

промышленного производства [Электронный ресурс] / О. Г. Петрова, С. А. Марковская // АБУ. – 2013. – №3 (109). – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/epizootologicheskoe-i-ekonomicheskoe-znachenie-ostryh-respiratornyh-zabolevaniy-krupnogo-rogatogo-skota-i-problemy-profilaktiki-v>. – Дата доступа: 07.10.2025.

4. Khouloud Khachlouf, Houda Hamed, Radhouane Gdoura & Ahmed Gargouri (2019) Effects of dietary Zeolite supplementation on milk yield and composition and blood minerals status in lactating dairy cows, Journal of Applied Animal Research, 47:1, 54-62, DOI: 10.1080/09712119.2018.1563548.

5. Khouloud Khachlouf, Houda Hamed, Radhouane Gdoura & Ahmed Gargouri (2018) Effects of zeolite supplementation on dairy cow production and ruminal parameters – a review, Annals of animal science, Vol. 18, No. 4 (2018) 857–877 DOI: 10.2478/aoas-2018-0025.

6. Xiu Su, Pengyu Huang, Yuanyin Guo and Jie Cao (2025) Zeolite for preventing periparturient hypocalcemia in dairy cows: mechanisms and application strategies, Frontiers in Veterinary Science, August 2025, Vol. 12, DOI: 10.3389/fvets.2025.1635245.

7. M F Grigorev, A I Grigoreva, N M Chernogradskaya and S I Stepanova (2021) The influence of zeolite-mineral feed additives on the growth and development of young cattle in Yakutia, IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 839 (2021) 032001, DOI:10.1088/1755-1315/839/3/032001.

УДК 636.92:611.73

ФАКТОРЫ АКТИВАЦИИ МИОГИСТОГЕНЕЗА СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ КРОЛИКОВ В РАННЕМ ПОСТНАТАЛЬНОМ ОНТОГЕНЕЗЕ

Радюк А. Д., Тумилович Г. А.

УО «Гродненский государственный аграрный университет»

г. Гродно, Республика Беларусь

Аннотация. В статье анализируются факторы активизации миогистогенеза самотической мускулатуры кроликов в раннем постнатальном онтогенезе. Оптимальное течение миогистогенеза возможно только при слаженном действии эндокринных, нутритивных, нейромоторных и клеточных факторов. Нарушение любого из них (например, недокорм, болезнь, гиподинамия) может привести к отставанию в росте и замедленному развитию мышечной ткани.

По мнению авторов, активация миогистогенеза у кроликов после рождения – это каскадный процесс, инициируемый изменением гормонального фона и поступлением питательных веществ с молоком, а затем – усиленный и специализированный, под влиянием нервной системы и двигательной активности.

Summary. The article analyzes the factors of activation of myogenesis of the samotic muscles of rabbits in early postnatal ontogenesis. The optimal course of myohistogenesis is possible only with the coordinated action of endocrine, nutritional, neuromotor and cellular factors. Violation of any of them (for example, malnutrition, illness, physical inactivity) can lead to stunted growth and delayed development of muscle tissue.

According to the authors, the activation of myohistogenesis in rabbits after birth is a cascading process initiated by changes in the hormonal background and the intake

of nutrients from milk, and then enhanced and specialized, under the influence of the nervous system and motor activity.

Ключевые слова: кролики, миогистогенез, мышечная ткань, адаптация, активация, морфология.

Key words: rabbits, myohystogenesis, muscle tissue, adaptation, activation, morphology.

Источником развития гистологических элементов скелетной мышечной ткани кроликов в эмбриогенезе являются миотомы, откуда выселяются и мигрируют в места закладки конкретных мышц, клетки миогенного клеточного типа. Миогенный клеточный тип складывается последовательно – с начала миотома, далее миобласты мистотические, миобласты постмиотические, мышечные трубочки, и в завершение – мышечные волокна.

Мистотические миобласты частично обособляются в виде клеток-сателлитов – камбинальный резерв мышечной ткани скелетного типа, который отвечает за увеличение массы мышечных волокон в течение всей жизни. Во взрослом возрасте в нормальном состоянии клетки-сателлиты находятся в состоянии покоя, однако в постнатальном развитии кроликов при влиянии определенных факторов (сигналы роста) они выходят из данной стадии и, с началом синтеза ДНК, переходят в стадию пролиферации, где происходит активное деление клеток с пополнением резерва [3, 6].

К сигналам роста самотической мускулатуры относят:

1. Гормональные факторы (инсулиноподобный фактор роста-1, гормон роста, тиреоидные гормоны, тестостерон);
2. Факторы роста и миокины;
3. Нутритивные факторы;
4. Нервно-моторные факторы;
5. Клеточные факторы и факторы микроокружения;
6. Генетические и эпигенетические факторы.

