Impacts of elevated temperature on morphology, oxidative stress levels, and testosterone synthesis in ex vivo cultured porcine testicular tissue / K. Wang, Z. Li, Y. Li // *Theriogenology*. – 2023. – Vol. 212. – P. 181-188
48. Shen H. Effects of elevated ambient temperature and local testicular heating on the expressions of heat shock protein 70 and androgen receptor in boar testes / H. Shen, X. Fan, Z. Zhang et al. // *Acta Histochemica*. – 2019. – Vol. 121(3). – P. 297-302

УДК 618.11-006.2-02:636.7

DOI: 10.52419/issn2782-6252.2024.3.56

АКТУАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОБЛЕМЫ ВОЗНИКНОВЕНИЯ КИСТ ЯИЧНИКОВ У СУК РЕПРОДУКТИВНОГО ВОЗРАСТА

Мефтах Инесса Ахмедовна¹

*Рыбин Евгений Викторович², канд.ветеринар.наук, доц.
Прошкин Виктор Михайлович², канд.ветеринар.наук, доц.*

¹ГБУ «Санкт-Петербургская горветстанция», Россия

²Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины, Россия

РЕФЕРАТ

Главной задачей ветеринарной репродуктологии является получение здорового полноценного потомства, а также сохранение репродуктивных способностей у взрослых животных. Однако заболевания репродуктивных органов у собак остаются одной из нерешенных проблем современной ветеринарной гинекологии. Среди них особое место занимают кистозные поражения яичников и матки.

Необходимость глубокого описания морфофункциональных характеристик органов репродуктивной системы сук при патологии по-прежнему актуальна, так как диагностика гинекологических заболеваний у плотоядных неоднозначна, а данные касающиеся причин возникновения кистозных образований у собак разрознены и неполны.

Современная УЗИ диагностика яичников и матки в сочетании с клинико-биохимическим, иммунологическим и гормональным исследованиями позволяет определить некоторые причины возникнове-