Установлено, что питание (нутритивный фактор) является критическим и лимитирующим фактором, определяющим скорость и эффективность миогистогенеза в ранний постнатальный период. У крольчат в раннем постнатальном онтогенезе прослеживается тесная трофическая связь между пищеварительной и мышечной системами [5, 9, 12].

Первый и самый важный фактор роста и развития молодняка – молозиво и молоко матери (комплексный биостимулятор). Первые 72 часа (молозиво) и последующее молочное вскармливание обеспечивают поступление не только питательных веществ, но и биоактивных регуляторов, таких как: иммунные факторы (IgG, лизоцим, лактоферрин) – снижают энергозатраты на борьбу с инфекциями, позволяя направлять

ресурсы на рост; гормоны и факторы роста – молоко содержит IGF-1, инсулин, лептин, СТГ и тиреоидные гормоны в биодоступной форме, напрямую стимулируя миогенез и метаболизм; олигосахариды и нуклеотиды – пребиотическое действие, формирование микробиоты, что влияет на общий нутритивный статус и здоровье молодняка кроликов [4, 12, 14].

Вторая группа факторов – это макронутриенты (белки, жиры и углеводы). Белки и аминокислоты – строительный материал и сигнальные молекулы. Лейцин – наиболее важный регулятор. Активирует ключевой mTORC1-путь (мишень рапамицина у млекопитающих комплекс 1), который стимулирует инициацию трансляции мышечных белков (актина, миозина), повышает чувствительность клеток к IGF-1, подавляет катаболизм (распад) белка. Аргинин – предшественник синтеза оксида азота (NO), который улучшает микроциркуляцию в мышцах. Также стимулирует секрецию гормона роста и инсулина. Глутамин – основной источник энергии для энтероцитов и иммунных клеток, поддерживает функциональность и целостность кишечника, что критично для всасывания всех нутриентов. Также способствует гидратации клеток, что само по себе является сигналом к росту. Серосодержащие аминокислоты (метионин, цистеин) – лимитирующие факторы для синтеза белка, предшественники антиоксиданта – глутатиона, защищающего мышечные клетки от окислительного стресса [4, 7, 8].

Энергетические субстраты (липиды и углеводы). Среднецепочечные триглицериды – легко усваиваются, быстрый источник энергии, предотвращают использование аминокислот в глюконеогенезе. Длинноцепочечные полиненасыщенные жирные кислоты (арахидоновая – омега-6, ДГК – омега-3) – критичны для развития нервной системы и, как следствие, нейромоторной регуляции мышц. Входят в состав мембран мышечных клеток, влияя на их текучесть и функцию рецепторов.

Углеводы (лактоза) – основной источник легкоусвояемой энергии. Поддерживает уровень глюкозы в крови, необходимой для работы нервной системы и как источник энергии для мышц. Стимулирует выброс инсулина – мощного анаболического гормона.

Третья группа факторов микронутриенты: кофакторы и регуляторы. Минералы: цинк (Zn) – кофактор более 300 ферментов, критичен для активности миогенных транскрипционных факторов (MyoD), синтеза белка и ДНК, деления сателлитных клеток, дефицит ведет к анорексии и резкому торможению роста; селен (Se) – компонент антиоксидантного фермента глутатионпероксидазы, защищающего миоциты от перекисного повреждения, необходим для конверсии гормона T_4 в активный T_3 (дейодиназа); железо (Fe) – входит в состав гемоглобина и миоглобина, обеспечивая кислородом растущие мышцы, компонент цитохромов дыхательной цепи (энергетический обмен); кальций (Ca) и магний (Mg) –

непосредственные участники процесса мышечного сокращения и нервной передачи, кальций – ключевой вторичный мессенджер в сигнальных путях [11, 12, 14].

Витамины: витамины группы В (В₁, В₂, В₆, В₁₂, пантотеновая кислота) – коферменты энергетического обмена (цикл Кребса, окислительное фосфорилирование) и метаболизма аминокислот. Дефицит нарушает утилизацию энергии из питательных веществ; витамин D – рецепторы к нему есть в мышечной ткани, регулирует кальций-фосфорный обмен, влияет на дифференцировку и сократительную функцию миоцитов, дефицит ведет к мышечной слабости; витамин Е (альфа-токоферол) – главный жирорастворимый антиоксидант, защищает мембраны мышечных клеток от перекисного окисления липидов, вызванного активным метаболизмом [8, 10, 12].

После рождения происходит окончательное «включение» нейромышечных синапсов. Регулярные нервные импульсы и мышечные сокращения – мощнейший активатор миогистогенеза. Они регулируют: дифференцировку типов мышечных волокон (быстрые/медленные), увеличение диаметра волокон (гипертрофию). Стимулируют слияние сателлитных клеток с существующими волокнами [3, 5, 14].

Даже минимальная двигательная активность детенышей в гнезде создает механическое напряжение, которое воспринимается мышечными клетками и переводится в биохимические сигналы роста (через интегрины и другие механорецепторы). В раннем постнатальном онтогенезе эти факторы действуют не изолированно, а в строгой последовательности и синергии. Первые часы и дни доминируют гормональные факторы (особенно IGF-1) и питание, «запускающие» базовую программу роста. По мере увеличения двигательной активности резко возрастает роль нервно-моторных факторов и миокинов, которые начинают определять качественную дифференцировку и функциональную адаптацию мышц. Далее на протяжении всего периода постнатального онтогенеза клеточные факторы (сателлитные клетки) работают постоянно, обеспечивая рост и обновление [11, 13].

По нашему мнению, активация миогистогенеза у кроликов после рождения – это каскадный процесс, инициируемый изменением гормонального фона и поступлением питательных веществ с молоком, а затем – усиленный и специализированный под влиянием нервной системы и двигательной активности. Оптимальное протекание этого процесса возможно только при слаженном действии эндокринных, нутритивных, нейромоторных и клеточных факторов. Нарушение любого из них (например, недокорм, болезнь, гиподинамия) может привести к отставанию в росте и замедленному развитию мышечной ткани.

ЛИТЕРАТУРА

1. Миогенез и постнатальный рост скелетных мышц у животных / В. Е. Никитченко [и др.] // Зоотехния. – 2005. – № 9. – С. 26-29.
2. Тюпаев, И. М. Миогенез и метаболизм основных белков поперечнополосатой мышечной ткани сельскохозяйственных животных и птицы / И. М. Тюпаев, Б. Д. Кальницкий // С.-х. биология. Сер. Биология животных, 1996. – № 6. – С. 115-123.
3. Grigorov, I. Age dynamics in the histological structure of the skeleton muscles and meat quality of rabbits / I. Grigorov, S. Ribarski // Животноводческие науки. – 2007. – Vol. 44, № 4. – P. 54-59.
4. Implications of Insulin-Like Growth Factor-1 in Skeletal Muscle and Various Diseases / Syed Sayeed Ahmad // PubMed Central [Electronic resource]. – National Library of Medicine, 2020. – Mode of access: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC7465464/>. – Date of access: 26.01.2026.
5. Investigation of sexual dimorphism in the rabbit masseter muscle showing different effects of androgen deprivation in adult and young adult animals / Jane M Eason // Archives of Oral Biology [Electronic resource]. – ScienceDirect, 2000. – Mode of access: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0003996900000303>. – Date of access: 20.01.2026.
6. Isaksson, O. G. Growth hormone stimulates longitudinal bone growth directly / O.G. Isaksson, J. O. Jansson, I. A. Gause // Science. – 1982. – № 216. – P. 1237-1239.
7. Ket eltero típusu izomszövet zsírsavösszetetele, valamint annak változása, telített és telítetlen zsírsav-kiegészítés hatására, nyulakban / A. Szabo [et al] // Allattenyészt. Takarmányozás, 2002. – Vol. 51, № 6. – P. 617-624.
8. Lee Russell McDowell Vitamins in Animal and Human Nutrition / Lee Russell McDowell. – Iowa: Iowa State University Press, 2000. – 794 с.
9. Nesvadbova, M. Molecular regulation of skeletal muscle tissue formation and development / M. Nesvadbova, G. Borilova // Veter. Med., 2018. – Vol. 63, № 11. – P. 489-499.
10. Nutritional recommendations and feeding management of Angora rabbits. / F. Lebas // Nutrition of the rabbit [Electronic resource]. – CABI Digital Library, 2022. – Mode of access: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781845936693.0285>. – Date of access: 25.01.2026.
11. Ouhayoun, J. Muscular energy metabolism and related traits in rabbit / J. Ouhayoun, A. Dalle Zotte // Nyultenyészési tudományos nap, Kaposvár, 1993. – P. 1-14.
12. Pet rabbit feeding and nutrition. / J. A. Lowe // Nutrition of the rabbit [Electronic resource]. – CABI Digital Library, 2022. – Mode of access: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/10.1079/9781845936693.0294>. – Date of access: 25.01.2026.
13. The Myogenic Regulatory Factors, Determinants of Muscle Development, Cell Identity and Regeneration / J Manuel Hernández-Hernández // PubMed Central [Electronic resource]. – National Library of Medicine, 2017. – Mode of access: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5723221/>. – Date of access: 25.01.2026.
14. Thyroid Hormone Signaling in Muscle Development, Repair and Metabolism / Jang-Won Lee // PubMed Central [Electronic resource]. – National Library of Medicine, 2014. – Mode of access: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4390064/>. – Date of access: 25.01.2026.